

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный
аграрный университет»**

И. Н. Папенко
Х.И.Килиди

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Учебное пособие

Краснодар
КубГАУ
2016

УДК 631.6:[556.18+556.16](0,75.8)

ББК 40.6

П17

Рецензенты:

Ю. Я. Нагалеvский – профессор кафедры физической географии
Кубанского государственного университета,
канд. геогр. наук;

С. А. Владимирoв – профессор кафедры СЭВО Кубанского
государственного аграрного университета, канд. с.-х. наук

Папенко И. Н. Килиди Х.И.

П17 Природопользование : учеб. пособие / И. Н. Папенко. –
Краснодар : КубГАУ, 2016. – 116 с.

978-5-00097-033-1

В учебном пособии приведены примеры выполнения заданий, расчетно – графических работ, а также гидрологические и водохозяйственные расчеты, которые помогут в освоении и закреплении теоретических основ курса и практических навыков обработки и анализа исходных гидрологических материалов, выполнении инженерных расчетов. В конце каждого курса приведены контрольные вопросы.

Предназначено для студентов направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование», профиль – «Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и водоотведения» и профиль «Мелиорация, рекультивация и охрана земель», предусмотрено выполнение учебных заданий и водохозяйственных расчетов.

УДК 631.6:[566.18+566.16] (0,75.8)

ББК 40.6

978-5-00097-033-1

© Папенко И. Н., 2016
© ФГБОУ ВПО «Кубанский
государственный аграрный
университет», 2016

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Раздел 1. Гидрометрия. Общие сведения об организации гидрометрических работ ..	6
1.1 Уровни воды.....	6
Приборы и устройства для измерения уровней воды	8
Задание к работе «Обработка материалов наблюдений за уровнем воды»	16
Измерение и вычисление уровня воды.....	17
Составление ведомости повторяемости (частоты) и продолжительности (обеспеченности)	20
Построение графика кривых повторяемости и продолжительности стояния уровней	20
1.2 Промеры глубин водных объектов	22
Приборы и устройства для измерения глубин водных объектов	22
Обработка материалов промеров глубин	24
1.3 Скорости течения	26
Приборы для измерения скоростей движения воды	27
Методика измерения скоростей	30
1.4 Расходы воды	33
Задание к вычислению расхода воды	35
Гидрометрические приборы для измерения характеристик потока	39
Связь между расходами и уровнями воды (расчетно-графическая работа по гидрометрии).....	48
Методические указания к изучению курса «Природопользование».....	57
Раздел 2. Природопользование. Гидрологические расчеты	61
2.1 Норма стока.....	61
Характеристики стока. Определение. Единицы измерения	61
Определение нормы стока при наличии длительного ряда гидрометрических наблюдений	62
Расчет нормы годового стока при коротком ряде наблюдений.....	64
Определение нормы стока при отсутствии гидрометрических данных	66
2.2 Определение расчетных расходов (расчетно-графическая работа по гидрологии)	68
Внутригодовое распределение речного стока	68
Расчет межсезонного распределения стока	68
Расчет внутрисезонного распределения стока.....	70
2.3. Расчет внутригодового распределения стока методом реального года	72
2.4 Расчет максимальных расходов воды при наличии длительного ряда наблюдений за их величинами	74
2.5 Методика изучения раздела «Гидрологические расчеты»	77
Раздел 3. Регулирование стока	82
3.1 Характеристики водохранилища	82
Топографическая характеристика водохранилища.....	82
Определение минимального уровня воды и мертвого объема водохранилища.	85
Экономическая характеристика водохранилища (определение стоимости строительства земляной плотины и сооружений на ней, компенсационных затрат, удельной стоимости)	86
3.2 Водохозяйственный расчет сезонного (годового) регулирования речного стока балансовым (аналитическим) методом	88
Расчет сезонного регулирования стока	88

Регулирование стока по первому варианту.....	90
Регулирование стока по второму варианту.....	90
Расчет сезонного регулирования стока с учетом потерь на фильтрацию и испарение (по первому варианту).....	91
3.3 Расчет водохранилища многолетнего регулирования стока(аналитически)....	93
3.4 Расчет регулирующего влияния водохранилища на максимальный сток	95
3.5 Расчет многолетнего регулирования стока водохранилища графическим методом (расчетно-графическая работа).....	97
Объемная характеристика водохранилища. Построение. Определение полезного и мертвого объемов	98
Расчет регулирования стока графическим методом на постоянный расход	99
График бытовых расходов. Построение. Анализ	99
Расчет интегральной кривой стока	102
Построение интегральной кривой стока в косоугольной системе координат. Линия зарегулирования.....	103
Лучевой масштаб. Построение. Определение величины зарегулированного расхода.....	105
График режима работы водохранилища. Построение. Анализ.	105
3.6 Методика изучения курса «Регулирование стока»	106
ПРИЛОЖЕНИЯ	109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	115

ПРЕДИСЛОВИЕ

В условиях перестройки высшего образования важнейшим направлением при этом является развитие творческой активности, совершенствование организации самостоятельной работы студентов.

Учебное пособие подготовлено как практическое руководство при самостоятельной работе студентов, оно поможет в освоении и закреплении теоретических основ курса и практических навыков обработки и анализа исходных гидрологических материалов, выполнении водохозяйственных расчетов.

В первом разделе пособия изложена методика и приведены примеры обработки основных гидрометрических характеристик: измерений уровней, глубин, скоростей течения, расходов и стока воды, представлены приборы, описаны методики измерения вышеуказанных характеристик водного объекта.

Во втором разделе рассмотрены методы гидрологических расчетов, примеры расчета нормы стока, определения расчетных расходов за каждый сезон года, каждого месяца, а также определения максимального расчетного расхода для проектирования сооружения первого класса капитальности.

Третий раздел посвящен гидрологическим расчетам, приведены методики расчетов сезонного и многолетнего регулирования речного стока, расчетов потерь объемов воды из водохранилища, экономической эффективности регулирования стока.

После каждого предмета входящих в курс «Природопользование» предложена методика его изучения.

Структура пособия предполагает необходимость использования студентами учебников, нормативных документов, справочной литературы.

В конце каждого курса приведены вопросы для самоконтроля знаний студентами.

При наличии затруднений с ответами на вопросы рекомендуется использовать для проработки практического материала по теме учебную литературу, список которой приведен в конце пособия.

Курс «Природопользование» включает в себя множество наук о воде, в том числе Гидрометрию, Гидрологию и Регулирование речного стока.

Раздел 1. ГИДРОМЕТРИЯ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

Гидрометрия – самостоятельный раздел гидрологии суши.

В задачи гидрометрии входят измерения уровней и глубин водных потоков, скоростей и направление течения жидкости, расходов воды и наносов, гидравлических уклонов и других элементов водных объектов, характеризующих их режим.

Гидрометрические наблюдения за режимом рек, каналов, озер, болот, водохранилищ ведутся на гидрологических станциях и постах, входящих в гидрологическую сеть, находящуюся в ведении Государственного комитета по гидрометеорологии и контролю природной среды. В единую систему государственного учета вод и их использования входят также ведомственные гидрологические станции и посты, организуемые различными министерствами (мелиорации и водного хозяйства, энергетики и электрификации, речного флота, геологии и др.).

Наблюдения на всех станциях и постах и обработка материалов наблюдений ведутся по единой методике, утвержденной Госкомгидрометом и изложенной в «Наставлениях гидрометеорологическим станциям и постам».

Обработанные результаты наблюдений в систематизированном виде публикуются в материалах Государственного водного кадастра (ГВК) и включают как результаты наблюдений за режимом вод за каждый календарный год, так и материалы о многолетних характеристиках водных объектов, качестве вод, водопотреблении и др.

Проектирование, строительство и эксплуатация водохозяйственных объектов на реках и каналах, озерах и болотах, водохранилищах и морях, а также в населенных пунктах вдоль русел рек необходимо вести с учетом изменения уровней воды в водотоках и водоемах.

Непрерывное определение уровней и периодическое измерение расходов воды в водотоках позволяет установить величину расхода водотока и в конечном итоге подсчитать водный сток за определенный период, т. е. достичь главной цели организации гидрометрических работ.

1.1 Уровни воды

Уровнем воды называется высота водной поверхности относительно условной горизонтальной плоскости сравнения – нуля графика.

Уровни воды в реках и других водных объектах постоянно изменяются. Эти колебания могут происходить под влиянием многих факторов: типа питания, деформации русла, хозяйственной деятельности и т. д.

Наблюдения за уровнями воды ведутся ежедневно на гидрологических постах, оборудованных соответствующими устройствами и приборами (речными, свайными, самопишущими и др.). Сроки измерения уровней воды устанавливаются в зависимости от режима водного объекта и назначения поста. Результаты измерений уровней воды заносят в полевую книжку КГ -- 1М, форма которой соответствует требованиям подготовки данных для занесения их на технические носители и обработки на ЭВМ.

В этой же книжке выполняется первичная обработка материалов наблюдений за уровнями воды и их анализ. К первичной обработке относится приведение измеренных уровней к нулю графика поста, вычисление среднесуточных уровней, составление годовой таблицы «Ежедневные уровни воды» (ЕУВ) и построение графика колебаний среднесуточных уровней воды с нанесением ледовых явлений.

За нуль графика гидрологического поста принимают, обычно, условную горизонтальную плоскость сравнения, отметка которой на 0,5 м ниже минимального исторического уровня воды в створе поста (рисунок 1).

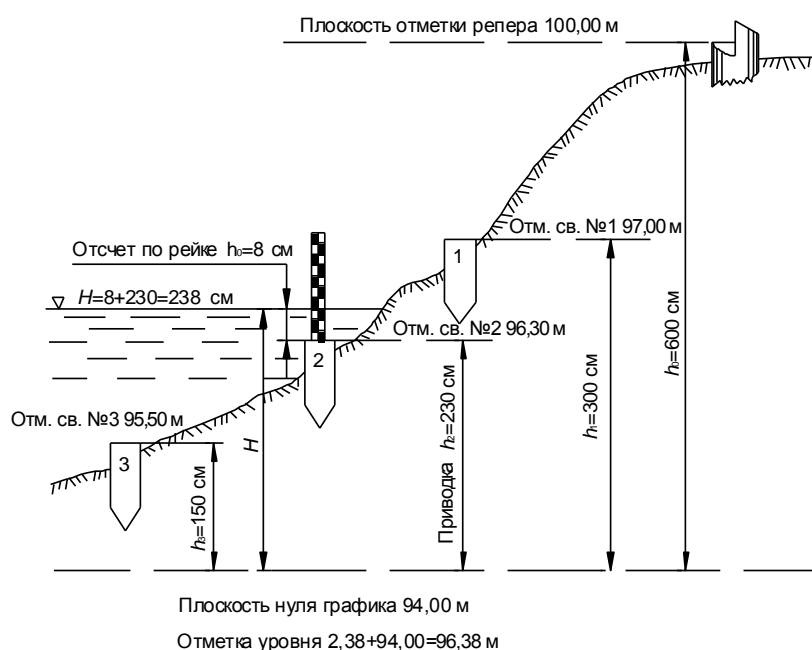


Рисунок 1 – Схема к определению уровня воды на гидрологическом посту

Уровни воды (символ обозначения H) принято выражать в сантиметрах.

Среднесуточный уровень воды вычисляют как среднеарифметическое (или средневзвешенное) значение из отсчетов за соответствующие сутки. Если измерения проведены с помощью самописца, то ленту прибора разбивают на ряд интервалов (по времени или по характерным точкам) и среднесуточный уровень определяют как среднеарифметическое значение отсчетов, соответствующих границам назначенных интервалов в пределах суток.

Среднесуточные уровни воды сводят в таблицу ежедневных уровней воды ЕУВ, отмечая в ней фазы ледового режима условными обозначениями (таблица 2 и рисунок 13). В примечаниях к таблице отмечают особые явления: случаи пересыхания или промерзания реки в районе поста, отборы воды на орошение или другие нужды, сбросы сточных вод и др.

Кроме суточных, определяют также характерные уровни, к которым относятся средние, высшие и низшие уровни за каждый месяц и за год.

Среднемесячные уровни вычисляют как среднеарифметическое из среднесуточных уровней, а среднегодовой – из среднемесячных.

Высший и низший уровни за соответствующие месяцы и год устанавливают путем выборки экстремальных уровней из материалов срочных наблюдений на постах. Их заносят в таблицу (ЕУВ) с указанием дат их наступления.

Таблицы ЕУВ публикуются в «Гидрологических ежегодниках».

По данным таблицы ЕУВ строят график колебаний среднесуточных уровней воды, на котором отмечают также фазы ледового режима. Для сопоставления нередко на данном чертеже совмещают графики колебаний уровней воды на соответствующем посту за несколько лет.

При проектировании и эксплуатации гидромелиоративных систем и других водохозяйственных объектов необходимо знать также такие важные характеристики, как повторяемость (частоту) уровней и продолжительность (обеспеченность) их стояния в течение года или многолетнего периода.

Повторяемость и продолжительность стояния соответствующих уровней устанавливают путем статистической обработки таблицы ежедневных уровней. Результаты подсчетов сводят в ведомость повторяемости и продолжительности уровней.

Приборы и устройства для измерения уровней воды

Самописец уровня «Валдай» СУВ -- М. Самописец уровня воды «Валдай» (рисунок 2) служит для записи колебаний уровня на речных, озерных и других гидрологических постах Гидрометслужбы.

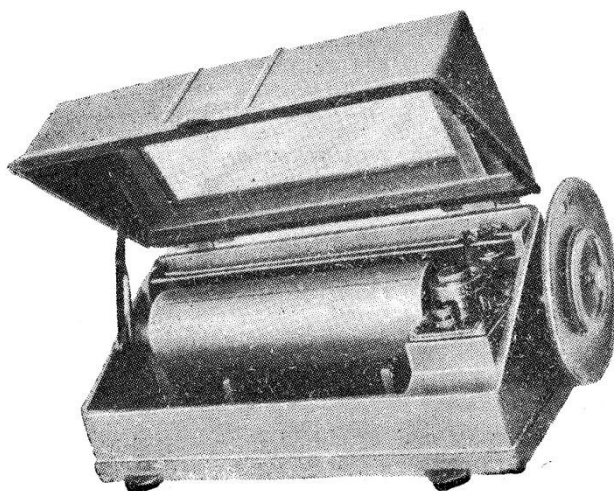


Рисунок 2 – Самописец уровня воды «Валдай» СУВ -- М (общий вид)

В настоящее время в системе Гидрометслужбы находятся в эксплуатации две модели самописца «Валдай»: образца 1948 г. и образца 1952 г. (модернизированная).

Первая модель имеет два масштаба записи уровня (1:1 и 1:2) при одном масштабе записи времени (1 ч = 12 мм хода пера на ленте). Модернизированный самописец СУВ-М образца 1952 г. позволяет регистрировать ход уровня в четырех масштабах (1:1, 1:2, 1:5 и 1:10) при двух масштабах записи времени (1 ч = 12 мм и 1 ч = 24 мм хода пера на ленте барабана).

Самописец уровня «Валдай» (рисунок 3, а) состоит из поплавкового устройства, с помощью которого передаются колебания уровня воды, барабана, с надетой на него бумажной лентой, на которой в определенном масштабе вычерчивается график колебаний уровня, и часового механизма, приводящего в движение пишущее устройство.

Поплавковое устройство включает в себя: пустотелый металлический поплавок 2, прикрепленный к нему груз-балласт 1 для погружения поплавка, противовес-гирю 3, металлический мягкий трос в хлорвиниловой оболочке 18 и поплавковое колесо 4, 5, которое вращает барабан 16. В зависимости от подъема или спада уровня воды барабан поворачивается вокруг своей оси в ту или иную сторону.

Пишущее устройство состоит из часового механизма 7, пера 15 с кареткой 10, двух направляющих стержней 12, стальной струны 11 и гири-отвеса 14. Струна проходит между двумя стержнями каретки 10; один конец ее закреплен и навит на барабанчик заводной головки часового механизма 8, а другой конец, выпущенный из корпуса самописца, несет гирю-отвес 14. Последняя, оттягивая и раскручивая струну с головки барабана, приводит в действие часовой механизм. Каретка с пером при помощи специального зажима крепится к натянутой струне и во время хода часового механизма движется вместе со струной вдоль барабана, скользя по направляющим стержням. Перо в это время чертит график колебаний уровня на ленте барабана. По горизонтальной оси этого графика дается время в часах, а по вертикальной – высота уровня.

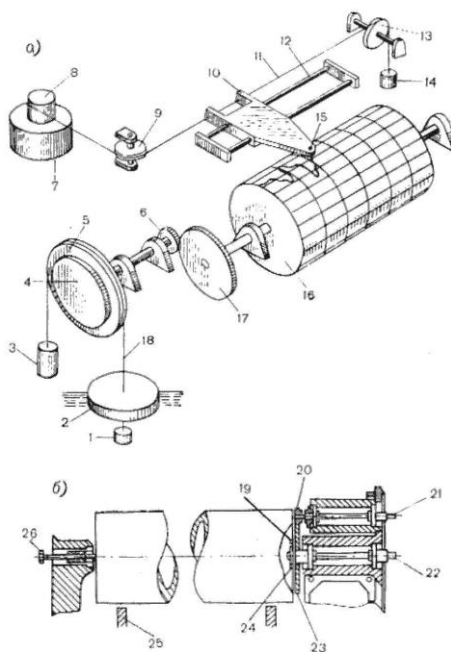


Рисунок 3 – Самописец уровня воды «Валдай» СУВ -- М (а – кинематическая схема самописца; б – схема включения масштабных шестеренок с барабаном):

1 – груз; 2 – поплавок; 3 – противовес; 4 и 5 – поплавковое колесо; 6 – шестерня; 7 – часовой механизм; 8 – барабан; 9 – ролик; 10 – каретка; 11 – струна; 12 – направляющие стержни; 13 – ролик; 14 – груз; 15 – перо; 16 – барабан; 17 – шестерня; 18 – трос; 19 – штифт; 20 – зубчатое колесо-трубка; 21 – ось редуктора; 22 – ось, сцепленная с барабаном; 23 – шестерня, закрепленная на оси 22; 24 – шайба; 25 – подкладки; 26 – головка подвижной оси

Конструкция прибора допускает запись уровня при многократных оборотах поплавкового колеса. На рисунке 4, *а* представлена запись хода уровня (подъем и спад), при котором барабан более двух раз обернулся вокруг оси.

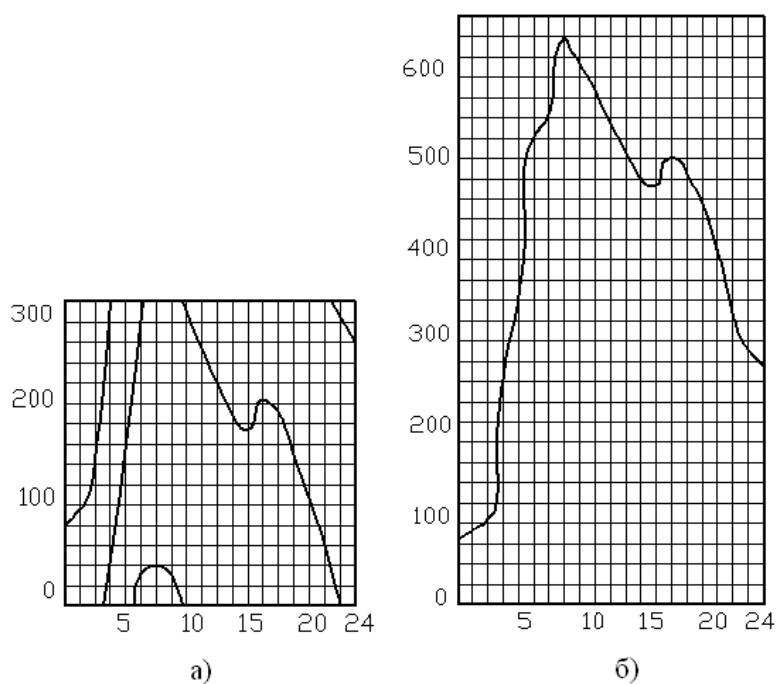


Рисунок 4 – Запись суточного хода уровня на ленте самописца «Валдай»:
а – вид записи на ленте при повороте барабана вокруг своей оси более двух раз;
б – развертка этой записи на миллиметровой бумаге

Развертка этой записи дает кривую. Развертка записи производится следующим путем: пусть в 00 часов (ч) данных суток уровень воды, зарегистрированный при установке ленты, составлял 80 см над нулем графика (см. рисунок 4, *а*); затем, как это видно на графике (ленте), происходил непрерывный подъем уровня и в 03 ч 30 мин уровень достиг значения 300 см. Этому моменту на графике соответствует начало другой кривой, имеющей нулевую отметку уровня. Это свидетельствует о том, что барабан к этому времени (т. е. к 03 ч 00 мин) совершил свой первый оборот. Уровень воды продолжал повышаться и в период от 03 ч 30 мин до 6 ч повысился от 300 до 600 см; за это время барабан совершил свой второй оборот. На 6-часовой срок опять имеются две отметки уровня 300 (фактически 600 см) и 0 (фактически свыше 600 см); следовательно, вторая отметка есть продолжение предыдущей. Так, расшифровку записи на ленте выполняют до конца суток, после чего строится график хода уровней, изображенный на рисунке 4. б.

Барабан вращается на подвижном центре, укрепленном в левой боковине прибора, и на оси поплавкового колеса, расположенной в правой боковине прибора. Бумажная лента для записи уровня удерживается в прорезях барабана зажимом, расположенным внутри него.

Самописец «Валдай» обеспечивает возможность выбора масштаба записи уровня воды в зависимости от величины амплитуды его колебания.

Установка желаемого масштаба записи достигается следующим образом. Для записи хода уровня в масштабах 1:1 и 1:2 поплавковое колесо закрепляется на

основной оси прибора 22 (рисунок 3, б); масштаб записи 1:1 будет получен при наложении троса на малый диск 4 поплавкового колеса, а масштаб 1:2 – при наложении троса на большой диск 5.

Для записи хода уровня в масштабах 1:5 и 1:10 поплавковое колесо закрепляется на вспомогательной оси 21. Зубчатое колесо-трубка 20 при этом сдвигается вдоль оси 21 до сцепления с шестерней 23, закрепленной на оси 22.

Соответственно для получения масштаба записи 1:5 трос должен быть наложен на малый диск поплавкового колеса 4, а для получения масштаба 1:10 – на большой диск 5.

При установке на запись уровня в масштабах 1:1 или 1:2 трубка 20 должна быть выведена из зацепления с шестерней 23.

Для сохранения на ленте постоянства направления записи при разных масштабах необходимо навешивать поплавок на колесо 4, 5 так, чтобы он при масштабах 1:1 или 1:2 был слева, а при масштабах 1:5 и 1:10 справа от оси, если смотреть на самописец со стороны поплавкового колеса (рисунок 5).

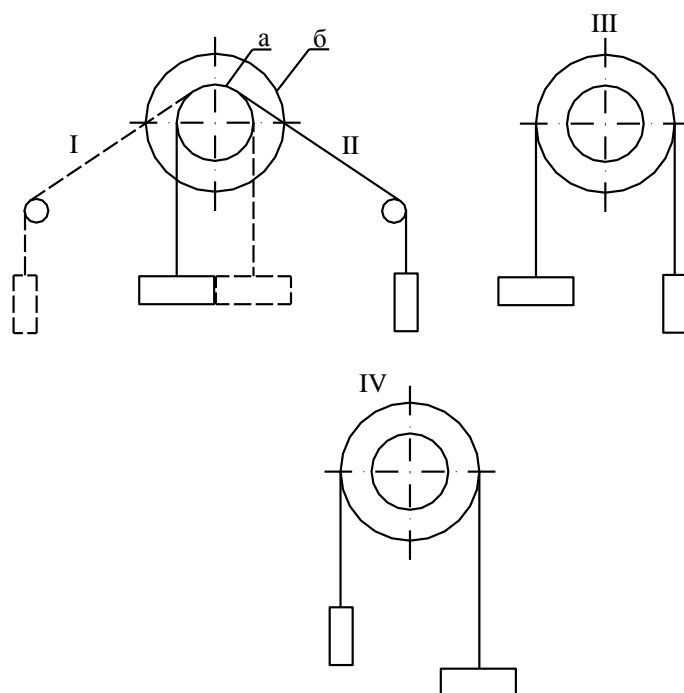


Рисунок 5 – Положение поплавка по отношению к поплавковому колесу при разных масштабах записи (а – малый шкив, б – большой шкив):

I – масштаб записи 1:5; *II* – масштаб записи 1:1; *III* – масштаб записи 1:2;
IV – масштаб записи 1:10

Для того чтобы завести часовой механизм, необходимо отпустить винт, закрепляющий каретку к струне, и намотать струну на барабанчик заводной головки; затем каретку, освобожденную от струны, передвинуть так, чтобы перо ее оказалось на нужной абсциссе времени, обозначенной на ленте меткой, и в таком положении прикрепить каретку к струне.

Для регулировки хода часового механизма на крышке его коробки имеются два рычага: один – для пуска и остановки часов, другой – для регулировки их хода в пределах 5 мин за сутки.

Каждый прибор комплектуется двумя сменными барабанчиками: основной надевается на заводную головку для записи времени в масштабе 1 ч = 12 мм, а другой – в масштабе 1 час = 24 мм. При этом следует иметь в виду, что регулировка хода часового механизма самописца при смене барабана не сохраняется.

Чтобы надеть (или снять) ленту на барабан, необходимо его вынуть из кожуха прибора, для чего оттянуть выступающую на левой боковине кожуха прибора головку оси 26 (см. рисунок 3, б), на которую опирается барабан. После этого освобождается зажимное устройство в барабане, расположенное с правой стороны, лента заправляется в прорезь барабана и зажимается. Зажимное устройство должно обеспечивать плотное прилегание ленты к барабану. При вращении барабана перо не должно задерживаться на прорези. Весь пишущий механизм прибора собран в литом металлическом кожухе, который одновременно является его основой и защищает самописец от повреждений, пыли и влаги. Крышка футляра снабжена автоматически действующей защелкой и, будучи открыта, удерживается в таком положении. Чтобы закрыть футляр, крышку нужно слегка приподнять, а нижний конец защелки подать на себя.

Кожух снаружи имеет приливы с отверстиями для болтов, которыми прибор крепится в измерительном павильоне над колодцем. На крышке кожуха имеется марка завода-изготовителя с набитым порядковым номером и годом выпуска прибора.

Самописец уровня воды ГР --38 . Самописец уровня воды длительного действия ГР -- 38 (рисунок 6) предназначается для непрерывной регистрации высоты уровня воды водоемов и водотоков при продолжительности действия без смены ленты в течение 8, 16 или 32 дней. Самописец состоит из двух основных узлов: поплавкового устройства и регистрирующего механизма (рисунок 7).

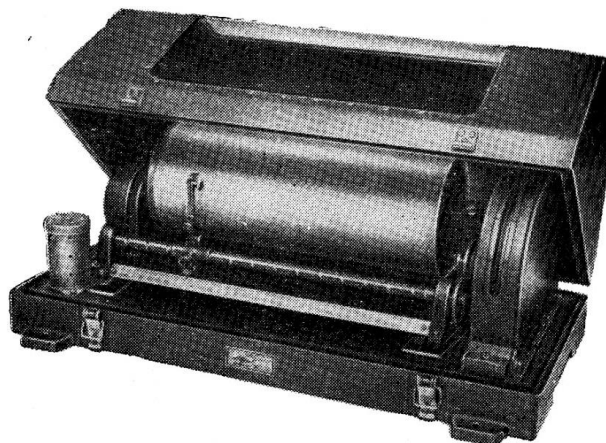


Рисунок 6 – Самописец уровня ГР -- 38 (общий вид)

Параллельно ходовому винту установлена шкала 14, по которой с помощью указки 13 делают отсчет высоты уровня. Держатель карандаша (пера) 7 крепится на шарнире, что позволяет производить его установку на нужное деление ленты барабана, соответствующее значению уровня в данный момент времени.

При установленных зубчатых шестеренках на оси поплавкового колеса и винте с передачей 1:1 уровень записывается в масштабе 1:20 при амплитуде колебания уровня до 6 м; соответственно при шестеренках с передачей 2:1 масштаб записи уровня 1:10 и

предельная амплитуда колебания уровня 3 м; при шестеренках с передачей 4:1 масштаб записи уровня 1:5, амплитуда колебания уровня 1,5 м.

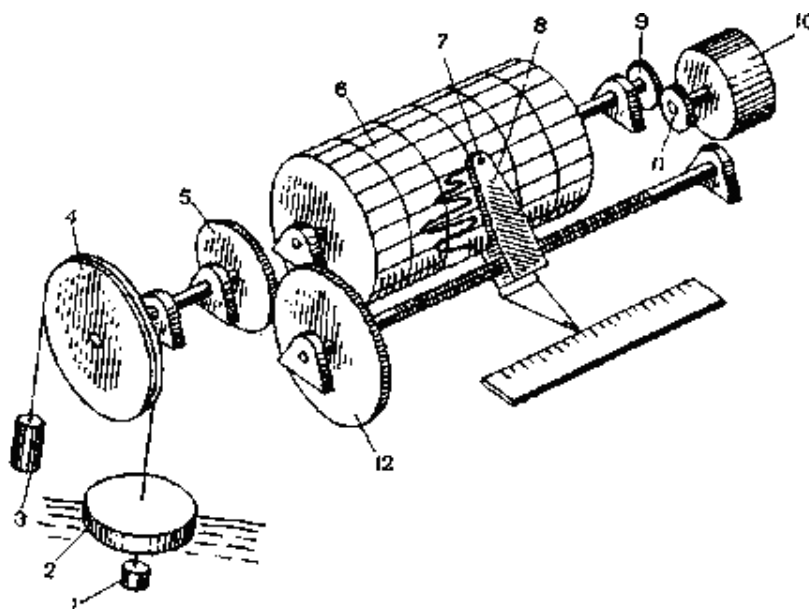


Рисунок 7 – Схема самописца уровня ГР -- 38:

1 – груз; 2 – поплавок; 3 – противовес; 4 – колесо; 5, 9, 11, 12 – шестерни; 6 – барабан; 7 – держатель карандаша; 8 – каретка; 10 – часовой механизм

Барабан самописца установлен на двух кронштейнах на центрах. Правый кронштейн имеет выдвижной центр, фиксируемый в рабочем положении зажимным винтом.

Барабан приводится в движение, как указано выше, посредством зубчатой передачи от часового механизма, смонтированного на специальном кронштейне. Зубчатая передача сменная.

Регистрирующий механизм и поплавковое колесо самописца заключены в металлический кожух со смотровым окном. Прибор смонтирован на литой силуминовой плате. Для предохранения механизма прибора от пыли и влаги между кожухом и платой проложена резиновая прокладка и установлен стаканчик с влагопоглотителем.

Работа прибора заключается в следующем. Изменение уровня воды через поплавок 2 вызывает угловое перемещение поплавкового колеса 4, а это в свою очередь – линейное перемещение каретки 5 с карандашом (пером) 7 вдоль оси барабана 6. Одновременно происходит равномерное вращение барабана 6 часовым механизмом 10.

В самописце этого типа амплитуда колебаний уровня воды записывается вдоль образующей барабана 6, а ось времени располагается перпендикулярно к ней. Запись колебаний уровня воды производится на бумажной ленте, наложенной на барабан. Лентами наблюдатель снабжается на станции.

В период эксплуатации самописца необходимо иметь в виду следующее: в случае, когда фактическое изменение уровня воды за время одного оборота барабана превысит предельную амплитуду уровня, регистрируемую самописцем при данном масштабе записи, карандаш (перо) доходит до края ленты, запись уровня прерывается, а карандаш скользит вдоль края ленты до момента, когда уровень вновь войдет в пределы освещаемой прибором амплитуды, т. е. в пределы размеров ленты.

При установке самописца необходимо проследить, чтобы начальное положение каретки с карандашом обеспечивало возможно более полное освещение ожидаемого изменения уровня. Например, при установке самописца накануне (в начале) подъема уровня в половодье каретка с карандашом в начальном положении должна помещаться в левом углу ленты на барабане.

Гидростатический дистанционный уровнемер ГР -- 97. Уровнемер ГР -- 97 (рисунок 8) предназначен для измерения уровня подземных вод и передачи данных измерений на расстояние по проводной линии связи.

Он устанавливается в скважину на тресе.

Принцип работы уровнемера основан на манометрическом способе измерения гидростатического давления воды с последующим преобразованием его в число-импульсный код, пропорциональный измеряемому уровню.

Чувствительным элементом уровнемера является ртутный манометр, на одно колено которого воздействует суммарный напор гидростатического и атмосферного давления, на второе – только атмосферное давление, что дает возможность измерять истинный гидростатический напор (уровень).

Уровнемер выполнен в виде металлического цилиндра, внутри которого расположен ртутный манометр и измерительный блок.

Для измерения высоты ртутного столба в трубке манометра используется реверсивный двигатель, ось которого соединена с микрометрическим винтом, по которому может передвигаться гайка с закрепленной на ней стальной иглой - щупом.

Управление работой электродвигателя осуществляется с помощью электромагнитных реле и переключателей.

Информация регистрируется с помощью электромеханического счетчика.

Прибор целесообразно использовать:

1) при необходимости достаточно часто измерять уровни подземных вод на кусте скважин при глубине более 3 – 5 м с целью характеристики внутрисуточного хода уровня;

2) при измерении уровня в одиночных скважинах с глубиной залегания уровня подземных вод более 20 – 25 м;

3) как датчик уровня подземных вод при автоматизации измерений. Уровнемер предназначен для работы при температуре воды 0 – 30 °С.

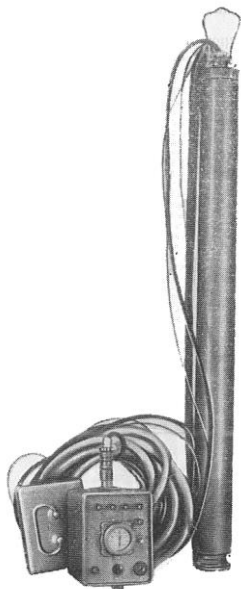


Рисунок 8 – Уровнемер ГР -- 97



Рисунок 9 – Рейка водомерная переносная с успокоителем ГР -- 23

Рейка водомерная переносная с успокоителем ГР -- 23 (рисунок 9) служит для измерения уровня воды в водоемах и водотоках на свайных водомерных постах.

Принцип действия водомерной переносной рейки с успокоителем основан на гашении волнения в резервуаре успокоителя и отсчете по шкале рейки установившегося в резервуаре среднего уровня при установке рейки на головку затопленной сваи в строго вертикальном положении.

Рейка представляет собой резервуар, имеющий в сечении форму ромба, склеенный из плексигласовых профилированных пластин. На каждой пластине нанесена сантиметровая шкала с оцифровкой снизу вверх через 10 см в пределах от 0 до 100 см. В нижнюю часть рейки вклеено плексигласовое дно, защищенное металлической планкой, установленной на винтах. В верхней части рейка заканчивается деревянной ручкой.

В нижней части рейки имеются отверстия, которые снаружи заканчиваются сменными ниппелями с диаметрами отверстий 2, 4 и 6 мм. Ниппель с отверстием 2 мм применяется для измерения уровня при высоте волны до 0,4 м, при спокойной поверхности воды или при незначительном волнении используются ниппели с диаметрами отверстий 4 и 6 мм.

Для производства измерений рейка погружается в воду с открытым клапаном. Клапан поддерживается открытым с помощью скобы, расположенной на ручке. Затем отверстия в дне рейки перекрывают клапаном.

Отсчет установившегося уровня производится после извлечения рейки из воды. В верхней части одной из пластин рейки имеется отверстие, предназначенное для выхода воздуха при заполнении успокоителя водой и слива ее после измерения уровня.

Для удобства отсчета, особенно в темное время, внутри резервуара помещен кольцевой пенопластовый поплавочек.

Рейка водомерная переносная ГР - 104 (РВП – III - 49). Рейка ГР - 104 (рисунок 10) предназначена для измерения высоты уровня воды на свайном водомерном посту.

Рейка водомерная переносная представляет собой трубу, в один конец которой заподлицо с ее торцевой поверхностью вмонтирована металлическая пробка, на другой конец надета ручка.

На наружной поверхности трубы от нижнего ее конца в направлении к ручке нанесена шкала, имеющая 100 делений. Оцифровка шкалы дана через каждые 10 см.

Для измерения высоты уровня воды рейку устанавливают вертикально на головку сваи водомерного поста.

Рейка максимальная ГР -- 45. Рейка ГР -- 45 (рисунок 11) предназначена для измерения максимального уровня воды в промежуток между сроками наблюдений.



Рисунок 10 – Рейка водомерная переносная ГР -- 104 (РВП – III -- 49)

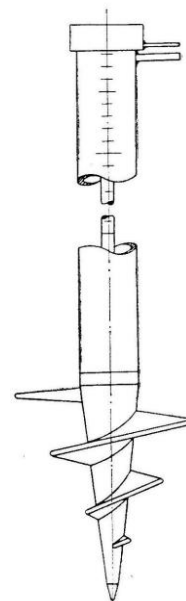


Рисунок 11 – Рейка максимальная ГР -- 45

Рейка представляет собой трубу с винтовым наконечником, предназначенным для установки рейки в грунте. Внутри рейки устанавливают шток с сантиметровыми делениями. На шток перед установкой его в трубу наносят слой мела, по смыванию которого определяется максимальный уровень воды.

Максимальную рейку устанавливают на водомерном посту путем ввинчивания наконечника в грунт. Трубку рейки устанавливают с таким расчетом, чтобы нулевые деления на ней и на штоке совпадали с головкой сваи.

Задание к работе «Обработка материалов наблюдений за уровнем воды»

1. Измерить и вычислить уровни воды (H , см) в гидрометрической лотке.
2. Построить график колебания ежедневных уровней воды за конкретный год и нанести ледовую обстановку (по варианту, пример – таблица 1).
3. Составить таблицу повторяемости и продолжительности стояния уровней.
4. Построить график кривых повторяемости (частоты) и продолжительности обеспеченности) стояния уровней.
5. Определить:
 - а) продолжительность навигации в заданном створе реки с условием ее возможности при уровнях $H_{\min} + 1$ м;
 - б) характерные уровни и их продолжительность;
 - в) значения уровня 25; 50; 75 % обеспеченности и продолжительность стояния уровня 75 % обеспеченности для нужд орошения.

Значение уровня воды обеспеченностью, например, 50 % от 365 дней, т. е. в течение 183 дней, отметка воды была выше 120 см.

В инженерной гидрологии (эксплуатационная, ирригационная) и при регулировании стока используют гидрометрические данные.

Измерение и вычисление уровня воды

Измерение уровня в настоящей работе производится с помощью водомерной рейки, установленной в гидрометрическом лотке лаборатории № 8. Результаты наблюдений за уровнем воды в гидрометрическом лотке записаны в журнал лабораторных работ, и расчет сведен в таблицу 1).

Таблица 1 – Уровни воды в гидрометрическом лотке

№ п/п	Дата	Время	№ рейки	Отсчет по рейке, см	Приводка	Уровень воды, см	
						над «0» графика	среднеизмеренный
1	15.05	8.00	1	45	300	345	346
2	15.05	12.45	1	47	300	347	
3	15.05	20.00	1	45	300	345	

Определение уровня воды на свайном водомерном посту производят лишь после приведения отсчетов по рейке к условной постоянной для этого створа плоскости – «нуль графика», принимаемой на 0,5 м ниже минимального исторического уровня. **Величина уровня рассчитывается суммированием отсчета по рейке с приводкой водомерного поста..**

При использовании самописца «Валдай» средний уровень воды за сутки определяется планиметрированием площадки, ограниченной линией записи на ленте самописца, с последующим делением ее на длину (абсциссу) линии записи.

Обработка материалов наблюдений за уровнями воды осуществляется на основании данных «Гидрологического ежегодника» (таблица 2).

Таблица 2 – Ежедневные уровни воды р. Большой Зеленчук (ст -- ца Исправная, 1961 г.), см

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	116	122)*	110)*	124	191	181	224	176	134	132	109	118
2	116	122)*	112)*	124	187	174	226	169	130	130	109	130
3	116	124)*	111)х	126	190	171	220	167	128	128	110	134
4	116	124)*	111)х	132	195	170	220	170	124	126	115	133
5	112)*	125)	110)	136	198	182	223	176	123	124	112	130
6	112)*	126)	110)*	136	194	190	206	179	122	122	112	128
7	110)*	126)о	111	137	184	193	206	178	123	120	114	124
8	110)*	123)о	111)х	140	184	181	198	172	124	120	112	122
9	112)*	118)о	110)*	146	180	177	186	168	127	119	111	122
10	112)*	116)	108)*	148	176	178	176	168	130	120	111	120
11	112)*	116)	110	144	172	192	197	168	126	119	113	119
12	112)*	114	112	139	180	190	202	170	159	118	112	119
13	114)*	113)х	112	182	180	185	196	171	157	117	111	120
14	113)*	114	113	174	180	186	190	171	153	116	110	117
15	112)о	114	114	163	201	182	188	170	140	121	110	118
16	112	114	114	154	212	182	184	169	134	120	114	114
17	113)*	112	114	158	196	184	182	172	131	118	136	114
18	114	111)*	114	160	181	188	182	174	144	117	126	113
19	112)*	110)*	114	155	180	187	181	180	140	116	128	115

Продолжение таблицы 2

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
20	112)*	111	116	162	180	190	194	182	136	115	137	108)*
21	111)*	111	118	169	179	186	188	167	138	114	134	107
22	115)*	113	118	177	180	192	184	166	133	114	129	103)*
23	114)*	112	120	178	182	190	185	157	128	114	125	102)*
24	114)*	112	131	180	180	184	182	158	127	112	122	98)*
25	115)*	111	136	172	176	236	184	160	149	112	120	100)*
26	120)*	100)*	126	176	173	234	180	150	146	110	120	102)х
27	122)*	106)*	124	206	176	215	179	146	137	110	120	104)о
28	118)*	104)*	124	210	174	210	177	144	131	110	118	107)о
29	118)*	–	122	196	182	208	180	142	131	109	118	110)о
30	120)*	–	126	199	184	222	180	140	132	108	117	109
31	122)*	–	126	–	186	–	178	136	–	108	–	–
H_{cp}	114	115	116	116	184	191	193	165	135	117	118	115
H_{max}	124	128	137	217	222	236	229	192	173	132	139	135
H_{min}	110	101	107	123	171	170	172	135	122	108	109	98
Средний годовой уровень – 144. Высший – 236 (25/VI). Низший – 98 (24/XII).												

Примечание. 18/I снежица. 12/II забереги выше и ниже водпоста.

График изменения средних суточных уровней строится по данным таблицы 2 «Ежедневные уровни воды» на миллиметровой бумаге размером 407×288 мм (рисунок 12).

На горизонтальной оси графика – время (месяцы года); на вертикальной – значения уровней над нулем графика (см). Вертикальный масштаб подбирается в зависимости от годовой амплитуды колебания уровней. Последняя вычисляется как разность максимального H_{max} и минимального H_{min} среднесуточного уровней. Выбор масштаба рекомендуется производить по таблице 3.

Таблица 3 -- Выбор масштаба

Годовая амплитуда, м	Масштаб	
	вертикальный	горизонтальный
1	1:10	1 см – 10 суток
2	1:20	
5	1:50	
10	1:100, 1:200	

Построение графика изменения уровня производится следующим образом. На расстоянии 1 мм от начала координат (что по времени соответствует 1 января) восстанавливают перпендикуляр до пересечения с перпендикуляром к оси ординат на отметке 126 см (уровень воды на 1 января).

Пересечение перпендикуляров отмечают точкой. И так за каждые сутки года. Соединяя точки, получают кривую, дающую наглядное представление об изменении режима уровней на конкретном водомерном посту, а также о типе питания реки. Ледовая обстановка наносится на график по данным ледовых явлений на водном объекте, проставляемым справа от значений уровня (таблица 2). Их условные обозначения приводятся рядом с величинами уровней в «Ежегодниках» (рисунок 13, б).

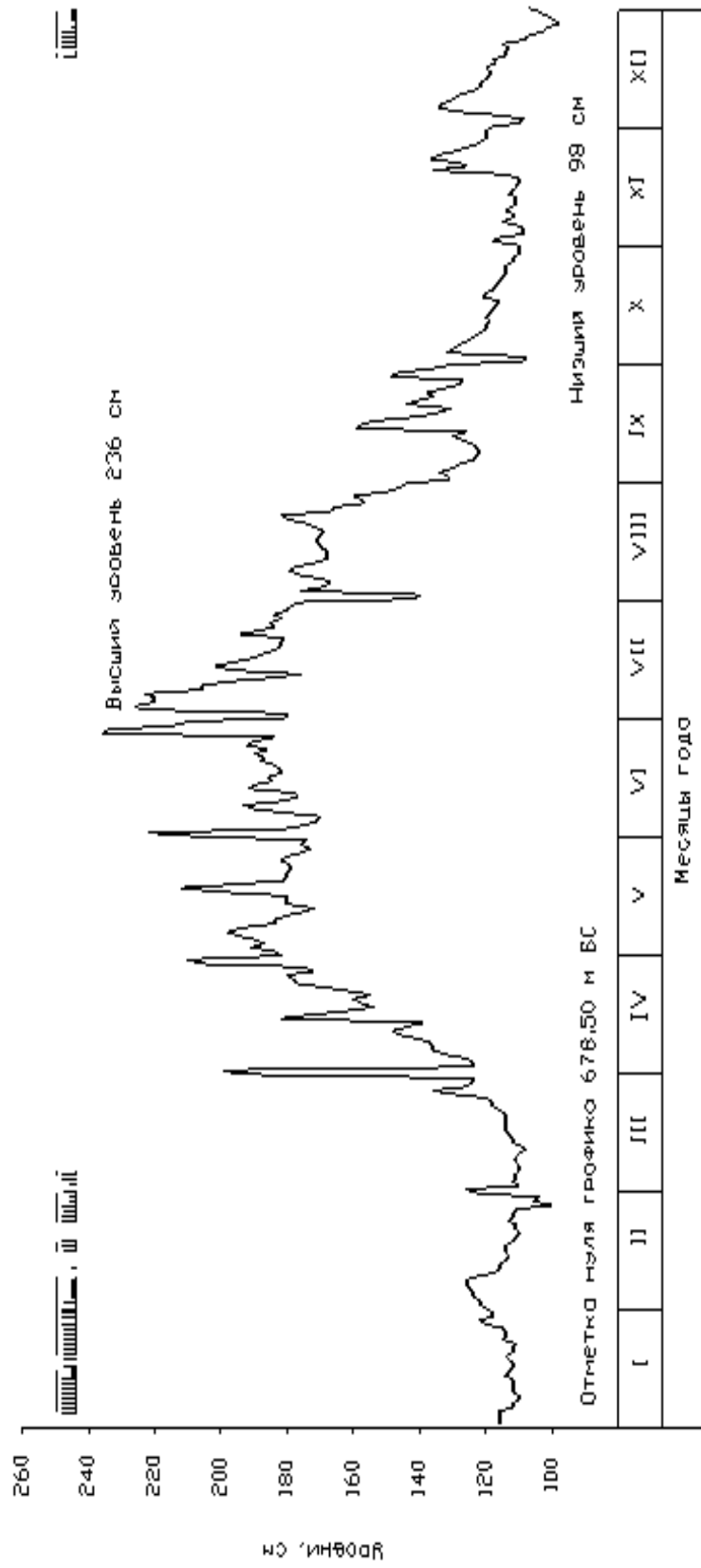


Рисунок 12 – График колебания уровня воды р. Большой Зеленчук (ст-ца Исправная) за 1961 год.



Рисунок 13 – Условные обозначения ледового режима на графиках (а) и в таблицах (б):

1 – сало, 2 – забереги; 3 – сало при заберегах; 4 и 5 – редкий и густой шугоход; 6 и 7 – редкий и густой ледоход; 8 – ледостав; 9 – вода поверх льда; 10 – закраины или поднявшийся лед; 11 – дата затора или зажора; 12 – дата подвижки льда

Составление ведомости повторяемости (частоты) и продолжительности (обеспеченности)

Повторяемостью уровня называют количество дней с данным уровнем в пределах заданного интервала. Продолжительностью – количество дней с уровнем воды не ниже заданного.

Для составления ведомости повторяемости и продолжительности стояния уровней годовая амплитуда колебания делится на 13 – 20 интервалов (по 10, 20, 40 см). Производится выборка количества дней повторения уровня в каждом интервале за каждый месяц (из таблицы 2) и результат вносится соответственно интервалу и месяцу в таблицу 4 в графу 5 против интервала 554 – 520 число 6 и так по каждому интервалу за каждый отдельный месяц года. В графу «Итого» записывают сумму дней по вертикали. Она должна равняться числу дней в месяце.

Повторяемость уровня за год для каждого интервала рассчитывают сложением числа дней появления уровней и записывают в графу 14 таблицы 4. Например, в интервале 199–160 повторяемость равна 17 дням.

Продолжительность стояния уровня в днях вычисляется путем последовательного суммирования повторяемости в отдельных интервалах начиная с наивысшего (графа 16).

На графике указывается название реки и поста, год, отметка нуля графика.

Построение графика кривых повторяемости и продолжительности стояния уровней

Построение кривой повторяемости в днях производится по данным граф 1 и 14 таблицы 4, а частоты – граф 1 и 15. Для построения кривой продолжительности используем данные граф 1 и 16, обеспеченности – граф 1 и 17. Точки по оси координат откладывают **в середине интервала для кривой повторяемости и нижнем конце интервала для кривой продолжительности**. Плавнo соединяя точки, получают кривые повторяемости и продолжительности (рисунок 14).

Частоту и обеспеченность уровней определяют из таблицы 4 (графы 15 и 17) или по рисунку 14, используя кривые повторяемости и продолжительности и ось времени (абсциссу) в процентах от года.

Таблица 4 – Ведомость повторяемости и продолжительности уровней

Интервалы уровней над нулем графика	Число дней стояния уровней в интервале по месяцам												Повторяемость уровней за год		Продолжи- тельность уровня за год	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	дней	%	дней	%
554 – 520				6									6	1,64	6	1,64
519 – 480				4									4	1,1	10	2,74
479 – 440	11			4									15	4,11	25	6,85
439 – 400	4	11	15	6									36	9,86	61	16,67
399 – 360	1	11	9	1									22	6	83	22,67
359 – 320	1	6	7	2									16	4,38	99	27,03
319 – 280	1			7									8	2,19	107	29,22
279 – 240	1				9								10	2,75	117	31,97
239 – 200					11								11	3	128	34,98
199 – 160	1				11	5							17	4,65	145	39,63
159 – 120	11					25	6					3	45	12,15	190	51,68
119 – 80							25	30			10	28	93	25,5	283	76,85
79 – 66								1	30	31	20		82	22,46	365	100
<i>Итого</i>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	100		

Построенные кривые продолжительности (обеспеченности) и повторяемости (частоты) уровня используются при решении многих практических задач, например при определении продолжительности затопления и для расчета отметок водозабора.

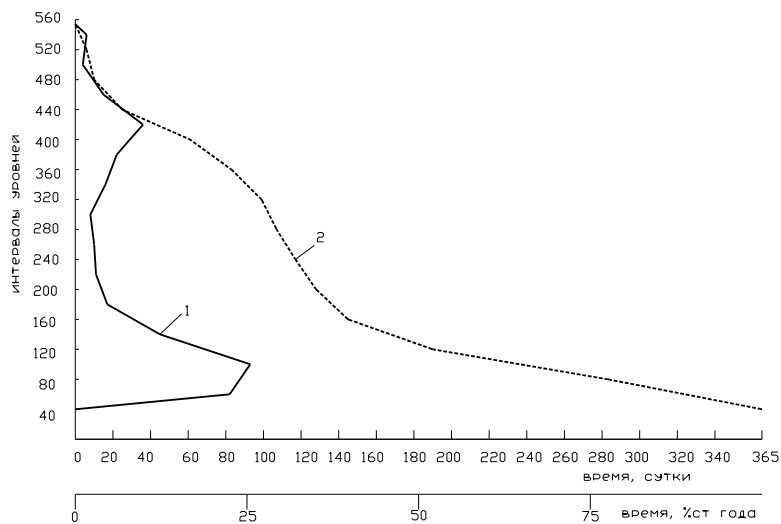


Рисунок 14 – График повторяемости (1) и продолжительности (2) уровней р. Большой Зеленчук (ст -- ца Исправная, 1961 г.)

В задании нужно определить сколько дней в году были обеспечены уровни H_{\max} , H_{\min} , $H_{\text{ср.год}}$, а также судоходные глубины при условии, что последние соответствует уровню $H_{\min} + 1$ м. Как видно из рисунка 14, уровень воды в р. Большой Зеленчук (ст-ца Зеленчукская) не опускался ниже 66 см, т.е. судоходными глубины $H \geq 0,66 + 1 = 1,66$ м были 145 дней.

Оформляется задание чернилами, рисунки выполняются в карандаше. Кривые вычерчивают разным цветом или нумеруют.

1.2 Промеры глубин водных объектов

Глубиной водного объекта называется расстояние **по вертикали от поверхности воды до дна** (реки, канала, озера, водохранилища и т. п.). Измерения глубин (промерные работы) – важный вид гидрометрических работ. Сведения о глубинах водотоков необходимы для нужд судоходства и лесосплава, проектирования, строительства и эксплуатации систем водоснабжения, гидротехнических сооружений, определения расходов воды, наносов, а также величин объемов воды в озерах и водохранилищах.

При промерных работах применяют различные приборы и устройства (наметки, лоты, эхолоты).

Поскольку глубина воды измеряется от ее поверхности, при проведении промерных работ обязательно ведут наблюдения за уровнем воды. Уровень воды в пору промеров называется рабочим уровнем H_p . По материалам промерных работ строят поперечные и продольные профили реки или водоема, определяют их морфометрические характеристики.

Приборы и устройства для измерения глубин водных объектов

При промерных работах применяют различные приборы и устройства (наметки, лоты, эхолоты, гидрометрические штанги).

Наметка. Это устройство (рисунок 15, а) представляет собой деревянный шест круглого сечения диаметром 4 – 5 см, длиной до 5 – 7 м.

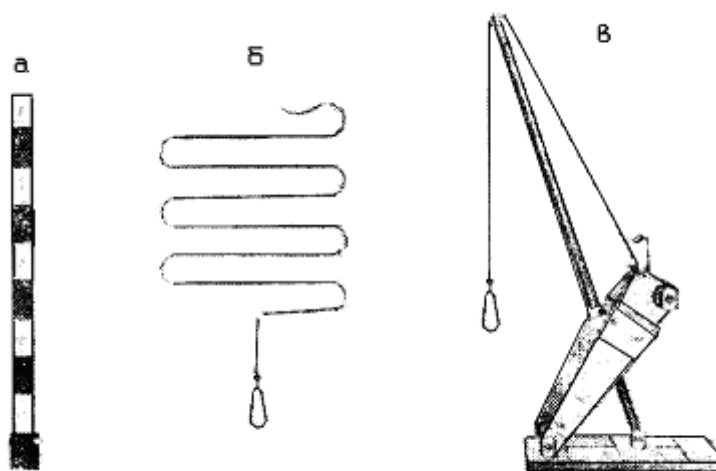


Рисунок 15 – Простейшие устройства для измерения глубин:

а) наметка, б) лотлинь, в) лебедка «Нева»

При измерении глубин наметку выбрасывают нижним концом вперед по ходу промерного судна, а отсчет глубин по ней производят в тот момент, когда наметка окажется на дне водоема в вертикальном положении. Отсчеты глубин определяют с точностью до 2 – 5 см.

При малых глубинах для промеров могут применяться различного рода рейки, а также гидрометрические штанги.

Лот (ручной, механический). Лот ручной представляет собой металлический груз весом от 2 до 5 кг, на верхнем конце которого имеется ушко для прикрепления его к линю, в качестве которого употребляют предварительно растянутый пеньковый или капроновый шнур или мягкий стальной трос. Лотлинь размечают мерками на метры и дециметры.

Стандартный ручной лот (рисунок 15, б) рассчитан на измерение глубин в реках до 25 м, а в водоемах без течения – до 100 м.

При измерении глубин лот забрасывается вперед против течения, отсчет берут в момент, когда лот достиг поверхности дна, а лить находится в натянутом положении. Вследствие прогиба линя и отхода лота течением, точность измерения лотом меньше, чем наметкой (5 – 10 см).

Лот механический состоит из трех основных частей:

- 1) лебедки со счетчиком, служащей для опускания и подъема груза (лота) при измерении глубин;
- 2) троса, на котором опускается груз;
- 3) груза обтекаемой рыбовидной формы.

Для измерения глубин и других гидрометрических работ чаще всего применяются лебедки «Нева» (рисунок 15, в) и «Луга».

Счетчики лебедок указывают длину размотанной части троса с точностью до 1 см и имеют приспособления для установки на нуль. Длина троса на обеих лебедках по 22 м. Лебедка «Нева» удобна для применения глубин с гидрометрического мостика, а «Луга» – с лодки.

Стандартные гидрометрические грузы имеют вес от 5 до 100 кг, их подбор регламентируется скоростью течения потока (рисунок 16).

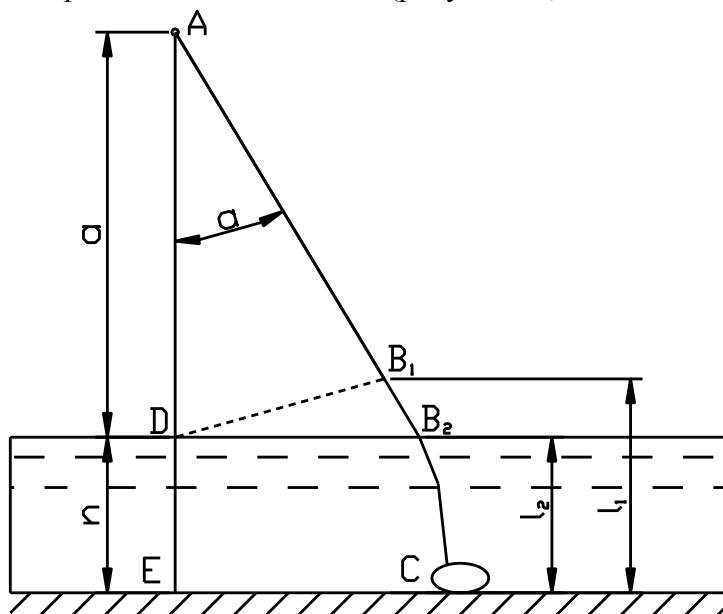


Рисунок 16 – Схема к определению поправок на относ лотлиня течением

Эхолоты. Промерные эхолоты используются для автоматического измерения глубин с помощью гидроакустики. Они обеспечивают высокую точность измерения глубин, а также большую оперативность выполнения промерных работ.

Речные промерные эхолоты можно разделить на два основных типа: 1) эхолоты с самопишущим устройством; 2) эхолоты с указателем глубин.

Обработка материалов промеров глубин

Исходные данные: выписка из книжки для записи промеров глубин (таблица 5). Глубины измеряли с лодки наметкой с поддоном, расстояния – по размеченному стальному тросу. Погода: ясно, ветер – слабый по течению, русло – свободное. Уровень воды на гидрологическом посту принят равным $H = 3,8$ м над нулем графика, а отметка уровня равной 678,5 м.

Таблица 5 – Выписка из книжки для записи промеров глубин (нуль графика поста – 675,5 м усл.)

Номер промерной вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина, м		Отметка дна реки, м усл.	Расстояние между вертикалями, м	Площадь водного сечения между промерными вертикалями, м ²
		на вертикали	между вертикалями			
Урез правого берега	0,7	0		679,3		
1	4,7	1,3	0,65	678	4	2,6
2	8,7	1,9	1,6	677,4	4	6,4
3	12,7	2,2	2,05	677,1	4	8,2
4	16,7	2,7	2,45	676,6	4	9,8
5	20,7	3,1	2,9	676,2	4	11,6
6	24,7	3,8	3,45	675,5	4	13,8
7	28,7	3,5	3,65	675,8	4	14,6
8	32,7	3	3,25	676,3	4	13
9	36,7	3,2	3,1	676,1	4	12,4
10	40,7	2,1	2,65	677,2	4	10,6
11	44,7	0,9	1,5	678,4	4	6
12	48,7	0,5	0,7	678,8	4	2,8
Урез левого берега	50,7	0	0,25	679,3	2	0,5

$$\omega = 112,3 \text{ м}^2$$

3. Для каждого профиля вычисляют основные морфометрические характеристики, необходимые для гидрологических и гидравлических расчетов: площадь водного сечения ω ; ширину реки или водоема B ; среднюю глубину $h_{\text{ср}}$, наибольшую глубину h_{max} , гидравлический радиус R .

Принятые данные:

$H=3,8$ м
 $\omega=112,3$ м²
 $B=50$ м
 $h_{cp}=2,24$ м
 $h_{кр}=3,8$ м
 $R=56,68$ м

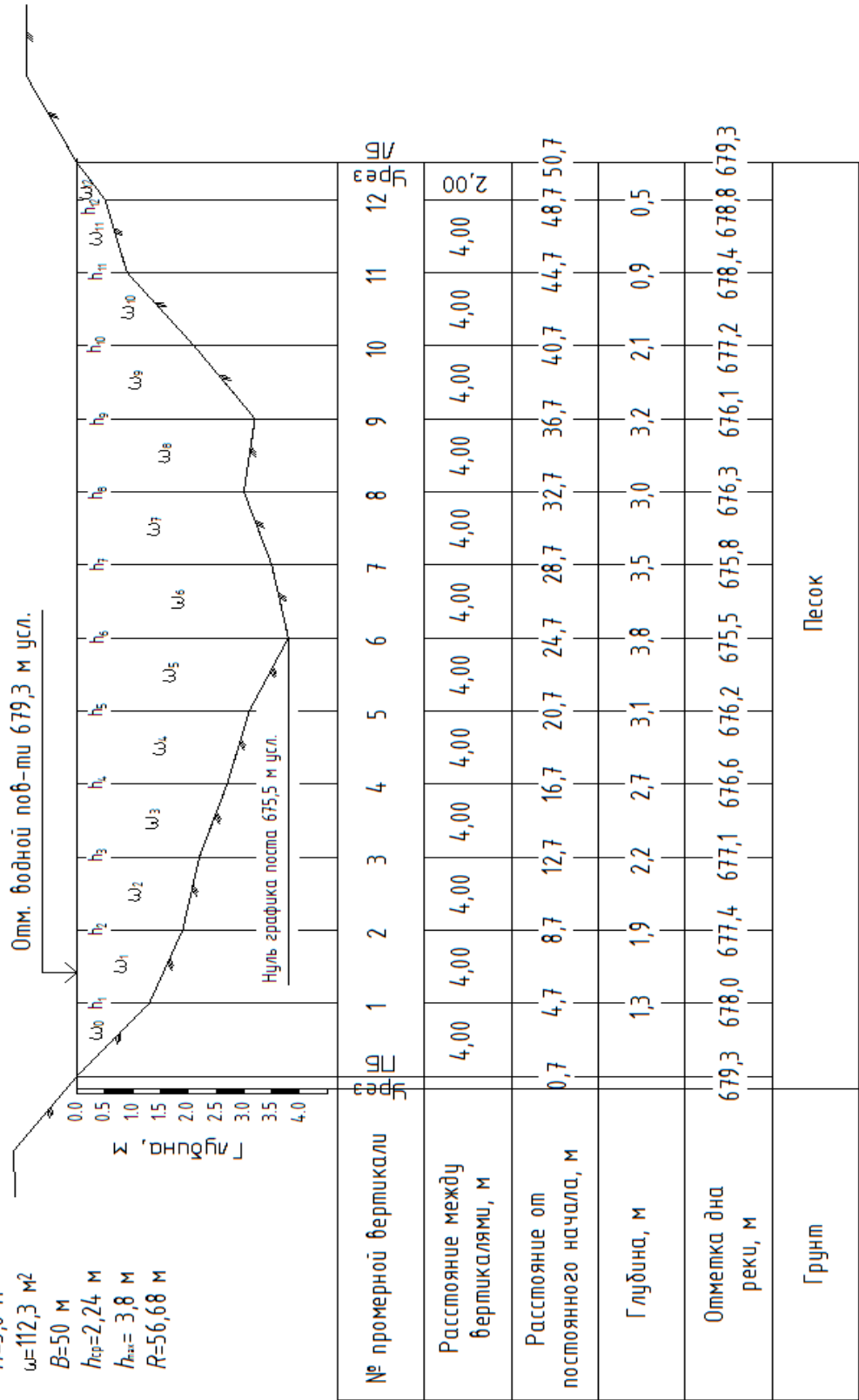


Рисунок 17 – Поперечный профиль водного сечения

Площадь, ограниченную профилем дна и поверхностью воды, перпендикулярную вектору скорости потока, называют площадью водного сечения. Ее можно определить планиметрированием профиля или аналитически – суммированием рассчитанных площадей, ограниченных промерными вертикалями и поверхностью воды и дном (см. рисунок 17).

Для прибрежных участков, если $h_0 = h = 0$, то площадь водного сечения определяют по формуле

$$\omega_0 = 0,5h_1b_0 \text{ и } \omega_n = 0,5h_nb_n. \quad (1)$$

Все остальные участки площади, ограниченные промерными вертикалями, представляют собой трапеции и определяются по формуле:

$$\omega_i = 0,5(h_i + h_{i+1})b_i. \quad (2)$$

Общая площадь водного сечения вычисляется суммой отдельных площадей вычисленных по формулам (1) и (2).

$$\omega = 0,5h_1b_0 + 0,5(h_1 + h_2)b_1 + \dots + 0,5h_nb_n, \quad (3)$$

где: $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ – рабочие глубины, м;

b_0 – расстояние между урезом правого берега и первой вертикалью и расстояние между урезом левого берега и последней вертикалью.

b_1, b_2, \dots, b_n – расстояние между промерными вертикалями, м.

Результаты вычислений приведены в графе 7 таблицы 5.

Ширину реки определяют как разность расстояний левого и правого урезом берегов от постоянного начала:

$$B = L_{лб} - L_{пб} = 50,7 - 0,7 = 50 \text{ м.}$$

Средняя глубина составляет:

$$h_{cp} = \omega/B = 112,3 : 50 = 2,24 \text{ м.}$$

Наибольшая глубина в водном сечении $h_{max} = 3,8$ м.

Если ширина реки значительно превышает среднюю и наибольшую глубину, гидравлический радиус принимают равным средней глубине:

$$R = h_{cp} = 2,24 \text{ м.}$$

Полученные морфометрические характеристики водного сечения реки выписывают в качестве принятых данных на поперечный профиль слева от оси уровней (см. рис. 17).

При решении гидрометрической задачи по измерению расходов воды наиболее ответственным является измерение скоростей течения как составного гидравлического элемента речного потока.

1.3 Скорости течения

Скоростью движения воды называют путь, пройденный частицей жидкости в одну секунду. Скорость потока измеряют с помощью гидрометрических вертушек, поплавков, трубок Пито, микровертушек и лазерных установок.

Приборы для измерения скоростей движения воды

Гидрометрическая вертушка ГР - 21М (рисунок 18) предназначена для измерения скоростей течения в водотоках. Опускается в поток на штанге или тросе.

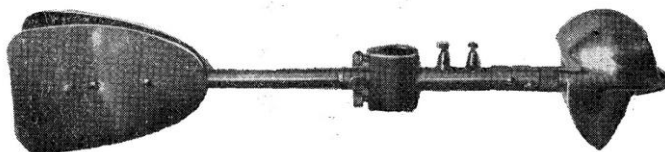


Рисунок 18 – Гидрометрическая вертушка ГР - 21М

Работа гидрометрической вертушки основана на преобразовании угловой скорости вращения винта под действием набегающего потока в частоту следования электрических импульсов. Между скоростью течения и числом оборотов лопастного винта в единицу времени существует определенная зависимость, устанавливаемая при тарировке.

Вертушка состоит из корпуса, винта, управляющего контактным преобразователем, и хвостового оперения. Корпус, в котором расположен контактный преобразователь, водонепроницаем и заполнен маслом. Сигнальное устройство состоит из электрического звонка или лампочки, управляемых контактным преобразователем. Один электрический импульс в сигнальной цепи отмечается через 20 оборотов винта. Для счета числа импульсов в единицу времени используется секундомер.

Прибор рассчитан на работу в полевых условиях с плавсредств или с гидрометрических сооружений (мостик, люлька) в летний период и со льда – в зимний период. Вертушка рекомендуется для эксплуатации на реках равнинного типа.

Гидрометрическая вертушка ГР - 55 (рисунок 19) служит для измерения скоростей течения воды. Опускается в водоток на штанге или тросе.

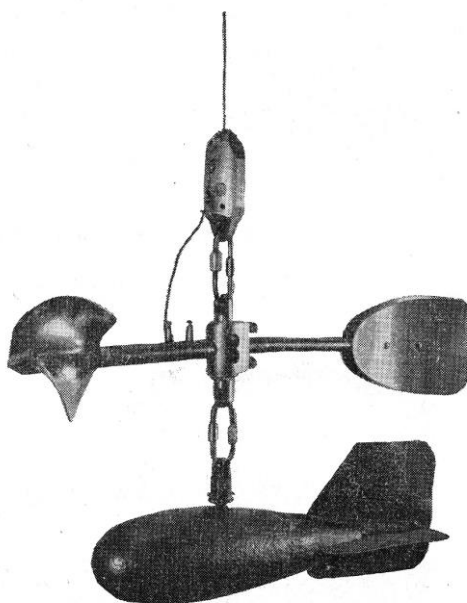


Рисунок 19 – Гидрометрическая вертушка ГР -- 55

Принцип действия гидрометрической вертушки ГР -- 55 аналогичен вертушке ГР -- 21М. Отличительной особенностью является конструктивное решение электромеханического преобразователя, упрощающее технологию изготовления деталей и улучшающее эксплуатационные качества прибора.

Вертушка ГР -- 55 рекомендуется для эксплуатации на реках горного типа и для работы в гидротехнических сооружениях. Лопастный винт № 2 рекомендуется применять при опускании на тросе.

Микровертушка ГР-96. Микровертушка ГР -- 96 (рисунок 20) предназначена для измерения скорости течения воды. Опускается в поток на штанге.

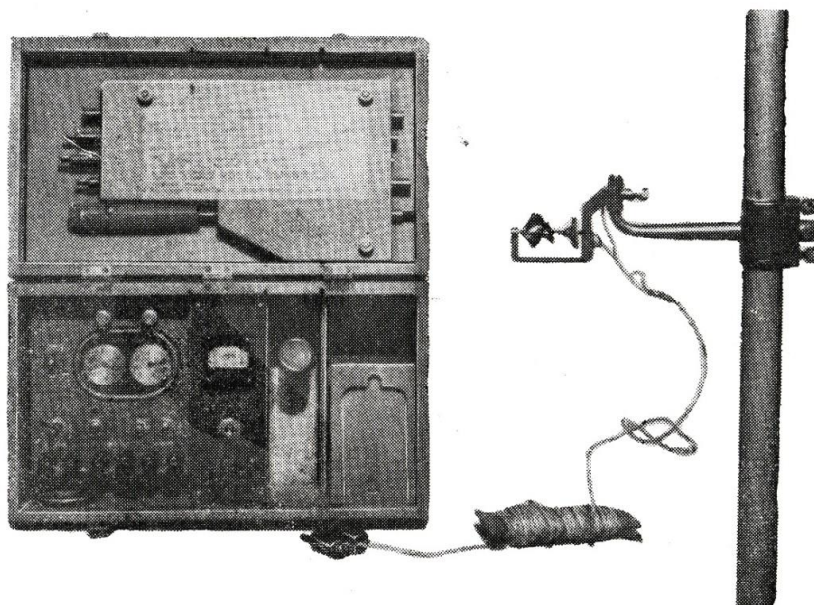


Рисунок 20 – Микровертушка ГР -- 96

Определение скорости основано на зависимости между скоростью течения набегающего потока и угловой скоростью вращения лопастного винта. Скорость течения в любой точке потока определяется по тарировочному графику. Прибор состоит из вертушки и регистратора импульсов.

Вертушка состоит из корпуса, ходовой части с лопастным винтом и контактного устройства.

Преобразование числа оборотов винта в электрические сигналы основано на использовании электропроводности воды, составляющей электрическую цепь линии связи. Сигналы в линии связи следуют через один оборот лопастного винта.

Регистратор импульсов состоит из усилителя и электромеханического счетчика. Усилитель предназначен для формирования и усиления электрических импульсов, а электромеханический счетчик – для суммирования их количества. Отсчет времени производится по секундомеру.

Микровертушка ГР -- 96 рекомендуется для эксплуатации в лабораторных условиях, а также в естественных руслах и каналах при отсутствии травы, водорослей и пр.

Гидрометрическая вертушка ГР - 99. Вертушка ГР -- 99 (рисунок 21) предназначена как для измерений скоростей течения воды в отдельных точках, так и интеграционным способом. Опускается в поток на штанге или тросе.

Определение скорости основано на функциональной зависимости между скоростью течения набегающего потока и угловой скоростью вращения лопастного винта.

Прибор состоит из вертушки и пульта со счетчиком импульсов. Преобразование числа оборотов лопастного винта вертушки в электрические импульсы осуществляется с помощью магнитоуправляемого контакта (геркона). Суммирование импульсов, поступающих от контактов геркона, осуществляется регистратором импульсов.

Пульт состоит из электромеханического счетчика, секундомера и устройства, обеспечивающего синхронное включение и выключение счетчика и секундомера.

Скорость течения воды определяется по тарифовочному графику.

Вертушка ГР -- 99 рекомендуется для эксплуатации на реках равнинного и горного типа с плавсредств или с гидрометрических сооружений (мостик, люлька).

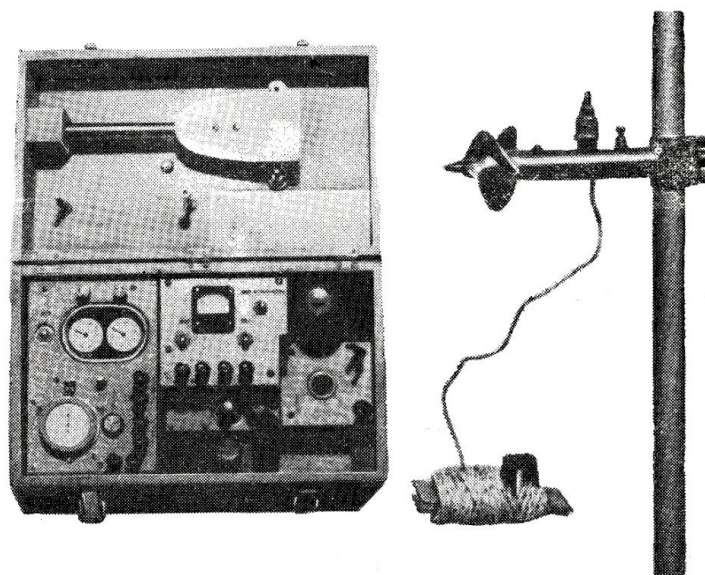


Рисунок 21 – Гидрометрическая однооборотная вертушка ГР -- 99

Установка гидрометрическая интеграционная ГР-101. Установка ГР -- 101 (рисунок 22) представляет собой комплекс приборов и предназначена для измерения интеграционным способом средней скорости течения на вертикали при определении расходов воды в реках.

Установкой можно также измерять скорость течения воды в отдельных точках потока и выполнять промерные работы.

Действие прибора основано на непрерывном суммировании сигналов гидрометрической вертушки при перемещении ее по измерительной вертикали с некоторой постоянной скоростью.

В комплект установки входят: гидрометрическая вертушка, гидрометрические грузы массой 25 и 50 кг, снабженные донным контактом, и измерительный пульт.

Гидрометрическая вертушка является датчиком скорости и состоит из корпуса и ходовой части с контактным устройством.

Контактное устройство, служащее для преобразования вращательного движения лопастного винта вертушки в электрические импульсы, состоит из магнитоуправляемого контакта типа КЭМ -- 2, постоянного магнита и магнитного экрана. Контактное устройство периодически, через один оборот лопастного винта, замыкает цепь, в которую включена вертушка.

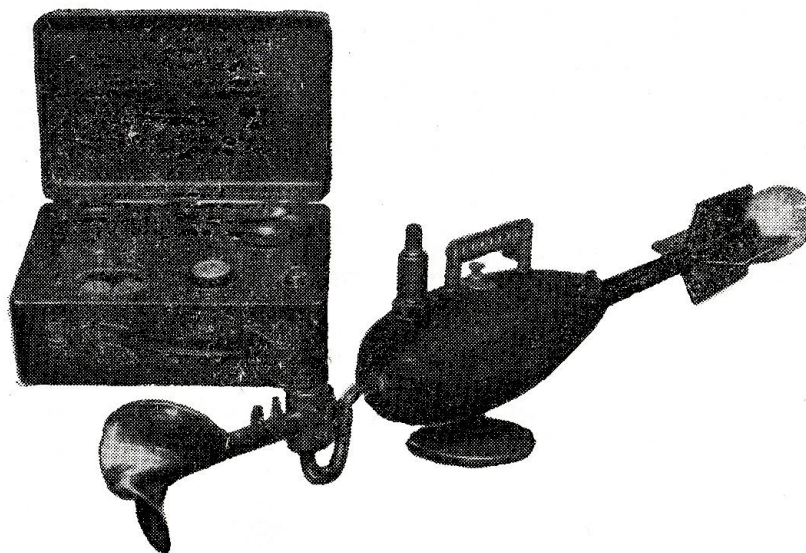


Рисунок 22 – Установка гидрометрическая интеграционная ГР -- 101

Гидрометрические грузы предназначены для удерживания вертушки на вертикали и ориентации ее в потоке.

На грузе установлены: кронштейн с гайкой для установки и закрепления вертушки; планка с отверстиями, укрепленная на стойках и служащая для подвешивания груза к несущему тросу лебедки; донный контакт, предназначенный для сигнализации о достижении грузом дна потока.

Измерительный пульт предназначен для суммирования сигналов вертушки и определения времени ее работы при измерении средней скорости интеграционным способом.

Суммирование сигналов вертушки производится электромеханическим счетчиком типа МЭС -- 54, а измерение времени работы вертушки – механическим секундомером, кнопка которого кинематически связана с рычагом блока управления. Включение и выключение счетчика и секундомера производится синхронно. Включение производится вручную, а выключение – автоматически, при срабатывании донного контакта груза.

Перемещение вертушки с грузом по вертикали производится с помощью гидрометрической лебедки (типа «Луга», «Нева» ГР -- 36 и т.п.), при этом равномерность перемещения обеспечивается вращением рукоятки лебедки по звуковым сигналам метронома. Интервалы между сигналами метронома 1, 4 и 6 с. Генератором звуковых сигналов метронома является звонок.

Измерения установкой производятся с моста, лодки, катера, люльки и других средств переправы, а также с берега, если гидрометрический створ оборудован установкой ГР -- 64 или ГР -- 70.

Методика измерения скоростей

Скорости течения измеряют на скоростных вертикалях. Число скоростных вертикалей и точек измерения скорости зависит от состояния водотока, глубины потока и требуемой точности вычисления расхода. Различают три способа измерения скоростей вертушкой: детальный, основной и сокращенный.

Детальный способ. При этом способе измерения скорости число точек по глубине равно пяти: поверхность; 0,2h; 0,6h; 0,8h и дно.

При измерении скорости у поверхности ось вертушки устанавливается на глубину, равную 0,1 м.

При измерении скорости у дна ось вертушки должна устанавливаться так, чтобы лопасть винта возвышалась над дном на 0,1 м.

Глубина погружения на 0,6 h с учетом глубины вертикали ($h = 3,15$ м) составляет $0,6 \cdot 3,15 = 1,89$ м, аналогично следует проверить и расчет глубин положения точек 0,6h и 0,8h.

Глубины погружения указываются от поверхности воды, отсчеты же по штанге вычисляются от дна. Следовательно, чтобы получить отсчет по штанге для точки «поверхность» следует из общей глубины вычесть глубину погружения в метрах. Аналогичные расчеты проводятся для всех точек вертикали. Число точек зависит от глубины, состояния реки и размеров вертушки (расстояние между точками должно быть не менее диаметра лопастного винта). При наличии ледяного покрова к пяти точкам добавляется точка 0,4h.

При детальном способе для наблюдения за пульсацией скорости производится запись времени поступления отдельных сигналов.

При небольших скоростях течения записывается отсчет времени для каждого сигнала, при больших скоростях – через один или несколько сигналов.

Вводится термин «прием», который означает число сигналов, поступающих за промежуток времени между записями.

При поступлении сигналов чаще, чем через 3 – 5 с, следует переходить на сокращенный способ измерения с записью только общего числа оборотов за время измерения. Число приемов за время измерения должно быть четным, не менее двух и не более восьми. Общая продолжительность наблюдений должна быть не менее 100 с. При малой пульсации скорости отсчеты по секундомеру должны не значительно отличаться друг от друга.

Если при проверке записей отсчетов по секундомеру обнаружатся ошибки в сигналах, то сомнительные записи следует исключить из расчета. Таким образом, проверив сигналы для всех точек, убеждаемся, что полевые записи произведены верно и можно приступить к дальнейшей обработке и вычислению скорости в точке.

Основной способ. При русле свободном ото льда и растительности, скорость измеряется в точках 0,2h и 0,8h. Если глубины недостаточны, то в одной точке – 0,6h.

При заросшем русле или при наличии ледяного покрова измерения производятся в точках 0,15h; 0,50h и 0,85h. Если глубины недостаточны, то наблюдения за скоростями проводят в точке 0,5h.

Сокращенный способ. Измерение скоростей производится в двух точках – 0,2h и 0,8h или в одной точке – 0,6h.

Согласно вышеизложенным указаниям и рекомендациям по проверке записей расположения вертушки по глубине определяется правильность погружения вертушки на заданные точки.

При основном и сокращенном способах определения расхода наблюдения за пульсацией не производится. Поэтому записывается общая продолжительность периода измерения t , причем первый сигнал, по которому включается секундомер, не учитывается. При проверке наблюдений нужно придерживаться следующих правил: 1) если за 100 с поступит пять сигналов и более, то по следующему сигналу секундомер останавливается и измерения прекращаются; 2) если за 100 с поступит один – три сигнала, то наблюдения продолжают до четвертого сигнала.

Продолжительность наблюдений может быть меньше 100 с при больших скоростях течения. В бланке записывается номер последнего сигнала. Предположим, что за время $t = 128$ с поступило 16 сигналов, число оборотов за прием равно 20, тогда сумма оборотов равна $16 \cdot 20 = 320$.

После проверки записи показаний вертушки вычисляется сумма оборотов лопастей вертушки N (как произведение номера отсчета по секундомеру на число оборотов за прием).

При всех способах измерений число оборотов лопастей в секунду определяется с точностью до 0,01 по формуле (об./с):

$$n = N/t,$$

где N – сумма оборотов лопасти в точке, об.;

t – продолжительность наблюдений, с .

Вычисление скорости в точке производится по тарировочной кривой или по градуировочной таблице 6 в зависимости от числа оборотов лопасти в секунду. Тарированием гидрометрической вертушки называется испытание, в результате которого устанавливается зависимость между скоростью течения U (м/с) и n (об./с). По полученному значению n_1 определяется скорость в точке U_1 (м/с).

Таблица 6 – Градуировочная таблица вертушки ГР -- 21 (№ 375220) по определению скорости (м/с) в зависимости от числа оборотов в секунду

Число оборотов в секунду	Скорости течения									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,2	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
0,3	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
0,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,1	0,1
0,5	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
0,6	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15
0,7	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18
0,8	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,9	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24
1,0	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26
1,1	0,26	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29
1,2	0,29	0,29	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,31	0,31	0,31
1,3	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34
1,4	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37
1,5	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,4
1,6	0,4	0,4	0,4	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,41
1,7	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45
1,8	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47
1,9	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,5	0,5
2,0	0,5	0,5	0,51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52	0,52	0,53
2,1	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55
2,2	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,58	0,58
2,3	0,58	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59	0,6	0,6	0,6	0,6
2,4	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63	0,64

Среднюю скорость на скоростной вертикали вычисляют по одной из следующих формул: при свободном русле в случае измерения скорости в пяти стандартных точках (**детальный способ**):

при убывании скорости от поверхности ко дну:

$$U_{cp} = 0,1(U_{пов} + 3U_{0,2h} + 3U_{0,6h} + 2U_{0,8h} + U_{дно}), \quad (4)$$

Основной способ - $U_{cp} = 0,25(U_{0,2h} + 2U_{0,6h} + U_{0,8h})$ (4a)

Сокращённый - в двух точках:

$$U_{cp} = 0,5(U_{0,2h} + U_{0,8h}), \quad (5)$$

и в одной точке:

$$U_{cp} = U_{0,6h}. \quad (6)$$

При наличии ледяного покрова или растительности в случае измерения в одной точке:

$$U_{cp} = kU_{0,5h}. \quad (7)$$

На графике указывается название реки и поста, год, отметка нуля графика, где $k = 0,9$.

Результаты измерения скоростей, а также глубин воды на скоростных вертикалях заносят в книжку для записи измерения расхода воды КГ -- ЗМ (таблица 7).

1.4 Расходы воды

Расход воды, т. е. количество воды, протекающей через живое сечение потока в секунду, – одна из главных гидравлических характеристик потока жидкости, определяющая другие его параметры: уровни воды, скорости течения, уклоны свободной поверхности, движение наносов и пр.

В гидрометрии наиболее распространен способ определения расходов воды, основанный на измерении местных скоростей течения гидрометрической вертушкой и площади живого сечения потока, сокращенно называемый способом «скорость – площадь».

Вычисление расхода воды осуществляется по скоростям, измеренным гидрометрической вертушкой, и глубинам потока, а также площадям живого сечения потока (аналитическим или графическим способом).

Аналитический способ применяют при детальном и основном способах измерения расхода. Он основан на рассечении модели расхода вертикальными плоскостями, перпендикулярными живому сечению, и определении расхода воды Q как суммы частичных расходов между соседними плоскостями, проходящими через скоростные вертикали. Расчетная схема к этому способу представлена на рисунке 23.

Сложная по форме модель расхода по этой схеме заменяется рядом правильных геометрических фигур (пирамид или призм), объем которых подсчитывается по формуле (8).

Например, расход воды между первой и второй скоростной вертикалями равен:

$$\Delta Q_1 = 0,5 (U_{ср i} + U_{ср i+1}) \omega_i, \quad (8)$$

где $U_{ср i}$ – средние скорости соответственно на i -тых вертикалях;

ω_i – площадь живого сечения между вертикалями.

Аналогично определяют расходы воды и между другими скоростными вертикалями.

Таблица 7 – Расчетная таблица скоростей течения воды

Номер вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Рабочая глубина, м	Глубина опускания вертушки		Отсчет по штанге, м	Число оборотов за прием	Отсчеты по секундомеру, с (приемы)						Сумма оборотов	Число оборотов, об./с	Скорость в точке, м/с	Средняя скорость на вертикали, м/с
			в долях глубины	в метрах от поверхности			1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й				
1	4,7	1,3	0,6h	0,78	0,52	20	28	57	72	93	110	127	120	0,945	0,22	0,22
2	12,7	2,2	0,2h	0,44	1,76	40	25	50	77	112			160	1,429	0,35	0,30
			0,8h	1,76	0,44	20	21	40	53	70	91	112	120	1,071	0,25	
3	20,7	3,1	0,2h	0,62	2,48	20	27	70	97	127			80	0,630	0,13	0,35
			0,6h	1,86	1,24	40	27	52	81	109			160	1,334	0,86	
			0,8h	2,48	0,62	20	85	160					40	0,250	0,05	
4	28,7	3,5	поверхность	0,1	3,4	40	24	51	76	103	127	142	240	1,690	0,41	0,29
			0,2h	0,7	2,8	40	28	52	80	110			160	1,455	0,36	
			0,6h	2,1	1,4	40	30	65	105	140			160	1,143	0,28	
			0,8h	2,8	0,7	20	26	45	74	110			80	0,727	0,16	
			дно	3,4	0,1	20	20	36	52	68	91	118	120	1,017	0,24	
5	36,7	3,2	0,6h	1,92	1,28	40	49	80	105	130			160	1,231	0,30	0,30
6	44,7	0,9	0,6h	0,54	0,36	40	27	64	100	127			160	1,260	0,30	0,30

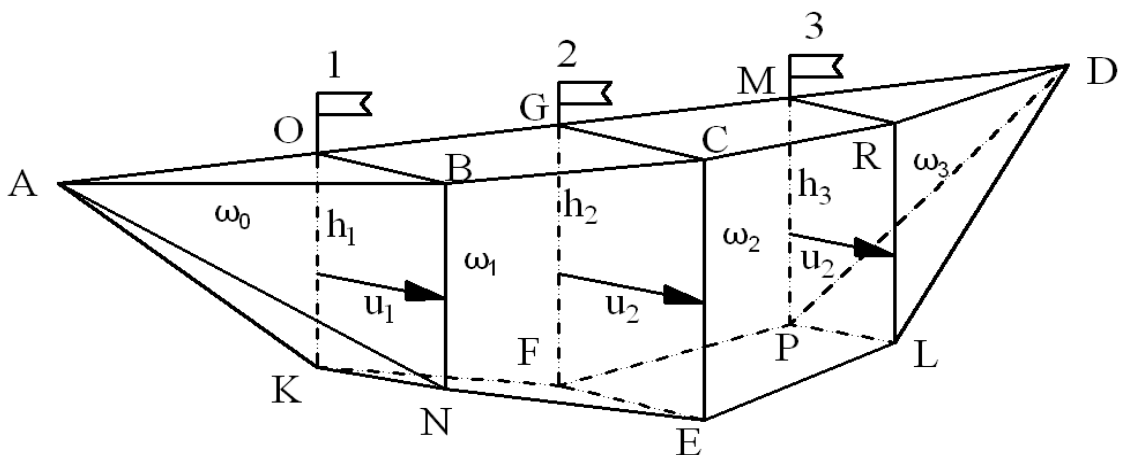


Рисунок 23 – Схема к вычислению расхода воды аналитическим способом (1, 2, 3 – номера скоростных вертикалей)

Для прибрежных участков, ограниченных урезами берегов, первой и последней скоростными вертикалями, частичные расходы определяют по формулам:

$$\Delta Q_0 = k \cdot U_{\text{cp}} \cdot \omega_0, \quad (9)$$

$$\Delta Q_n = k \cdot U_{\text{cp}} \cdot \omega_n, \quad (10)$$

где U_{cp} – средние скорости соответственно на первой и последней скоростных вертикалях;

ω_0 и ω_n – площади живого сечения соответственно между урезом левого берега и первой скоростной вертикалью, и урезом правого берега и последней скоростной вертикалью;

$k = 0,7$ – пологий берег с глубиной на уресе $h = 0$,

$k = 0,8$ – обрывистый берег или неровная стенка,

$k = 0,9$ – гладкая стенка, $k = 0,5$ – наличие мертвого пространства.

Полный расход через все живое сечение вычисляют как сумму частичных расходов:

$$Q = \sum_{i=0}^{i=n} \Delta Q_i \quad (11)$$

Площади живого сечения $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_r$ между скоростными вертикалями вычисляют по материалам промерных работ (таблица 5). Средние скорости на скоростных вертикалях $U_{\text{cp}1}, U_{\text{cp}2}, \dots, U_{\text{cp}}$ определяют по формулам (4 – 7). Все вычисления ведутся в табличной форме (таблица 7).

Задание к вычислению расхода воды

Требуется в соответствии с заданием вычислить расход воды аналитическим способом по скоростям, измеренным гидрометрической вертушкой, и глубинам потока.

Исходные данные: выписка из книжки для записи измерения расхода воды (см. таблица 7). Скорости измеряли вертушкой типа ГР -- 21; контакт через 20 оборотов; градуировка № 15 (таблица 6).

Порядок вычислений следующий:

1. Обрабатывают материалы промеров глубин по гидроствору и подсчитывают площади водного сечения между промерными и скоростными вертикалями (таблица 8). Площади между промерными вертикалями (таблица 8, графа 7) вычисляют как площади трапеций, образованных промерными вертикалями, линией дна и свободной поверхности, а между скоростными вертикалями (графа 8) – как суммы площадей между соответствующими промерными вертикалями. Например, между урезом правого берега и скоростной вертикалью I $\omega_0 = 2,6 \text{ м}^2$, а между скоростными вертикалями I и II $\omega_1 = 6,4 + 8,2 = 14,6 \text{ м}^2$ и т. д.

2. Вычисляют скорости течения на скоростных вертикалях (таблица 7) в таком порядке:

Подсчитывают суммарное число оборотов лопастного винта вертушки за время измерения в каждой точке (графа 14 таблицы 7).

$$N = p \cdot S, \quad (12)$$

где p – число оборотов за прием;

S – общее число приемов в точке измерения.

Таблица 8 – Вычисление расхода воды аналитическим способом

Номер вертикали		Расстояние от постоянного начала, м,	Глубина, м		Расстояние между промерными вертикалями, м	Площадь живого сечения, м ²		Средняя скорость, м/с		Расход воды между скоростными вертикалями, м ³ /с,
промерной	скоростной		на вертикали	между промерными вертикалями		между промерными вертикалями	между скоростными вертикалями	на скоростных вертикалях	между скоростными вертикалями	
Урез л.б		0,70	0,00					0,00		
1	1	4,70	1,30	0,65	4,00	2,60	2,60	0,22	0,11	0,57
2		8,70	1,90	1,60	4,00	6,40	14,60		0,26	3,8
3	2	12,70	2,20	2,05	4,00	8,20		21,40	0,30	
4		16,70	2,70	2,45	4,00	9,80				
5	3	20,70	3,10	2,90	4,00	11,60	28,40	0,35	0,2	5,68
6		24,70	3,80	3,45	4,00	13,80				
7	4	28,70	3,50	3,65	4,00	14,60	25,40	0,29	0,29	7,36
8		32,70	3,00	3,25	4,00	13,00				
9	5	36,70	3,20	3,10	4,00	12,40	16,60	0,30	0,3	4,98
10		40,70	2,10	2,65	4,00	10,60				
11	6	44,70	0,90	1,50	4,00	6,00	3,30	0,30	0,15	0,99
12		48,70	0,50	0,70	4,00	2,80				
Урез пр.б.		50,70	0,00	0,25	2,00	0,50		0,00		
Итого	Общая площадь водного сечения					=112,3			27,7	

Например, на скоростной вертикали I при измерении скорости на глубине 0,6h число приемов $S_1 = 6$. Поскольку лопасть вертушки делает 20 оборотов за прием, суммарное их число за время измерения $N = 20 \cdot 6 = 120$.

Рассчитывают частоту вращения лопастного винта, т. е. число оборотов в секунду в точках измерения (графа 15 таблицы 7):

$$N = N : t, \quad (13)$$

где t – общая продолжительность измерения (отсчет по секундомеру на последний сигнал, графы 11 – 13).

Для рассматриваемой точки $n_1 = 120:127 = 0,945$ об./с.

По градуировочной таблице 6 определяют скорости течения в точках измерения (графа 16). В частности, при $n_1 = 0,945$ об.·с⁻¹ местная скорость $U_1 = 0,22$ м/с.

3. Далее определяют средние скорости на скоростных вертикалях (таблица 6, графа 17). При этом в зависимости от числа точек измерения скорости по глубине и состоянию русла применяют одну из формул (5, 6). Для первой вертикали $U_{cp} = 0,22$ м/с, для 2-й – $U_{cp} = 0,30$ м/с.

4. Расход воды между скоростными вертикалями (графа 11 таблицы 8) вычисляют по формулам (8 – 10).

Для прибрежных вертикалей коэффициент k принимают равным 0,7 (0,8 – если пологий берег с глубинами на урезе $h = 0$).

5. Общий расход воды получают суммированием частных расходов между скоростными вертикалями (графа 11 таблицы 8, с учетом k)

$$\begin{aligned} Q &= k \cdot V_{cp} \omega_{0-1} + \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot \omega_{1-2} + \dots + k \cdot V_{cp} \cdot \omega_{n-0} = \\ &= 0,7 \cdot 0,22 \cdot 2,60 + \frac{0,22 + 0,3}{2} \cdot 14,6 + \dots + 0,7 \cdot 0,3 \cdot 3,3 = 27,0 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

Рассчитанные данные выписывают отдельно в виде вывода: расход воды $Q = 27,0$ м³/с; площадь водного сечения $\omega = 112,3$ м²; ширина реки $B = 50$ м; средняя глубина $h_{cp} = \omega : B = 2,24$ м; наибольшая глубина $h_{max} = 3,8$ м; средняя скорость течения $U = Q : \omega = 0,24$ м/с; наибольшая скорость течения $U_{max} = 0,3$ м/с.

По данным графы 17 таблицы 7 строят эпюру скоростей по ширине потока, а по графе 11 таблицы 8 – эпюру расходов (рисунок 24).

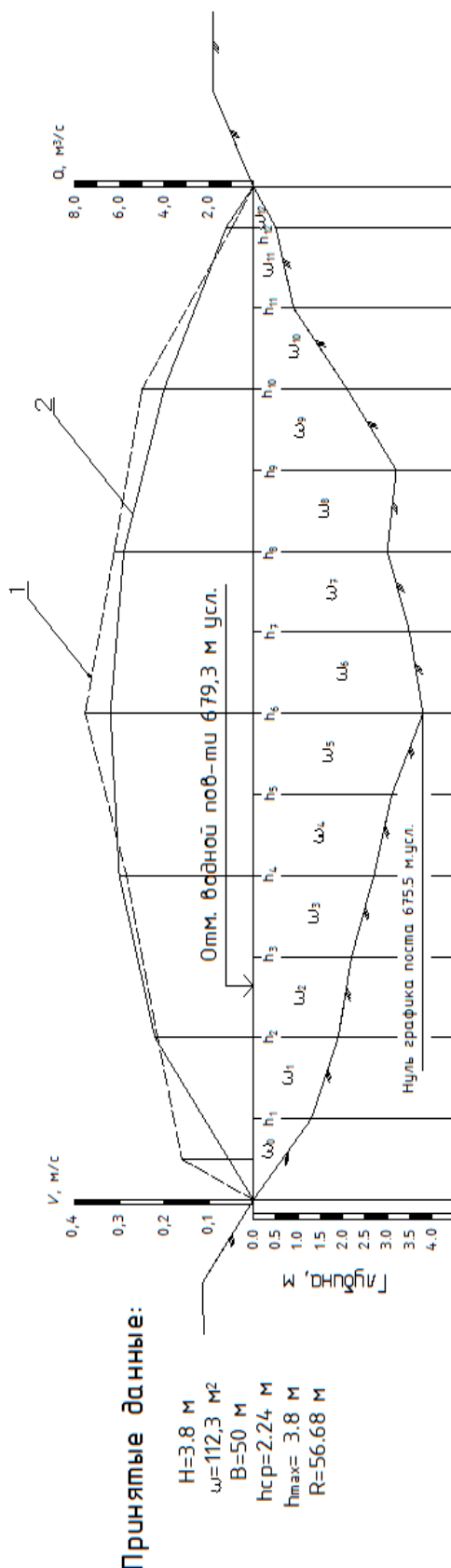
6. Определяют характеристики стока р. Большой Зеленчук (ст-ца Исправная) за 1961 г.:

1) объем стока $W = Q \cdot T = 27,0 \cdot 31,54 \cdot 10^6 = 851,6 \cdot 10^6$ м³;

2) модуль стока $M = Q \cdot 10^3 : F = 27,0 \cdot 10^3 : 1900 = 14,2$ л/(с·км²);

3) слой стока $h = W : F \cdot 10^3 = 851,6 \cdot 10^6 : 1900 \cdot 10^3 = 0,45$ мм.

F – площадь водосбора, км²



№ промерной вертикали	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Расстояние между вертикалями, м	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Расстояние от постоянного начала, м	0,7	4,7	8,7	12,7	16,7	20,7	24,7	28,7	32,7	36,7	40,7	44,7
Глубина, м	1,3	1,9	2,2	2,7	3,1	3,8	3,5	3,0	3,2	2,1	0,9	0,5
Отметка дна реки, м	679,3	678,0	677,4	677,1	676,6	676,2	675,5	675,8	676,3	676,1	677,2	678,4
Грунт	Песок											
Расход, м³/с												20,0

Рисунок 24 – Поперечный профиль реки Большой Зеленчук (ст-ца Исправная, 1961 г.):
 1 – эюра расходов, 2 – эюра средних скоростей

Гидрометрические приборы для измерения характеристик потока

Шугобатометр ГР -3М (рисунок 25) предназначен для взятия проб шуги в реках, каналах и водоемах с целью определения толщины слоя, плотности или объемного веса плывущей по поверхности шуги.

Действие прибора основано на консервации взятой пробы с последующим определением ее объема и веса.

Шугобатометр представляет собой металлическую трубку квадратного сечения с деревянной рукояткой. Для более надежного погружения прибора в шугу нижняя часть трубы снабжена наконечником, имеющим острые режущие кромки. С обоих концов трубы имеются откидные дверцы, нижняя из которых (с откидной пружиной) удерживает шугу от выпадения при подъеме прибора, верхняя – предохраняет шугу от выбрасывания ее через верх трубы при взятии пробы, а также предназначена для извлечения шуги из батометра. Вода, взятая с шугой, сливается через отверстия в нижней дверце и боковых стенках трубы. Толщину слоя взятой пробы определяют деревянной рейкой с делениями, входящей в комплект шугобатометра. Для взвешивания взятой пробы шуги в комплект шугобатометра входят ведро и пружинные весы.

Если для взятия проб шуги длина рукоятки 1,5 м недостаточна, рекомендуется заменять рукоятку веревкой или цепью, длина которой обеспечивает погружение шугобатометра только на заданную глубину.

Батометр вакуумный модернизированный ГР -- 61. Батометр ГР - 61 (рисунок 26) предназначен для взятия проб воды на мутность.

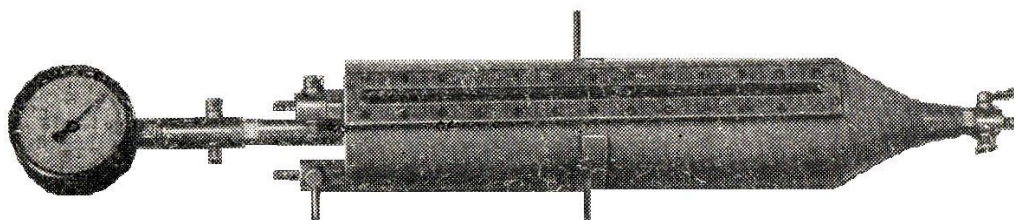


Рисунок 25 – Шугобатометр ГР --3М

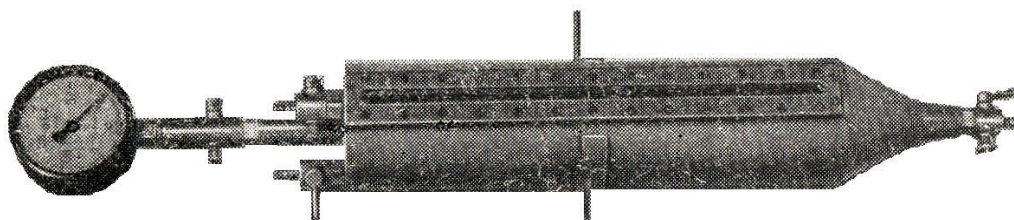


Рисунок 26 – Батометр вакуумный модернизированный ГР -- 61

Действие батометра основано на засасывании через заборный наконечник пробы воды за счет разрежения, создаваемого насосом в вакуумной камере.

Батометр вакуумный состоит из вакуумной камеры, ручного воздушного насоса и водозаборного наконечника, соединенных между собой двумя резиновыми шлангами, а также крана-тройника со струбцинкой.

Вакуумная камера представляет собой цилиндрический сосуд, нижняя часть которого заканчивается конусом, имеющим на конце кран для сливания пробы. В верхней части камеры (крышке) установлены три крана, два из них соединяются при помощи резиновых шлангов с насосом и водозаборным наконечником, через третий кран в вакуумную камеру поступает атмосферный воздух. В центре крышки имеется отверстие, герметически закрытое пробкой, служащее для промывания камеры, а также для установки вакуумметра.

Вдоль цилиндрической части камеры прорезано смотровое окно, закрытое органическим стеклом. По обеим сторонам смотрового окна на прижимной рамке нанесены деления шкалы. Оцифровка шкалы трехлитровой камеры нанесена через 25 делений.

Заборный наконечник представляет собой изогнутую металлическую трубку с карабинами для крепления на грузе или штанге. Ручной насос и заборный наконечник соединены с вакуумной камерой резиновыми шлангами.

Прибор применяется на равнинных и горных реках. Работа с прибором может производиться с лодки, катера, понтона, мостика, люльки, а на малых реках – с берега. В зимнее время прибор опускается со льда.

Срок службы батометра не менее 5 лет.

Батометр - бутылка на штанге ГР - 16М. Батометр - бутылка ГР - 16М (рисунок 27) предназначен для взятия проб воды со взвешенными наносами при длительном наполнении.

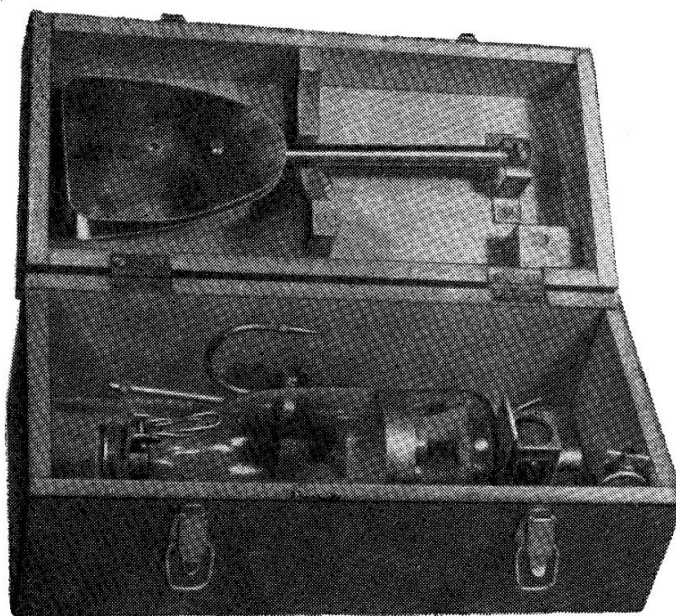


Рисунок 27 – Батометр -- бутылка на штанге ГР -- 16 М

Батометр состоит из однолитровой бутылки с широким горлышком, которая вставляется в металлическую обойму и закрепляется в ней с помощью зажимной ленты и винта.

Обойма с бутылкой устанавливается с помощью муфты на штанге (от вертушки ГР -- 21) и закрепляется винтом.

Бутылка снабжена металлической головкой с двумя трубками – водозаборной и воздухоотводной. На концы обеих трубок навинчиваются насадки, соответствующие скорости течения.

При взятии пробы прибор ориентируется в потоке по указателю-визиру на штанге так, чтобы водозаборная трубка располагалась против течения, а воздухоотводная – по течению, причем обе – в одной вертикальной плоскости.

Заполнение бутылки происходит при постоянном гидростатическом напоре, обусловленном разностью высот (4 см) внешних концов обеих трубок.

Для заполнения бутылки со скоростью, близкой к скорости течения в потоке, к комплекту прибора прилагается пять насадок с отверстиями соответствующих размеров.

Батометр Молчанова ГР-18. Батометр ГР -- 18 (рисунок 28) предназначен для взятия проб воды на озерах с одновременным измерением температуры воды.

Отбор проб воды производится путем опускания прибора на тросе на заданную глубину с последующим мгновенным закрыванием крышек цилиндров при помощи пружинного механизма. Пружинный механизм приводится в действие посыльным грузом.

Батометр состоит из двух одинаковых цилиндров, изготовленных из органического стекла емкостью 2 л каждый, связанных между собой металлической рамой, состоящей из двух оснований – верхнего и нижнего.

Донышки цилиндров, связанные между собой коромыслом, открываются и отводятся вместе с центральной осью и временно закрепляются в таком положении с помощью двух подпружиненных собачек, расположенных у верхнего края оси.

В верхней части центральной оси имеется паз с винтом для подвеса батометра к тросу и головка, ударом по которой посыльным грузом разводятся подпружиненные собачки и закрываются донышки и верхние торцы цилиндров.

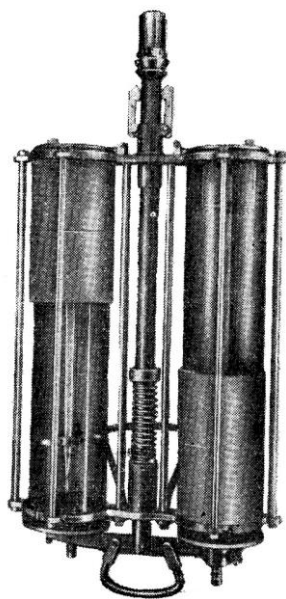


Рисунок 28 – Батометр Молчанова ГР -- 18

Внутри каждого цилиндра имеется термометр для измерения температуры воды (ГОСТ 6083-69).

Термометры закреплены внутри цилиндра на специальных кронштейнах. Два непрозрачных кольца, надетых на каждый цилиндр, защищают термометры от попадания на них прямых солнечных лучей. На нижней стороне каждого доньшка имеется кран для слива пробы воды.

Нижнее значение вероятности безотказной работы прибора при доверительной вероятности $P = 0,8$ не ниже 0,90 за 500 часов работы.

Батометр -- бутылка в грузе ГР -- 15. Батометр-бутылка ГР -- 15 (рисунок 29) предназначен для взятия проб воды со взвешенными наноса при длительном наполнении.

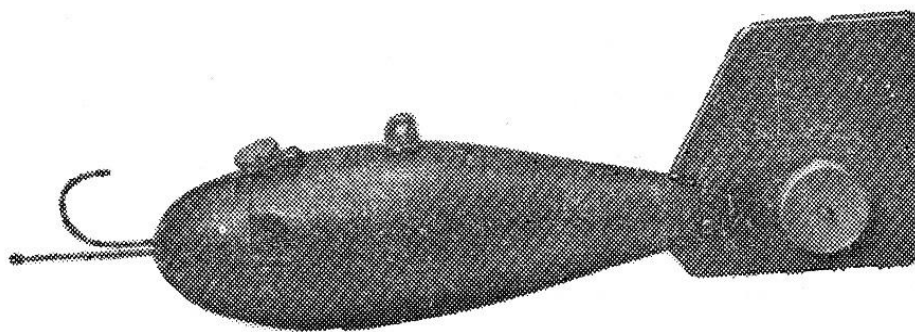


Рисунок 29 – Батометр -- бутылка в грузе ГР -- 15

Батометр состоит из груза рыбовидной формы и однолитровой бутылки. Груз имеет корпус, хвостовое оперение и откидную головку с вертикальным пазом, через который наружу выходят две трубки.

Хвостовое оперение имеет передвижной грузик для балансировки прибора на тросе.

Груз подвешивается к тросу карабином-скобой за кольцо. В корпусе груза помещается бутылка, закрепляемая неподвижно посредством откидной скобы и поддона.

Бутылка снабжена металлической головкой, через которую проходят две трубки – водозаборная и воздухоотводная. На концы обеих трубок навинчивается соответствующая скорости течения пара насадок.

В пазу откидной головки груза обе трубки располагаются в одной вертикальной плоскости.

Бутылка вкладывается в полость груза до упора дном в пружинящий поддон и закрепляется откидной планкой, после чего закрывается передняя откидная часть груза.

Груз крепится к тросу и опускается с лебедки. В потоке при воздействии течения воды на хвостовое оперение груза водозаборная трубка бутылки устанавливается против течения, а воздухоотводная – по течению.

Гидрометрическая лебедка ГР -- 36. Лебедка ГР -- 36 (рисунок 30) предназначена для производства гидрометрических работ.

В лебедке применяется трос с токопроводящей жилой, позволяющей использовать приборы с электроконтактным механизмом.

Лебедка состоит из основания, подъемного механизма, стрелы и вьюшки со счетчиком. К плоскости основания приварена опорная стойка, на которую надета колонка (труба), предназначенная для закрепления стрелы и поворота ее в горизонтальной плоскости.

Стрела в нужном положении фиксируется тормозом.

Подъемный механизм, представляющий собой домкрат, служит для изменения выноса стрелы с подвешенным прибором. Подъем или опускание стрелы осуществляется вращением ходового винта. Стрела представляет собой сварную раму, шарнирно закрепленную на колонке в подъемном механизме. На стреле закреплена вьюшка и направляющий ролик. Наличие у вьюшки более совершенного тормозного устройства – барабана, состоящего из двух колодок с пружинами, делает вьюшку лебедки ГР -- 36 надежной и безопасной в работе. Длина вытравленного троса определяется по счетчику типа С -- 52М.

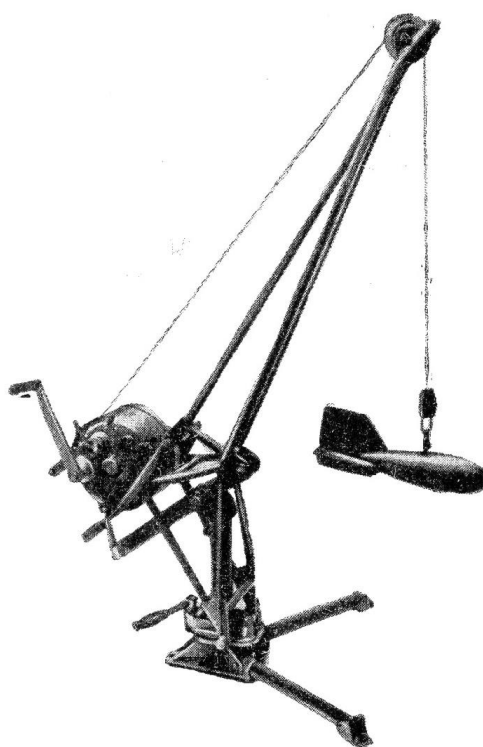


Рисунок 30 – Гидрометрическая лебедка ГР - -36

Прибор фильтровальный Куприна ГР -- 60. Прибор ГР -- 60 (рисунок 31) предназначен для ускоренного фильтрования проб воды отбираемых для определения мутности (взвешенных наносов).

Действие прибора основано на использовании избыточного давления воздуха, создаваемого в баллоне с пробой воды, для ускорения ее фильтрования через бумажный фильтр.

Фильтровальный прибор представляет собой прозрачный баллон, верхняя часть которого закрывается крышкой со штуцером, а нижняя оканчивается уплотнительным кольцом для соединения с конусом. На верхней части конуса установлена сетка для укладки бумажного фильтра диаметром 11 см. Уплотнительное кольцо баллона и конус прижимаются друг к другу с помощью зажима, герметичность соединения

обеспечивается резиновой прокладкой. Баллон установлен на штативе и с помощью зажимного винта может закрепляться на различной высоте. Через штуцер полость баллона связана резиновым шлангом с манометром и ручным насосом для создания избыточного давления внутри баллона.

Прибор может использоваться в лабораторных и полевых условиях. При мутности более $0,5 \text{ кг/м}^3$ для увеличения скорости фильтрования необходимо создавать максимально допустимое давление в баллоне.

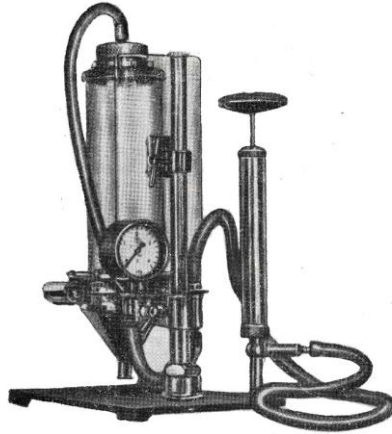


Рисунок 31 – Прибор фильтровальный Куприна ГР -- 60

Фильтровальный прибор целесообразно применять при мутности не более $1,0 \text{ кг/м}^3$.

Нижнее значение вероятности безотказной работы прибора при доверительной вероятности $P = 0,8$ не ниже $0,90$ за 500 часов.

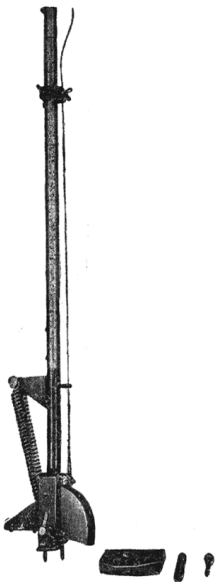


Рисунок 32 – Дночерпатель ГР -- 91

Дночерпатель штанговый ГР --91 (рисунок 32) предназначен для взятия проб илистых, песчаных и песчано-гравелистых донных отложений со дна рек, каналов, озер и водохранилищ. Прибор рассчитан на работу со штанги.

Действие прибора заключается в механическом отделении пробы грунта от дна заборным ковшом. Взятие пробы происходит в процессе поворота заборного ковша под воздействием силы, развиваемой пружинным силовым приводом.

Дночерпатель состоит из корпуса, поворотного заборного ковша, установленного на оси, пружинного силового привода, связанного с ковшом гибкой тягой, фиксатора для удержания ковша в открытом положении при погружении прибора на дно и гибкой тяги, соединенной с фиксатором и назначенной для управления прибором.

В комплект дночерпателя входит держатель управляющей тяги, закрепляемой при работе на верхнем конце штанги, рукоятка взвода заборного ковша, предохранительная чека и совок для сбора пробы.

Щуп донный ГР -- 69 (рисунок 33) служит для взятия проб донных отложений на лабораторный анализ из водотоков и водоемов с илистым, песчаным, гравелистым и мелкогалечным дном.

Прибор состоит из заборного стакана с расположенным внутри поршнем и противовеса. Заборный стакан навинчен на конец противовеса, который может вращаться на цапфах в вертикальной плоскости. В верхней части прибора имеется наконечник, который закрепляется на гидрометрической штанге или шесте.

Перед опусканием прибора для отбора пробы стакан с противовесом устанавливается заборным отверстием вниз, (противовес находится над стаканом), фиксируется в этом положении и опускается на дно. Стакан вдавливается в грунт под действием усилия, прилагаемого к штанге. При подъеме стакана из грунта стакан под тяжестью противовеса переворачивается заборным отверстием вверх и в таком положении поднимается на поверхность. При подъеме отобранной пробы оси цапф, имеющие конусные срезы, входят в конусные пазы и фиксируют стакан с противовесом в этом положении. Извлечение пробы грунта из стакана производится с помощью поршня, который перемещают в крайнее положение.

Нижнее значение вероятности безотказной работы изделия при $P = 0,8$ не ниже 0,9 за 1000 часов.

Дождемер почвенный ГР -- 28 (рисунок 34) предназначен для измерения жидких осадков на почвенных испарительных площадках.

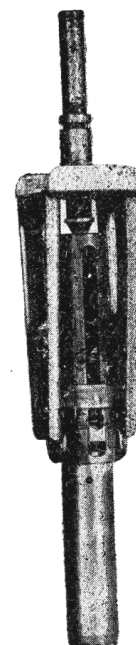


Рисунок 33 – Щуп донный ГР -- 69

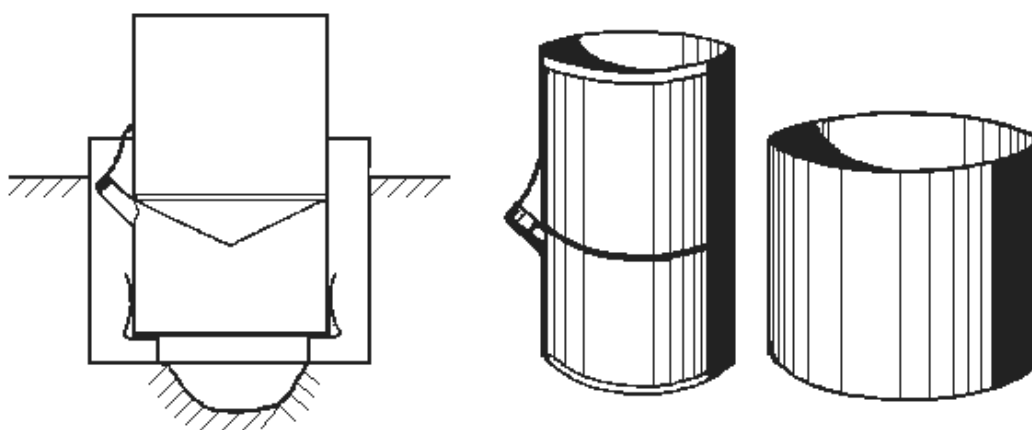


Рисунок 34 – Дождемер почвенный ГР -- 28

Почвенный дождемер состоит из дождемерного ведра и гнезда для установки ведра.

Дождемерное ведро имеет форму цилиндра; верхний его срез представляет собой круг площадью 500 см^2 . На расстоянии 17 см от дна внутри ведра закреплена диафрагма с шестью отверстиями у вершины конуса диафрагмы. Ведро имеет носик для слива осадков, расположенный под диафрагмой и закрывающийся колпачком, прикрепленным к дождемеру на цепочке. Колпачок на носике и диафрагма служат для предохранения собранных осадков от испарения, что особенно важно в жаркие летние дни, а также для предотвращения загрязнений.

Осадки, собранные дождемерным ведром, измеряются дождемерным стаканом. Последний представляет собой стеклянный цилиндр из прозрачного стекла, несколько суженный в нижней части и имеющий для устойчивости широкое плоское дно. На стенке стакана нанесено 100 делений. Каждое деление соответствует по объему 5 см^3 , или слою осадков 0,1 мм.

Гнездо для установки ведра имеет форму цилиндра. В дне гнезда находятся отверстия, через которые стекает вода, поступившая в гнездо. С внутренней стороны ко дну прикреплены три пружинящие опоры для установки на них дождемерного ведра.

Диск белый ДБ (рисунок 35) используется для определения относительной прозрачности воды, а также для создания сравнительного фона при определении цвета воды в морях и озерах. Представляет собой металлический круглый диск, окрашенный белой матовой краской. В центре диска имеется втулка, в отверстие которой вставляется трубка с предварительно надетым на нее грузом-поддоном. Трубка и груз-поддон придают диску устойчивое горизонтальное положение при опускании последнего в воду на лине, размеченном на метры и дециметры, или на тросе, пропущенном через блок-счетчик. Линь или трос пропускается через трубку диска, на конце завязывается узел.

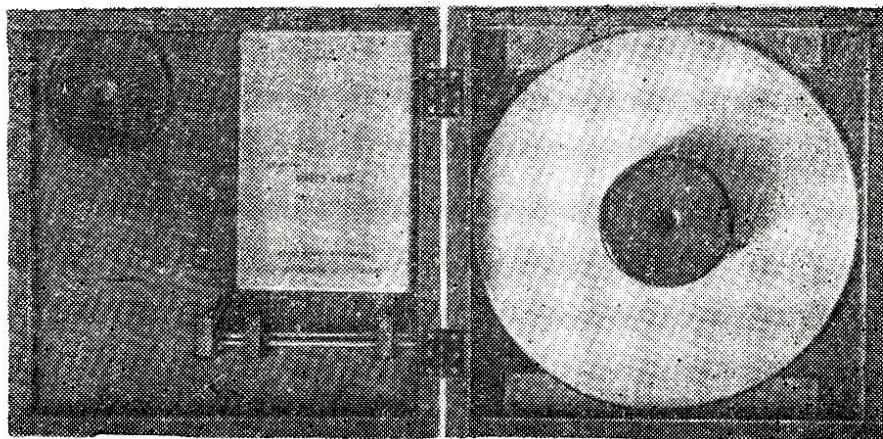


Рисунок 35 – Диск белый ДБ

Диск опускается в воду до полного его исчезновения из поля зрения. В момент исчезновения диска по маркам лinya или по блок-счетчику замечают глубину погружения диска. Опустив после этого диск глубже на 1 – 2 м, через некоторое время (30 – 50 с) его медленно поднимают и в момент обнаружения снова отмечают глубину. Среднее из двух отмеченных глубин принимают за наблюдаемую величину. Наблюдения повторяют несколько раз.

Для определения цвета воды белый диск опускают с теневого берега на глубину, равную половине прозрачности, а затем сравнивают цвет воды над диском с цветами стандартной шкалы.

Срок службы диска не менее 5 лет.

Шкала цветности воды ШЦВ. Шкала цветности воды (рисунок 36) предназначена для определения естественного цвета воды морей, заливов, озер, водохранилищ и других водоемов.

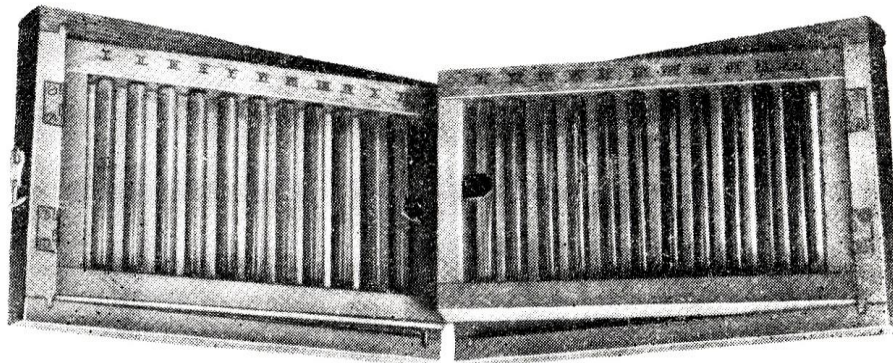


Рисунок 36 – Шкала цветности воды ШЦВ

Работа со шкалой основана на визуальном подборе оттенка шкалы к цвету воды.

Шкала цветности состоит из 22 стеклянных запаянных пробирок, заполненных цветными растворами, с постепенным переходом цвета от синего к коричневому. Пробирки вмонтированы в две откидные рамки футляра. Определение цвета воды может производиться двумя способами:

1) сравнением цвета воды водоема на фоне белого диска, погруженного в воду на половину глубины прозрачности воды, с цветом жидкости в пробирках на фоне белой бумаги, подложенной под пробирки шкалы;

2) сравнением цвета воды (без применения диска) с цветом жидкости в пробирках на фоне черной бумаги, подложенной под пробирки шкалы.

Испаромер ГГИ -- 3000. Испаромер ГГИ -- 3000 (рисунок 37) предназначен для измерения испарения с водной поверхности, что при одновременном измерении ряда гидрометеорологических элементов позволяет в результате соответствующей обработки получить сведения о режиме и размере испарения с поверхности водоема.

Испаромер может быть установлен на плоту в водоеме или закопан в землю.

Испаромер состоит из испарителя, дождемера, объемной бюретки и измерительных трубок. Испаритель представляет собой цилиндрический бак с конусообразным дном. В центре дна бака установлена металлическая реперная трубка, на которую при измерениях устанавливают объемную бюретку.

Для индикации уровня воды в испарителе служит укрепленная на трубке игла, острие которой регулировкой устанавливается на 75 мм ниже края испарителя.

Дождемер также представляет собой цилиндрический бак с конусообразным дном. В бак дождемера вставляется воронка, к верхнему краю которой припаян козырек. Осадки стекают через трубу в приемное ведро. Объемная бюретка служит для отбора из испарителя некоторого количества воды с целью определения высоты ее уровня относительно плоскости, проходящей через верхний срез реперной трубки.

Бюретка представляет собой цилиндрический стакан, к плоскому дну которого снаружи прикреплен стержень для установки бюретки на реперную трубку испарителя. У самого дна в боковой стенке бюретки имеется отверстие, плотно закрываемое резиновой пробкой, закрепленной на конце Г-образного рычага. Вращением винта, вызывающим перемещение Г-образного рычага, можно закрывать или открывать отверстие в бюретке. У верхнего края бюретки имеется воронка для слива воды в измерительную трубку.

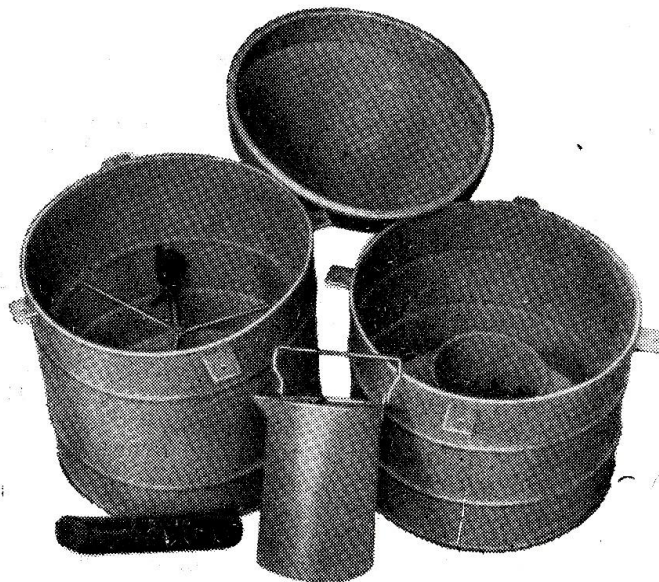


Рисунок 37 – Испаромер ГГИ -- 3000

Измерительная трубка служит для измерения объема воды, взятого при помощи бюретки из испарителя.

Связь между расходами и уровнями воды (расчетно-графическая работа по гидрометрии)

Между расходами и уровнями воды водотока существует гидравлическая связь. Имея ряд расходов воды, измеренных при различных уровнях, можно установить зависимость $Q = Q(H)$ для соответствующего сечения водотока. Она обычно выражается в виде кривой $Q = Q(H)$ и называется кривой расходов воды. С ее помощью по уровням H определяют расходы воды Q , не измеряя скорости потока и площади живого сечения.

Кривую расходов $Q = Q(H)$ строят в прямоугольной системе координат, причем в гидрометрии принято по оси ординат откладывать уровни воды H , а по оси абсцисс – измеренные расходы Q . На том же чертеже проводят также кривые площадей живого сечения $\omega = \omega(H)$ и средних скоростей $U = U(Q)$.

При нанесении точек на графики могут встретиться следующие случаи:

1. Точки расходов, площадей и средних скоростей располагаются без разброса, что дает возможность провести по ним плавные однозначные кривые.
2. Точки площадей образуют однозначную кривую, а точки расходов и средних скоростей – три ветви: одну – для меженного периода I и две – для подъема II и спада III паводка или половодья.

3. Точки кривых расходов и площадей разбросаны беспорядочно, точки кривой скоростей имеют малый разброс.

Отсутствие однозначной связи между площадью водного сечения и уровнем свидетельствуют о неустойчивости (деформации) русла. В этом случае по точкам, относящимся к периоду устойчивого русла, проводят осредненную (стандартную) кривую.

4. Группы точек кривых расходов и скоростей отклоняются влево при однозначной связи между площадью водного сечения и уровнем.

Это указывает на наличие переменного подпора, вызываемого зарастаемостью русла, ледовыми образованиями и другими причинами.

При этом стесняется живое сечение потока и возрастают гидравлические сопротивления на участке поста или ниже его, вследствие чего точки измеренных расходов и средних скоростей отклоняются влево от соответствующих кривых свободного русла.

В таких случаях кривую $Q = Q(H)$ строят по точкам, относящимся к летнему периоду, т. е. периоду, когда русло свободно ото льда и растительности и отсутствует переменный подпор.

Окончательно кривые закрепляют только после их увязки.

Кривые $Q = Q(H)$, $\omega = \omega(H)$ и $U = U(Q)$ связаны между собой равенством:

$$Q = \omega U_{cp} \quad (14)$$

поэтому расход, снятый с кривой расходов для какого-нибудь уровня, должен быть равен расходу, получаемому в результате перемножения соответствующих данному уровню площади и скорости. Увязку делают в табличной форме, в которую записывают значения Q , ω и U , снятые с кривых через разные интервалы уровней (10, 20, 50, 100 м и т. д.). Число увязываемых точек не должно быть менее 8–10. Если расхождения превышают 1 %, то следует проверить кривые в рассматриваемом интервале уровня и исправить их.

В тех случаях, когда при помощи кривой расходов приходится определять много расходов, целесообразно составлять расчетную таблицу. Для этого с кривой снимают расходы через интервалы уровня от 5 до 20 см, а промежуточные их значения (через 1 см) находят прямолинейной интерполяцией.

Полученная зависимость $Q = Q(H)$ считается надежной, если средневероятная погрешность, вычисляемая по формуле (15), находится в пределах 2 – 4 %:

$$\delta = 0,674 \cdot \sqrt{\frac{\sum(\Delta\delta)^2}{n}} \quad (15)$$

где n – число измеренных расходов; $\Delta\delta$ – отклонение в процентах.

Задание 1. Построить кривые расходов $Q = Q(H)$, средних скоростей $U = U(H)$ и площадей водного сечения $\omega = \omega(H)$.

2. Увязать кривые.

3. Составить расчетную таблицу расходов.

4. Составить таблицу ежедневных расходов и построить гидрограф.

5. Вычислить объем, слой и модуль годового стока.

Порядок выполнения 1. Кривую расходов $Q = Q(H)$ строят в системе прямоугольных координат вместе с кривыми площадей и средних скоростей, причем по

оси ординат откладываем уровни H , а по оси абсцисс – расходы Q , площади ω и средние скорости U .

Масштаб для построения кривой расходов следует выбирать так, чтобы хорда, соединяющая концы кривой $Q = Q(H)$, была расположена примерно под углом 45° к оси абсцисс, а для кривых $U = U(H)$ и $\omega = \omega(H)$ – под углом 60° .

Чтобы кривые не пересекались, нули шкал ω и U можно сдвинуть вправо от оси абсцисс.

По данным измеренных уровней, расходов и площадей живого сечения наносят на график точки $Q(H)$, $\omega(H)$ и $U(H)$ с указанием их порядкового номера. Условными знаками отмечают точки, относящиеся к периоду свободного русла, зарастания, ледостава и т.д.

По точкам, относящимся к периоду свободного русла, проводят плавные кривые $Q = Q(H)$, $\omega = \omega(H)$ и $U = U(H)$ так, чтобы они возможно точнее осредняли данные измерений. При этом не учитывают точки, относящиеся к периоду зарастания или зимнему периоду, когда вследствие уменьшения живого сечения снижается пропускная способность русла, поэтому измеренные расходы и средние скорости отклоняются влево от кривой свободного русла

2. Перед окончательным закреплением кривых проводят их увязку в таблице, сопоставляя расходы, снятые с кривой $Q = Q(H)$ для соответствующих уровней H , с расходами, вычисленными по формуле (14), при условии, что значения U и ω определяют по кривым $U = U(H)$ и $\omega = \omega(H)$ для тех же уровней воды. Исправляя кривую $Q = Q(H)$ в интервалах, где расхождение сопоставляемых расходов превышает 1%, ее окончательно закрепляют.

3. Снимая с кривой $Q = Q(H)$ расходы через равные интервалы уровня воды, составляют расчетную таблицу. Промежуточные расходы (через 1 см) определяют интерполяцией между расходами, полученными с кривой, последовательно прибавляя вычисленные приращения ΔQ при изменении уровня на 1 см к предыдущему значению расхода Q .

Для определения расходов H_{\max} и H_{\min} при которых измерения Q не проводились (половодье, ледоход, и пр.), а также при проектировании когда H проектные превышают наблюдаемые, необходимо экстраполировать (т. е. продолжить) вверх до H_{\max} и вниз до H_{\min} кривую расходов

Для проверки точности построенной кривой $Q = Q(H)$ и расчетной таблицы сопоставляют измеренные расходы воды Q_i со значениями, найденными для тех же уровней воды по расчетной таблице Q_p , вычисляя абсолютные отклонения ΔQ , относительные погрешности $\Delta\delta = \Delta Q/Q_i \cdot 100\%$ и среднюю вероятную погрешность δ по формуле (15). Подсчеты сводят в таблицу.

Выполнение расчетной работы. 1. Построить кривые зависимости расхода, площади живого сечения реки, средней скорости течения от уровня воды: $Q = Q(H)$, $\omega = \omega(H)$, $U_{\text{ср}} = U_{\text{ср}}(H)$.

2. Произвести увязку построенных кривых.

3. Составить расчетную таблицу координат к кривой расходов.

4. Вычислить ежедневные расходы, проверить расчетную таблицу расходов. Построить гидрограф.

5. Вычислить объем, слой и модуль годового стока.

Исходными данными для расчетно-графической работы служат материалы «Измеренные расходы воды» (таблица 2) для рек и гидростворов («Ежегодник» за 1974 г.).

Пояснительная записка к расчетно-графической работе

На основании данных (таблица 9) строятся кривые зависимости гидравлических элементов русла (Q , ω , U_{cp}) от расчетных уровней воды на гидростворе. По данным таблицы 9 строится график (рисунок 38), экстраполируются кривые до значений H_{max} и H_{min} (при необходимости).

Используя данные ежедневных уровней воды (таблица 2) и расчетной таблицы 11 к кривой $Q = Q(H)$, определяются ежедневные расходы воды, по ним вычисляют средние месячные и средний годовой расходы (таблица 13).

Таблица 9 – Измеренные расходы воды р. Большой Зеленчук (ст-ца Исправная, 1961 г.)

Номер расхода	Дата измерения	Уровень воды H , см	Расход воды Q , м ³ /с	Площадь водного сечения, м ²	Средняя скорость течения U_{cp} , м/с
1	2,1	116	7,98	10,80	0,74
2	5,1	112	6,30	9,61	0,66
3	27,1	122	6,53	10,30	0,63
4	7,2	127	8,48	12,80	0,66
5	13,2	114	5,20	9,06	0,57
6	28,2	102	2,98	6,38	0,47
7	7,3	111	4,90	9,01	0,54
8	23,3	121	10,70	12,60	0,85
9	28,3	124	13,40	14,00	0,96
10	6,4	136	23,90	18,60	1,28
11	20,4	166	32,20	26,20	1,23
12	27,4	201	118,00	48,40	2,44
13	6,5	197	112,00	46,40	2,41
14	16,5	221	173,00	63,60	2,72
15	27,5	175	88,30	40,80	2,16
16	9,6	176	74,50	38,40	1,94
17	26,6	240	226,00	92,60	2,44
18	28,6	210	157,00	74,60	2,10
19	4,7	220	197,00	89,10	2,21
20	7,7	200	169,00	74,10	2,28
21	31,7	173	77,40	43,60	1,78
22	17,8	176	73,60	43,40	1,70
23	24,8	158	52,50	37,40	1,40
24	31,8	136	31,10	29,40	1,06
25	4,9	124	21,80	24,90	0,88
26	12,9	156	48,80	34,10	1,43
27	19,9	139	26,40	31,00	0,85
28	16,10	121	19,50	23,70	0,82
29	23,10	113	16,90	20,00	0,84
30	30,10	108	17,80	21,70	0,82
31	11,11	114	18,90	21,90	0,86
32	16,11	116	17,00	23,00	0,74
33	22,11	130	27,40	25,60	1,07
34	11,12	119	19,20	21,60	0,89
35	23,12	100	11,2	15,2	0,74
36	30,12	109	15,9	19,5	0,82

Для проверки и увязки кривых зависимостей через интервалы уровней равные 10 см. снимаются значения Q , ω , U_{cp} и сравниваются произведения $U_{cp} \cdot \omega$ со значением расхода Q_i взятого с кривой $Q = Q(H)$ для соответствующих уровней H (таблица 10). Расхождения между расходами не должно быть более 1,5 %; если расхождения будут больше 1,5 %, то в соответствующем интервале исправляют кривые так, чтобы соблюдалось равенство $Q = U_{cp} \cdot \omega$ (рисунок 38). Расчетную таблицу к кривой расходов (таблица 11) составляют на всю амплитуду колебания уровней от H_{max} до H_{min} (таблица 12). При этом с кривой $Q = Q(H)$ берутся значения расходов Q_i через интервалы 10 см., а промежуточное значение расходов (через 1 см) определяются интерполяцией. между расходами полученными с кривой.

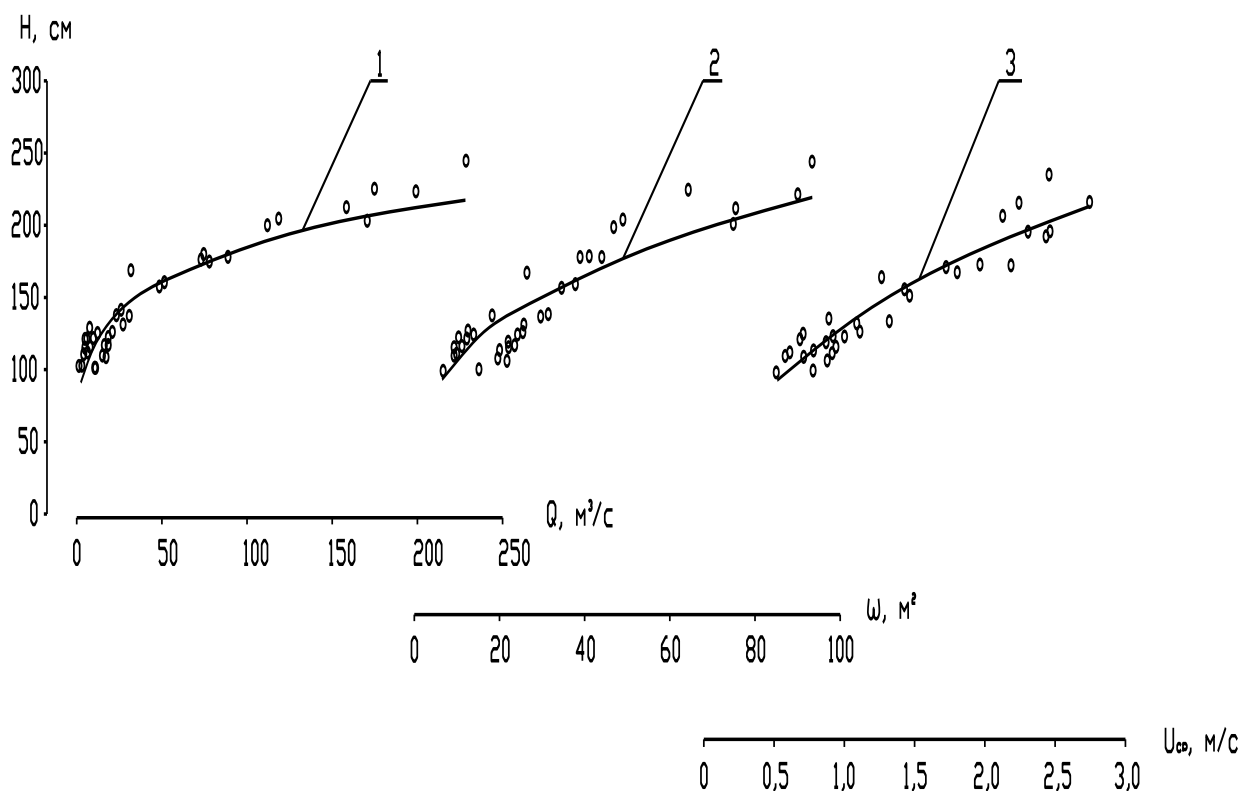


Рисунок 38 – Кривые зависимости расходов, площадей живого сечения и скоростей от уровня воды:
 1 – кривая расходов $Q = Q(H)$; 2 – кривая живого сечения $\omega = \omega(H)$; 3 – кривая скорости $U_{cp} = U_{cp}(H)$

Таблица 10 – Увязка кривых (площадей, скоростей, расходов) р. Большой Зеленчук-
(ст - ца Исправная), 1961 г.

H, см	ω , м ²	U_{cp} , м/с	Q_i , м ³ /с	$Q = \omega \cdot U_{cp}$, м ³ /с	$\Delta Q = Q - Q_i$	$\Delta\delta = \Delta Q / Q_i \cdot 100$, %
100	10,71	0,59	6,34	6,32	-0,02	-0,31
110	14,17	0,71	10,12	10,06	-0,06	-0,59
120	17,69	0,82	14,55	14,51	-0,04	-0,30
130	21,30	0,96	20,68	20,45	-0,23	-1,12
140	25,08	1,10	27,60	27,59	-0,01	-0,04
150	29,08	1,26	36,65	36,64	-0,01	-0,03
160	33,41	1,43	47,68	47,78	0,10	0,20
170	38,19	1,60	61,20	61,10	-0,10	-0,16
180	43,59	1,76	76,73	76,72	-0,01	-0,02
190	49,77	1,92	95,50	95,56	0,06	0,06
200	56,80	2,08	118,10	118,14	0,04	0,04
210	64,70	2,24	144,94	144,93	-0,01	-0,01
220	73,43	2,40	176,26	176,23	-0,03	-0,02
230	82,82	2,56	211,97	212,02	0,05	0,02
240	92,60	2,72	251,86	251,87	0,01	0,00

Q_i – величины расходов взятые с кривой $Q = Q(H)$ (см. рисунок 38).

Для проверки точности построенной кривой $Q = Q(H)$ сопоставляют измеренные расходы воды Q_i со значениями, найденными для тех же уровней воды по расчетной таблице кривой $Q = Q(H)$. Вычисляют абсолютные отклонения ΔQ и относительную погрешность $\Delta\delta = \Delta Q / Q_i \cdot 100$ %, а среднюю вероятную погрешность по формуле:

$$\sigma = 0,674 \cdot \sqrt{\frac{2,28}{36}} = 0,674 \cdot 0,25 = 0,17.$$

Зависимость $Q = Q(H)$ надежная, так как σ меньше 4 %.

Таблица 11 – Расчетная таблица к кривой $Q = Q(H)$, м³/с

H, см	Расходы воды Q_p соответствующие уровням									
	–	–	–	–	–	–	–	–	5,58	5,96
100	6,34	6,72	7,10	7,47	7,85	8,23	8,61	8,99	9,36	9,74
110	10,12	10,56	11,01	11,45	11,89	12,34	12,78	13,22	13,66	14,11
120	14,55	15,16	15,78	16,39	17,00	17,62	18,23	18,84	19,45	20,07
130	20,68	21,37	22,06	22,76	23,45	24,14	24,83	25,52	26,22	26,91
140	27,60	28,51	29,41	30,32	31,22	32,13	33,03	33,94	34,84	35,75
150	36,65	37,75	38,86	39,96	41,06	42,17	43,27	44,37	45,47	46,58
160	47,68	49,03	50,38	51,74	53,09	54,44	55,79	57,14	58,50	59,85
170	61,20	62,75	64,31	65,86	67,41	68,97	70,52	72,07	73,62	75,18
180	76,73	78,61	80,48	82,36	84,24	86,12	87,99	89,87	91,75	93,62
190	95,50	97,76	100,02	102,28	104,54	106,80	109,06	111,32	113,58	115,84
200	118,10	120,78	123,47	126,15	128,84	131,52	134,20	136,89	139,57	142,26
210	144,94	148,07	151,20	154,34	157,47	160,60	163,73	166,86	170,00	173,13
220	176,26	179,83	183,40	186,97	190,54	194,12	197,69	201,26	204,83	208,40
230	211,97	215,96	219,95	223,94	227,93	231,92	235,90	239,89	243,88	247,87
240	251,86	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 12 – Ежедневные уровни воды р. Большой Зеленчук (ст-ца Исправная, 1961 г.), см

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	116	122)*	110)*	124	191	181	224	176	134	132	109	118
2	116	122)*	112)*	124	187	174	226	169	130	130	109	130
3	116	124)*	111)х	126	190	171	220	167	128	128	110	134
4	116	124)*	111)х	132	195	170	220	170	124	126	115	133
5	112)*	125)	110)	136	198	182	223	176	123	124	112	130
6	112)*	126)	110)*	136	194	190	206	179	122	122	112	128
7	110)*	126)о	111	137	184	193	206	178	123	120	114	124
8	110)*	123)о	111)х	140	184	181	198	172	124	120	112	122
9	112)*	118)о	110)*	146	180	177	186	168	127	119	111	122
10	112)*	116)	108)*	148	176	178	176	168	130	120	111	120
11	112)*	116)	110	144	172	192	197	168	126	119	113	119
12	112)*	114	112	139	180	190	202	170	159	118	112	119
13	114)*	113)х	112	182	180	185	196	171	157	117	111	120
14	113)*	114	113	174	180	186	190	171	153	116	110	117
15	112)о	114	114	163	201	182	188	170	140	121	110	118
16	112	114	114	154	212	182	184	169	134	120	114	114
17	113)*	112	114	158	196	184	182	172	131	118	136	114
18	114	111)*	114	160	181	188	182	174	144	117	126	113
19	112)*	110)*	114	155	180	187	181	180	140	116	128	115
20	112)*	111	116	162	180	190	194	182	136	115	137	108)*
21	111)*	111	118	169	179	186	188	167	138	114	134	107
22	115)*	113	118	177	180	192	184	166	133	114	129	103)*
23	114)*	112	120	178	182	190	185	157	128	114	125	102)*
24	114)*	112	131	180	180	184	182	158	127	112	122	98)*
25	115)*	111	136	172	176	236	184	160	149	112	120)*	100)*
26	120)*	100)*	126	176	173	234	180	150	146	110	120	102)х
27	122)*	106)*	124	206	176	215	179	146	137	110	120	104)о
28	118)*	104)*	124	210	174	210	177	144	131	110	118	107)о
29	118)*	–	122	196	182	208	180	142	131	109	118	110)о
30	120)*	–	126	199	184	222	180	140	132	108	117	109
31	122)*	–	126		186		178	136	–	108	–	–
H_{cp}	114	115	116	1160	184	191	193	165	135	117	118	115
H_{max}	124	128	137	217	222	256	229	192	173	132	139	135
H_{min}	110	101	107	123	171	170	172	135	122	108	109	97

Средний годовой 144. Высший 256 (25/VI). Низший 97 (24/XII).

Затем по данным таблиц 11 и 12 определяют расходы на каждый день (таблица 13).

Таблица 13 – Ежедневные расходы воды р. Большой Зеленчук (ст-ца Исправная, 1961 г.), м³/с

Число	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	13	16	10	17	98	79	191	71	23	22	10	14
2	13	16	11	17	90	67	198	60	21	21	10	21
3	13	17	11	18	96	63	176	57	19	19	10	23
4	13	17	11	22	107	61	176	61	17	18	12	23
5	11	18	10	25	114	80	187	71	16	17	11	21
6	11	18	10	25	105	96	134	75	16	16	11	19
7	10	18	11	26	84	102	134	74	16	15	12	17
8	10	16	11	28	84	79	114	64	17	15	11	16
9	11	14	10	33	77	72	88	59	19	14	11	16
10	11	13	9	35	71	74	71	59	21	15	11	15
11	11	13	10	31	64	100	111	59	18	14	11	14
12	11	12	11	27	77	96	123	61	47	14	11	14
13	12	11	11	80	77	86	109	63	44	13	11	15
14	11	12	11	67	77	88	96	63	40	13	10	13
15	11	12	12	52	121	80	92	61	28	15	10	14
16	11	12	12	41	151	80	84	60	23	15	12	12
17	11	11	12	45	109	84	80	64	23	14	25	12
18	12	11	12	48	84	92	80	67	31	13	18	11
19	11	10	12	42	77	90	79	77	28	13	19	12
20	11	11	13	50	77	96	105	80	25	12	26	9
21	11	11	14	60	75	88	92	57	26	12	23	9
22	12	11	14	72	77	100	84	56	23	12	20	7
23	12	11	15	74	80	96	86	44	19	12	18	7
24	12	11	21	77	77	84	80	45	19	11	16	6
25	12	11	25	64	71	236	84	48	36	11	15	6
26	15	10	18	71	66	228	77	37	33	10	15	7
27	16	9	17	134	71	161	75	33	26	10	15	8
28	14	8	17	145	67	145	72	31	23	10	14	9
29	14		16	109	80	140	77	29	21	10	14	10
30	15	–	18	116	84	183	77	28	22	9	13	10
31	16	–	18	–	88	–	74	25	–	9	–	10
Q _{max}	16	18	25	145	151	236	198	80	47	22	26	23
Q _{min}	10	8	9	17	64	61	71	25	16	9	10	6
Q _{ср.мес}	12	13	13	55	86	104	107	56	25	14	14	13

$$Q_{\text{ср.год}} = 43 \text{ м}^3/\text{с}.$$

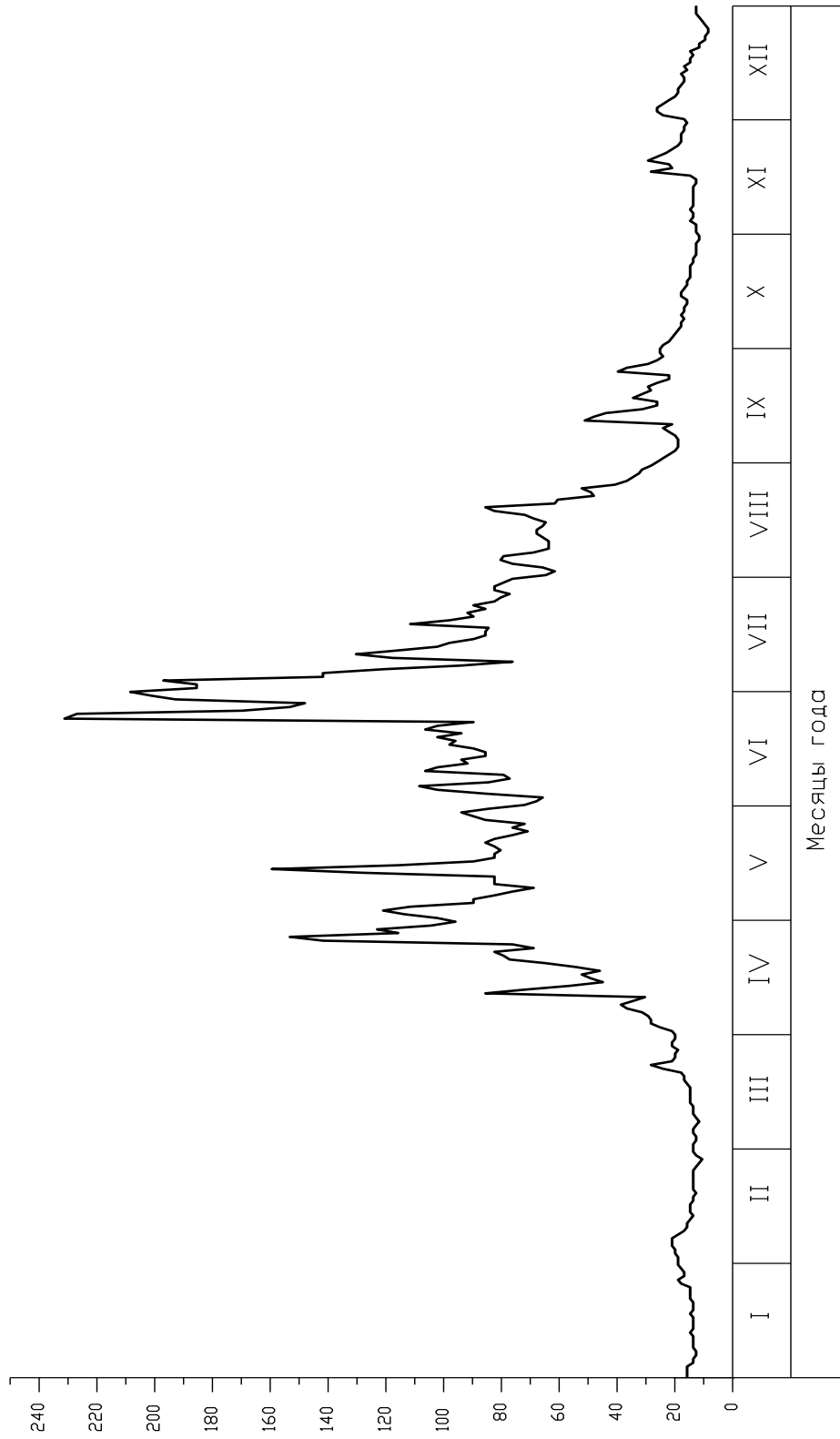


Рисунок 39 – Гидрограф р. Большой Зеленчук (ст -- ца Исправная, 1961 г.)

По величине среднегодового расхода воды вычисляют:

1) модуль стока:

$$M = \frac{Q_{\text{ср.г.}}}{F} \cdot 10^3 = \frac{43}{1900} \cdot 10^3 = 62,63 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2\text{)};$$

где F – площадь водосбора, км²;

2) объем стока воды за год:

$$W = Q_{\text{ср.г.}} \cdot T = 43 \cdot 31,54 \cdot 10^6 = 1356,22 \cdot 10^6 \text{ м}^3,$$

где T – время в году, с;

3) слой стока за год:

$$h = \frac{W}{F} \cdot 10^3 = \frac{1356,22 \cdot 10^6}{1900 \cdot 10^3} = 72 \text{ мм.}$$

Вывод. В результате выполненных расчетов и построенной кривой расходов $Q = Q(H)$ стало возможным определять расход воды в данной реке без измерения скорости потока и площади живого сечения русла, используя при этом показания уровня воды по водомерной рейке, перенося величину H на кривую $Q = Q(H)$, в конкретный момент времени и опуская из этой точки перпендикуляр к оси расходов, что укажет на величину расхода при конкретном уровне воды.

Методические указания к изучению курса «Природопользование»

Введение в гидрологию

Основная цель современной гидрологии – учет, рациональное комплексное использование и охрана водных ресурсов.

1. Изучение курса начните с определения гидрологии как науки, ее связи со смежными дисциплинами; разберите деление гидрологии на отдельные ее составляющие, в том числе на измерительную часть – гидрометрию; определите задачи гидрологии для комплексного использования водных ресурсов и их охраны.

2. Изучая вопросы круговорота воды в природе и водного баланса, обратите внимание на распределение воды на поверхности земного шара, на связь теплового и водного балансов суши, водные ресурсы Земли. Далее необходимо усвоить основные характеристики реки и ее системы, речного бассейна, долины реки, русла реки, изучить закономерности изменения продольного профиля реки; понять причины возникновения поперечного уклона и появления естественной поперечной циркуляции; знать использование космических методов в гидрологии.

ЛИТЕРАТУРА: **1**, с. 3–37.

Вопросы для самопроверки

1. Какие основные задачи решает современная гидрология, гидрометрия?
2. Назовите выдающихся ученых, внесших вклад в развитие гидрологии.
3. Составьте уравнение водного баланса суши, океана и всего земного шара.
4. Какие основные характеристики бассейна реки?
5. Что такое густота речной сети и от чего она зависит?
6. Какие основные типы продольных профилей дна рек?

Уровни воды

Разбирая материал этой темы, подробно изучите приборы и устройства для измерения уровней воды, применяемые в разных условиях: уровнемеры с визуальным отсчетом (реечные и свайные); уровнемеры с автоматической записью («Валдай», ГР -3 8). Рассмотрите методику производства наблюдений и обработку их (основную и статистическую), а также построение графиков колебания, повторяемости и продолжительности уровней воды. Изучите методику измерений уклонов свободной поверхности воды и обработку данных измерений.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 38 – 46.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется уровнем воды?
2. Что такое «нуль графика гидрологического поста»?
3. Какие уровнемеры чаще всего применяются в полевых экспедиционных исследованиях?
4. Какие наблюдения проводятся одновременно с измерением уровня воды? В какие сроки?
5. Как устроен уклонный пост?
6. Какие характерные уровни вы знаете?

Глубины потока воды

Изучение этой темы следует начать с приборов для измерения глубин воды (гидрометрической штанги, наметки, лотов, гидростатических профилографов, акустических профилографов-эхолотов).

Затем рассмотрите производство измерений глубин; способы поперечников, продольников, косых галсов, квадратов, радиогодезические и другие способы.

Особое внимание уделите вопросу приведения промеров к мгновенному (срезочному) уровню воды. Далее изучите методику обработки материалов измерения глубин и построения планов (в изобатах или горизонталях), а также построение поперечных и продольных профилей.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 48 – 52.

Вопросы для самопроверки

1. Как измеряют глубины потока в разных условиях?
2. В каких случаях требуется вводить поправку на относ. троса прибора при больших скоростях течения воды?
3. Как вычислить срезку, если во время промеров уровень воды значительно колеблется?

Скорости течения

Задача темы – изучение распределения скоростей течения воды в речном потоке и методов их измерения.

Вначале изучите распределение скоростей в речном потоке. Затем переходите к изучению приборов для измерения скоростей течения воды: гидрометрических поплавков, вертушек, трубок, гидрокатазондов и др. Особое внимание уделите вертушкам. Изучите методику градуирования вертушек и построения тарифовочных кривых. Далее рассмотрите методику измерения скоростей течения воды точечным (основным) и интеграционным способом, запомните, в каких точках на скоростных вертикалях измеряются скорости при свободном русле, при ледяном покрове и наличии водной растительности и как в таких случаях подсчитываются средние скорости на вертикали.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 52 – 74.

Вопросы для самопроверки

1. Какие типы вертушек рекомендуются к применению на Государственной гидрологической сети и в ведомственных организациях?
2. Каково устройство вертушки (например, ГР -- 21)?
3. Какие приспособления применяют для опускания вертушки в поток?
4. Каковы правила работы с вертушкой и ухода за ней?
5. Как и где производят тарирование вертушки и для измерения скоростей течения?
6. Как определить среднюю скорость на вертикали аналитическим или графическим способами, если скорости измерены вертушкой точечным способом?
7. Как приближенно измерить поверхностную скорость потока при отсутствии прибора для измерения скоростей течения?

Расходы воды

Основная цель темы – научиться методике измерения расходов воды на реках и каналах.

Расход воды – важнейшая характеристика реки, определяющая другие ее параметры: уровень воды, скорость течения, уклон водной поверхности и др. Систематические измерения расходов воды в сочетании с ежедневными наблюдениями за уровнем воды дают возможность определить объемы стока, водные ресурсы.

Приступая к этому разделу, прежде всего необходимо понять «модель расхода» и изучить классификацию методов измерения расхода в разных условиях. Затем следует перейти к простейшим (объемному и весовому) способам измерения расходов.

Вначале изучите способы выбора направления гидрометрического створа (он должен быть перпендикулярен общему направлению течения воды) и требования, предъявляемые к участку реки, где расположен гидроствор.

Важно запомнить последовательность гидрометрических работ при измерении расхода воды вертушкой: 1) описание состояния реки; 2) наблюдения за уровнем воды; 3) промеры глубин по гидрометрическому створу; 4) измерение скоростей в отдельных точках живого сечения на скоростных вертикалях; 5) наблюдения за уклоном водной поверхности.

Затем перейдите к аналитическому и графическому способам вычисления расходов воды.

Изучите также измерение расхода воды поверхностными поплавками, гидравлическими способами (водосливами, гидрометрическими лотками, порогами и др.), гидравлично-гидрометрическими способами, способом смешения (ионного паводка), ознакомьтесь с применением аэрометодов, с определением расходов в каналах.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 74 – 106.

Вопросы для самопроверки

1. Какова последовательность гидрометрических работ при измерении расхода воды:
а) вертушкой, б) поверхностными поплавками?
2. Чем отличается детальный способ измерения расхода воды от основного? от сокращенного?

Зависимость уровней от расхода воды и речной сток

Главная цель темы – вычисление объемов стока воды за любой период времени (месяц, год, сезон).

Рассмотрение темы начните с построения кривых расходов, площадей живых сечений и средних скоростей. Кривая расходов $Q = Q(H)$ положена в основу определения среднесуточных расходов воды по измеренным среднесуточным уровням; она является также важнейшей гидравлической характеристикой речного потока.

Кривая площадей $\omega = \omega(H)$ характеризует морфометрию русла, кривая средних скоростей $U = U(H)$ отражает изменение средней скорости потока при разном наполнении русла.

Кривые взаимосвязаны между собой выражением $Q = \omega U_{\text{ср}}$. Совместный анализ $\omega = \omega(H)$ и $U = U(H)$ помогает более точному построению $Q = Q(H)$.

Подробно разберите методы построения кривых при неустановившемся движении, деформации русла, ледовых явлениях и зарастаемости.

Далее изучите экстраполяцию кривых за пределы наибольших и наименьших измеренных расходов воды до наивысшего и наинизшего из наблюдавшихся уровней.

Затем рассмотрите вопросы вычисления стока за любой период времени и за весь год; при этом особое внимание обратите на подсчеты стока при неоднозначной $Q = Q(H)$, например в зимних условиях.

В заключение разберите вопросы переноса кривых расходов в расчетные створы, а также точности вычисления стока.

ЛИТЕРАТУРА: **1**, с. 106 – 116; **2**, с. 37 – 45.

Вопросы для самопроверки

1. Что является причиной разброса точек на зависимости $Q = Q(H)$ и $\omega = \omega(H)$, если на зависимости $U = U(H)$ точки расположились вблизи кривой? Как в этом случае вычислить сток?

РАЗДЕЛ 2. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

2.1 Норма стока

Нормой годового стока называется его средняя величина за многолетний период с неизменными ландшафтными географическими условиями, относящимися к современной геологической эпохе, и с одинаковым уровнем освоения реки. Многолетний ряд наблюдений по которому определяется норма стока, должен включать несколько (не менее двух) полных циклов изменения водности реки (цикл состоит из многоводной и маловодной фазы).

Важность знания величины нормы годового стока заключается в том, что она является основной и устойчивой характеристикой водных ресурсов данного речного бассейна или района.

Норма годового стока, как всякая средняя арифметическая величина статистического ряда, может быть определена по формуле ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q_{q.N} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (16)$$

где $Q_{q.N}$ – норма годового стока,

Q_i (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5) – годовые величины стока за длительный период (лет), при котором, дальнейшее увеличение ряда наблюдений не меняет или мало меняет среднюю арифметическую величину ($Q_{q.N}$).

Вследствие недостаточной длины фактических рядов наблюдений за годовым стоком, которые как правило не превышают 60–80 лет норма стока полученная по формуле (16), отличается от истинного значения $Q_{q.N}$ на некоторую величину σ_{Q_n} , т. е.

$$Q_{q.W} = Q_{q.N} \pm \sigma_{Q_n}, \quad (17)$$

где $Q_{q.N}$ – средняя величина годового стока за ограниченный ряд наблюдений (n лет),

σ_{Q_n} – средняя квадратическая ошибка n -летней средней величины.

Выражая σ_{Q_n} в процентах от $Q_{q.N}$, получают относительную среднюю квадратическую ошибку нормы стока, вычисленную по ограниченному ряду лет (n):

$$\sigma_{n\%} = \frac{\sigma_{Q_n}}{Q_{q.N}} \cdot 100 = \pm \frac{\sigma_Q}{Q_{q.N} \sqrt{n-1}} \cdot 100 = \pm \frac{100Q_n}{\sqrt{n}}, \quad (18)$$

где $Q_n = \frac{\sigma_Q}{Q_{q.N}}$ – коэффициент вариации ряда годовых величин стока за n лет наблюдений, принятых для определения нормы стока.

Норма стока может быть выражена в виде различных характеристик.

Характеристики стока. Определение. Единицы измерения

Количественными характеристиками стока реки являются:

расход воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) – количество воды, прошедшее через живое сечение реки за одну секунду;

объем стока W (м^3) – количество воды, прошедшее через живое сечение реки за определенный период времени (сутки, месяц или год)

$$W = Q \cdot T, \quad (19)$$

где T – число секунд (в сутках, месяце, году);

модуль стока M (л/с с 1 км²) – количество воды, прошедшее через живое сечение реки за 1 с, отнесенное к площади водосбора F , выраженной в км².

$$M = Q \cdot 10^3 / F. \quad (20)$$

слой стока h (мм) – количество воды прошедшее через живое сечение реки за определенный период времени и отнесенное к единице (1 км²) площади водосбора – это как бы высота слоя воды, полученного при равномерном распределении объема стока по всей площади водосбора.

$$h = W / F \cdot 10^3. \quad (21)$$

коэффициент стока η – отношение слоя стока h (мм) к слою осадков χ (мм) за рассматриваемый период

$$\eta = h / \chi. \quad (22)$$

Определение нормы стока при наличии длительного ряда гидрометрических наблюдений

Для того чтобы гарантировать требуемую точность определения нормы годового стока, необходимо использовать интегральную кривую стока. Ее строят на миллиметровой бумаге, где по оси времени откладывают годы, а по вертикальной оси – $\Sigma(K-1)$ в виде точки за каждый год. Соединив линией все точки, получают интегральную кривую стока, по которой выявляют циклы, включающие в себя маловодную и многоводную фазу (каждый цикл). Неполные циклы из расчета исключаются. Оставшиеся циклы, включающие парные фазы, называют характерным периодом (репрезентативным, расчетным). И норма стока рассчитывается отношением суммы расходов за характерный период к числу лет в этом периоде, т. е.

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}.$$

Период времени, для которого участок интегральной кривой имеет подъем вверх относительно горизонтальной линии и значение величины $K_{cp} - 1$ положительное, соответствует многоводной фазе цикла колебаний водности, а период, для которого участок кривой наклонен вниз и $K_{cp} - 1$ имеет отрицательное значение – маловодной фазе.

Задание 1. Согласно данным $Q_{cp, год \max}$ ОГХ (т. 8), за многолетний период рассчитать характеристики и построить интегральную кривую стока и рассчитать норму стока максимальных расходов.

Задание 2. Выбрать расчетный репрезентативный период для определения нормы годового стока р. Большой Зеленчук (ст. -- ца Исправная) за период наблюдения с 1926 по 1975 г. с помощью разностной интегральной кривой.

Задание 3. Определить норму стока.

$$\bar{Q} = \frac{\Sigma Q_{i(1938-1975)}}{34} = 294,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вычисление ординат разностной интегральной кривой годовых модульных коэффициентов производят в табличной форме (таблица 14)

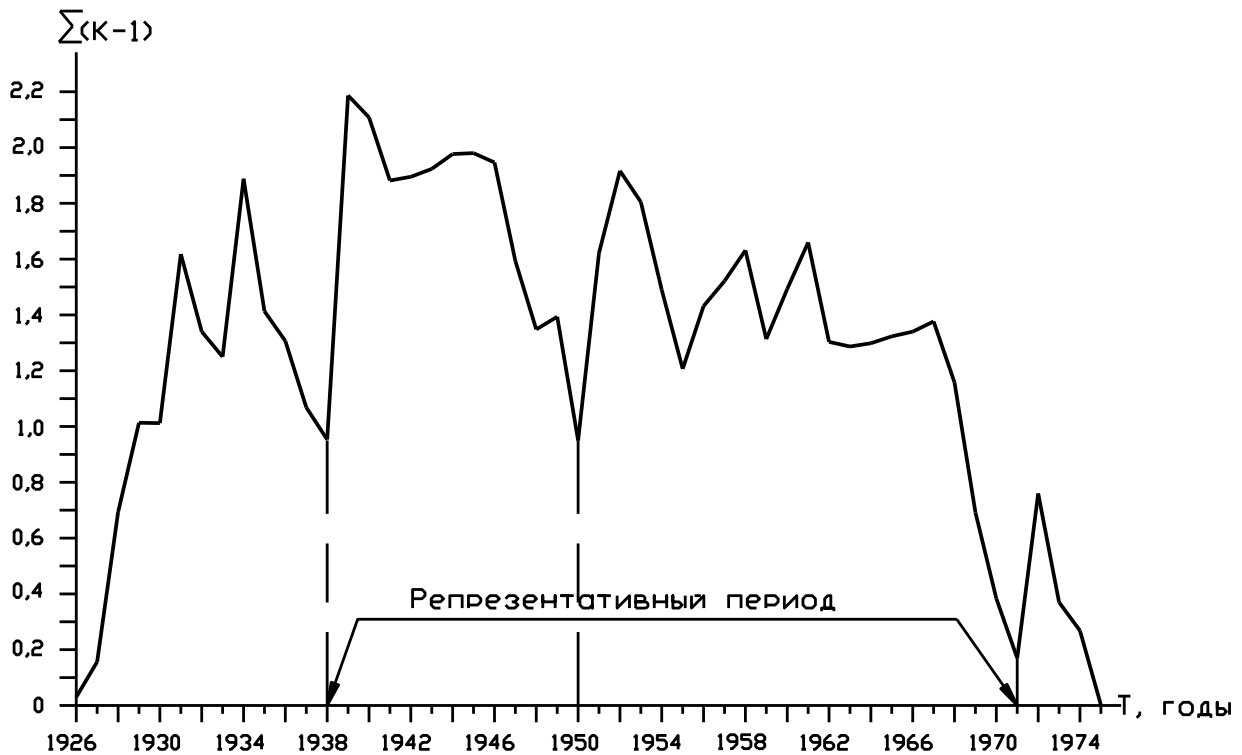
Таблица 14 – Расчет характеристик для построения интегральной кривой

№	Год	Q_{\max}	$K = Q_i/Q_{\text{ср}}$	$K - 1$	$\Sigma(K - 1)$
1	2	3	4	5	6
1	1926	251	1,03	0,03	0,03
2	1927	275	1,13	0,13	0,16
3	1928	375	1,54	0,54	0,69
4	1929	322	1,32	0,32	1,01
5	1930	244	1,00	0,00	1,01
6	1931	392	1,61	0,61	1,62
7	1932	176	0,72	-0,28	1,34
8	1933	222	0,91	-0,09	1,25
9	1934	400	1,64	0,64	1,89
10	1935	128	0,52	-0,48	1,41
11	1936	218	0,89	-0,11	1,31
12	1937	186	0,76	-0,24	1,07
13	1938	216	0,89	-0,11	0,95
14	1939	545	2,23	1,23	2,19
15	1940	225	0,92	-0,08	2,11
16	1941	189	0,77	-0,23	1,88
17	1942	247	1,01	0,01	1,89
18	1943	251	1,03	0,03	1,92
19	1944	257	1,05	0,05	1,98
20	1945	245	1,00	0,00	1,98
21	1946	236	0,97	-0,03	1,95
22	1947	158	0,65	-0,35	1,59
23	1948	184	0,75	-0,25	1,35
24	1949	255	1,04	0,04	1,39
25	1950	136	0,56	-0,44	0,95
26	1951	408	1,67	0,67	1,62
27	1952	316	1,29	0,29	1,92
28	1953	217	0,89	-0,11	1,81
29	1954	167	0,68	-0,32	1,49
30	1955	175	0,72	-0,28	1,21
31	1956	299	1,23	0,23	1,43
32	1957	266	1,09	0,09	1,52
33	1958	271	1,11	0,11	1,63
34	1959	166	0,68	-0,32	1,31
35	1960	288	1,18	0,18	1,49
36	1961	285	1,17	0,17	1,66
37	1962	157	0,64	-0,36	1,30
38	1963	240	0,98	-0,02	1,29
39	1964	247	1,01	0,01	1,30
40	1965	250	1,02	0,02	1,32

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6
41	1966	248	1,02	0,02	1,34
42	1967	253	1,04	0,04	1,38
43	1968	191	0,78	-0,22	1,16
44	1969	130	0,53	-0,47	0,69
45	1970	169	0,69	-0,31	0,38
46	1971	192	0,79	-0,21	0,17
47	1972	388	1,59	0,59	0,76
48	1973	149	0,61	-0,39	0,37
49	1974	219	0,90	-0,10	0,27
50	1975	179	0,73	-0,27	0,00

$$Q_{cp} = 244,06 \text{ м}^3/\text{с}.$$



$$Q_{0 \max} = 294,5 \text{ м}^3/\text{с}$$

Рисунок 40 – Интегральная кривая стока реки Большой Зеленчук (ст - ца Исправная)

Расчет нормы годового стока при коротком ряде наблюдений

В практике расчета нормы годового стока часто приходится иметь дело с короткими рядами наблюдений, продолжительность которых не обеспечивает получение результата с требуемой точностью. В этих случаях величина среднего годового стока, полученная по имеющемуся короткому ряду, приводится к расчетному многолетнему

периоду. Расчетный период выбирается по рекам-аналогам, которые имеют длинный ряд наблюдений, обеспечивающих требуемую точность.

В качестве аналога для рассматриваемой реки выбираются расположенные вблизи водосборы, обладающие зональной однородностью по географическому и высотному положению. Главное внимание при выборе реки аналога должно быть обращено на то, чтобы климатические условия, залесенность, заболоченность, озерность, геологические условия, освоение территории реки-аналога были те же, что и для рассматриваемого бассейна.

Главным и наиболее объективным критерием правильности выбора аналога является наличие синхронности колебаний годовых расходов и достаточно надежной коррелятивной связи стока за годы одновременных наблюдений рассматриваемого водосбора и его аналога.

Определение нормы стока по графику связи. При коротком ряде наблюдений – не менее 6 лет (таблица 15) – величину нормы стока можно определить по графику связи годовых величин стока в изучаемом бассейне и бассейне - аналоге. На график в системе прямоугольных координат (рисунок 41) наносим средние годовые расходы (модули) за период одновременных наблюдений. По полученным точкам проводят среднюю линию так, чтобы точки равномерно располагались по обе стороны линии связи. Масштабы для построения графиков связи выбираются так, чтобы линия проходила примерно под углом 45°.

Таблица 15 – Расходы исследуемой реки Большой Зеленчук – а. Архыз, при коротком периоде наблюдения, восстановленные по графику $Q_a = f(Q_{и})$ и аналогичной реки Большой Зеленчук – ст -- ца Исправная за тот же период

Река -- аналог		Река исследуемая	
Большой Зеленчук – ст -- ца Исправная		Большой Зеленчук – а. Архыз	
Год	$Q_{аналог}$	Год	$Q_{иссл}$
1948	184	1948	109,0
1949	255	1949	98,1
1950	136	1950	89,0
1951	408	1951	107,0
1952	316	1952	138,0
1953	217	1953	119,0
1954	167	1954	87,6
1955	175	1955	84,7
1956	299	1956	106,0
1957	266	1957	83,2
1958	271	1958	210,0
1959	166	1959	90,8
1960	288	1960	103,0
1961	285	1961	116,0
1962	157	1962	111,0

Норма стока в изучаемом бассейне с коротким рядом наблюдений определяется по графику связи непосредственно по норме стока, найденной для бассейна-аналога по многолетним данным $Q_0 = 294,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Для исследуемой реки она равна $120 \text{ м}^3/\text{с}$.

При очень коротком периоде наблюдений (5 лет), когда невозможно построить график связи стока в двух пунктах (бассейнах) для приближенного определения нормы стока можно применять аналитический метод приведения стока к многолетнему периоду.

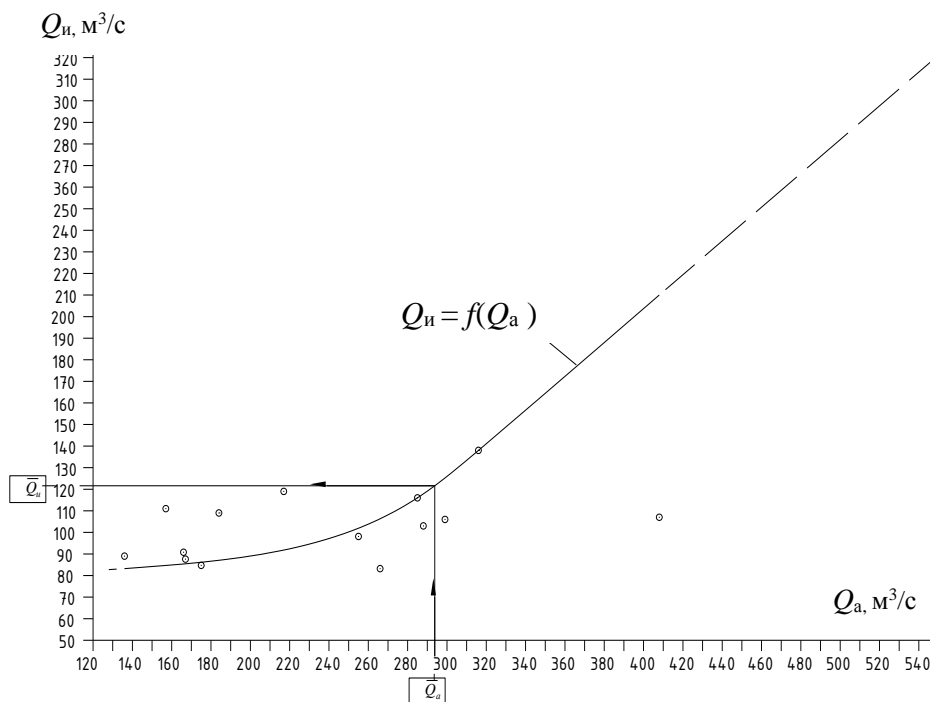


Рисунок 41 – График связи средних годовых расходов воды Q_n и Q_a за период 1973–1980 гг.

Определение нормы стока при отсутствии гидрометрических данных

При отсутствии гидрометрических данных норма стока определена по карте изолиний среднего многолетнего стока (рисунок 42).

1. Для расчета нормы стока по карте изолиний стока в «Указаниях СН 435 – 72» рекомендуется использовать карту среднего годового модуля стока рек России Государственного гидрологического института (ГГИ) в масштабе 1:5000000 или в масштабе 1:10000000. Могут быть использованы карты стока, составленные для отдельных районов и изданные в справочниках «Ресурсы поверхностных вод».

Точность расчета стока по карте ГГИ оценивается в зависимости от коэффициента изменчивости годового стока.

Средняя многолетняя величина стока по карте определяется для центра водосбора неизученной реки путем прямолинейной интерполяции между изолиниями стока. В случае пересечения водосбора несколькими изолиниями средневзвешенная норма стока вычисляется по формуле:

$$\bar{M}_{cp} = \frac{M_1 F_1 + M_2 F_2 + M_3 F_3 + \dots + M_n F_n}{F},$$

где $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$ – среднее значение величины модуля стока между соседними изолиниями пересекающими водосбор,

$F_1, F_2, F_3 \dots F_n$ – соответствующие площади между изолиниями,

F – общая площадь водосбора до расчетного створа.

$$\bar{M}_{cp} = \frac{0,5 \cdot 194,3 + 2,75 \cdot 271,4 + 6,25 \cdot 271,9 + 8,75 \cdot 319,5 + 17,5 \cdot 390,4 + 37,5 \cdot 680,0 + 62,5 \cdot 581,0 + 75 \cdot 251,2}{45900} = 2,0 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$$

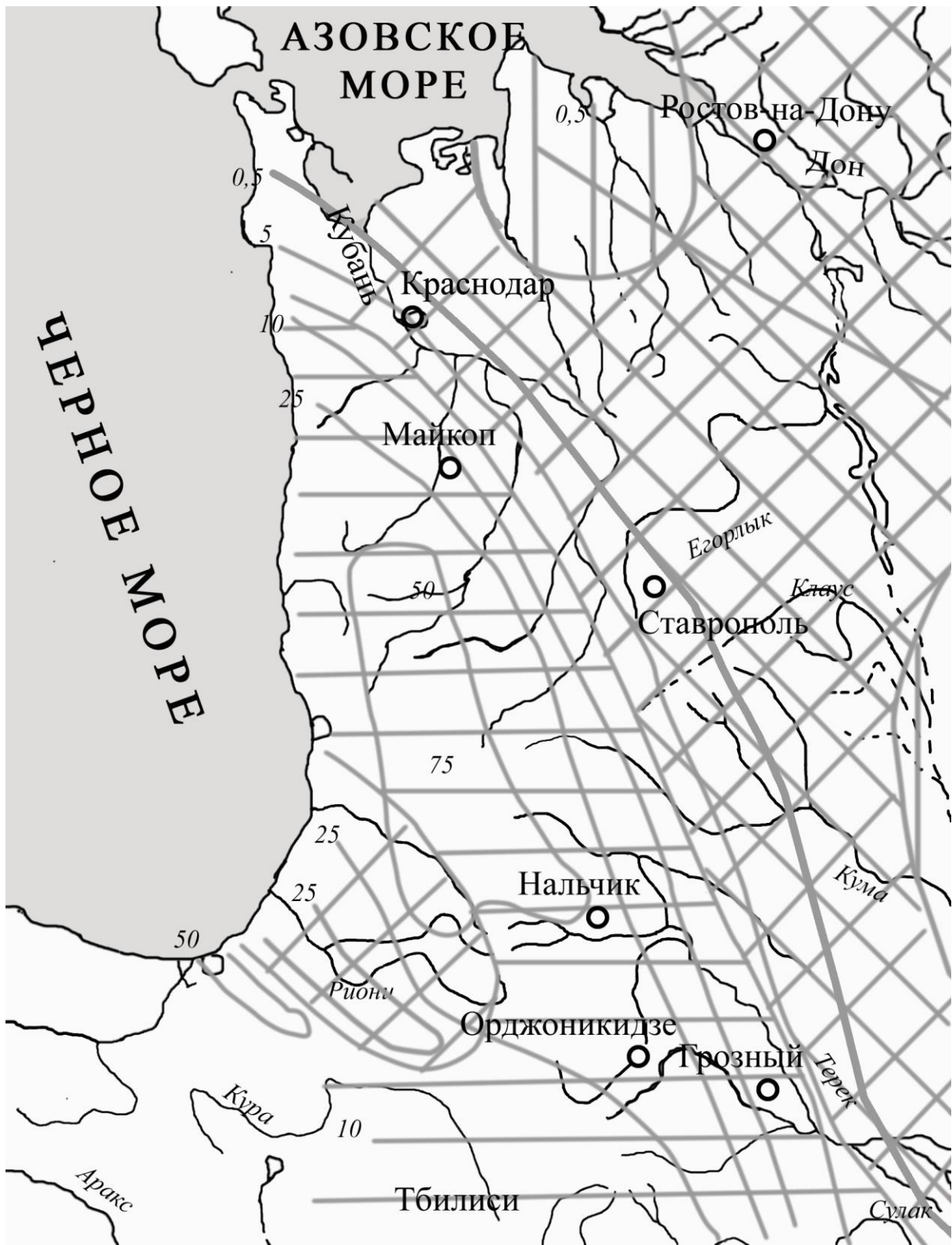


Рисунок 42 – Карта среднего годового стока рек Юга РФ, л/(с·км²)

Оформление расчетно-графической работы:

Задание по определению нормы стока при различной степени изученности бассейна оформляется в виде пояснительной записки с расчетными таблицами и следующими чертежами:

1. Разностная интегральная кривая средних годовых расходов $\Sigma(K-1) = f(T)$.
2. График связи между стоком в изучаемом и аналогичном бассейне.
3. Карта изолиний нормы стока для изучаемого бассейна.

В пояснительно записке производится краткое описание способов расчета нормы стока с приведением формул, применяемых в этих способах.

2.2 Определение расчетных расходов (расчетно-графическая работа по гидрологии)

Внутригодовое распределение речного стока

Задание: Рассчитать распределение стока внутри года методом компоновки сезонов с расчетной вероятностью превышения (обеспеченностью $P = 80\%$ – для целей орошения -- факультет ВХиМ, и $P = 97\%$ – для целей водоснабжения, факультет ВВ).

Производится расчет как межсезонного (по сезонам года), так и внутрисезонного (по месяцам и декадам) распределения стока. Исходными данными служат средние месячные расходы воды в реке, взятые из справочника Основные гидрологические характеристики (ОГХ) по варианту.

Расчет межсезонного распределения стока

В зависимости от типа внутригодового распределения стока гидрологический год делится на два периода: многоводный и маловодный. Устанавливается наиболее напряженный период с точки зрения водохозяйственного использования – лимитирующий (межень). В период включается один или два сезона. На реках с весенним половодьем при использовании стока для целей орошения выделяют многоводный период (он же сезон) – весну и маловодный (лимитирующий) период, включающий в себя сезоны лето–осень и зиму (лимитирующим сезоном для орошения является лето–осень).

Расчет выполняется по гидрологическим годам, которые начинаются с многоводного сезона. Сроки сезонов принимаются единым для всех лет наблюдений с округлением их до целого месяца. Продолжительность многоводного сезона устанавливается так, чтобы в границах сезона помещалось половодье как в годы с самым ранним сроком его наступления, так и с наиболее поздним сроком окончания.

В расчете продолжительность сезона рекомендуется принять следующей: весна – апрель, май, июнь; лето–осень – июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь; зима – декабрь и январь, февраль, март следующего года. Величина стока за отдельные сезоны и периоды определяется суммой средних месячных расходов воды (таблица 16).

При расчете внутригодовое распределение стока принимается из условия равенства вероятности превышения стока за год, стока за лимитирующий период и внутри него – за лимитирующий сезон. Поэтому необходимо определить расходы заданной проектом обеспеченности (в примере – 80%) для года, лимитирующего периода и сезона. Расчетные расходы с $P = 80\%$ определяют после расчета параметров кривых обеспеченности для лимитирующих периода и сезона – среднемесячного расхода воды Q_0 (m^3/c), коэффициента вариации C_v и коэффициента асимметрии C_s .

Таблица 16 – Расчет внутригодового распределения стока методом компоновки (межсезонное распределение стока) р. Лаба – пос. Псебай

№ п/п	Год	Расходы за лимитирующий сезон лето–осень					Сток лето–осень	K = = Qi : Qcp	K – 1	(K – 1) ²	Расходы за сезон весна			Весенний сток
		VII	VIII	IX	X	XI					IV	V	VI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1954	142	72	66,8	37,2	25,8	343,8	1,25	0,25	0,0625	67,5	168	196	431,5
2	1962	131	57,9	27,5	27	19,6	263	0,79	-0,21	0,0441	108	183	195	486
3	1947	125	62,8	66,5	64,1	109	427,4	1,29	0,29	0,0841	63,5	104	132	299,6
4	1949	108	51,4	68	49,6	32,8	309,8	0,94	-0,06	0,0036	66,4	190	192	448,4
5	1945	159	61,8	38,4	46,2	28,6	334	1,01	0,01	0,0001	50,5	154	223	427,6
6	1961	130	52,6	42,2	34,3	44,9	304	0,92	-0,08	0,0064	86,9	183	164	433,9
7	1933	130	75,6	57,3	56,6	58,3	377,8	1,14	0,14	0,0196	44,2	162	146	352,3
8	1951	126	65,9	36,5	26,8	35,7	290,9	0,88	-0,12	0,0144	83,2	145	180	408,3
9	1935	100	55,5	33,2	30,5	24,3	243,5	0,73	-0,27	0,0729	83,7	212	166	461,7
10	1934	124	70,3	52	60,1	43,2	349,6	1,05	0,05	0,0025	41,6	131	125	297,6
							Qcp=332			∑0,3102				

Примечание: $Q_{cp(l-o)} = \frac{\sum Q_{l-o}}{n} = 332 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = \sqrt{\frac{\sum (K-1)^2}{n-1}} = 0,19$.

По таблице Крицкого – Менкеля (приложение А1, Б1) и по $C_{v,l-o} = 0,19$ определяют ординату кривой обеспеченности $K_{p,l-o} = 0,8$ и вычисляют расчетный расход:

$$Q_{p,l-o} = K_{p,l-o} Q_{cp,l-o} = 0,8 \cdot 332,0 = 265,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Продолжение таблицы 16

№ п/п	Год	Расходы за лимитирующий сезон зима				Зимний сток	Суммарный сток за период зима+лето+осень	$K = \frac{Q_{i, \text{меж}}}{Q_{cp, \text{меж}}}$	K – 1	(K – 1) ²	Расходы в убывающем порядке (суммарный сток)			$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100 \%$
		XII	I	II	III						Зима	Весна	Лето–осень	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1954	19,9	19,1	19	40,2	98,2	442	1,21	0,21	0,0441	138,5	486	426,4	9,1
2	1962	35,3	23,6	20,6	49,9	129,4	392,4	0,92	-0,08	0,0064	129,4	461,7	415,8	18,2
3	1947	52,2	20,2	21,4	44,7	138,5	565,9	1,33	0,33	0,1089	98,2	448,4	377,8	27,3
4	1949	22	16,3	14,7	40,4	93,4	403,2	0,95	-0,05	0,0025	93,4	433,9	349,6	36,4
5	1945	24,1	15,7	10,8	14,3	64,9	398,9	0,94	-0,06	0,0036	92,9	431,5	334,3	45,4
6	1961	40,7	15,8	15,7	20,7	92,9	396,9	0,93	-0,07	0,0049	86,7	427,5	309,8	54,6
7	1933	28,7	19,6	13,8	16,1	78,2	456	1,07	0,07	0,0049	85,9	408,2	304	63,6
8	1951	25,7	17,6	14,8	28,6	86,7	377,6	0,89	-0,11	0,0121	78,2	352,2	290,9	72,7
9	1935	21,6	15,7	16,4	21,1	74,8	318,3	0,75	-0,25	0,0625	74,8	299,5	263	81,8
10	1934	25,5	18,1	12,9	29,4	85,9	435,5	1,02	0,02	0,0004	64,9	297,6	243,5	90,9
							Qcp = 425,8 м ³ /с			∑0,2503				

Примечание: $Q_{cp(\text{меж})} = \frac{\sum Q_{\text{меж}}}{n} = 425,8 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = \sqrt{\frac{\sum (K-1)^2}{n-1}} = 0,166$. $K_{p(\text{меж})} = 0,856$.

$$Q_{p(\text{меж})} = K_{p(\text{меж})} Q_{cp(\text{меж})} = 0,856 \cdot 425,8 = 364,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Коэффициент изменчивости определяют по данным граф 11 и 26 таблицы 16, используя формулу

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K-1)^2}{n-1}},$$

а коэффициент асимметрии C_s принимают равным $2C_v$. Расчетные расходы для годового стока, стоков лимитирующего периода и лимитирующего сезона определяют по формулам ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q_{\text{р.год}} = K_{\text{р.год}} \cdot 12 Q_0; \quad (23)$$

$$Q_{\text{р.меж}} = K_{\text{р.меж}} \cdot Q_{\text{меж}}; \quad (24)$$

$$Q_{\text{р.л-о}} = K_{\text{р.л-о}} \cdot Q_{\text{л-о}}, \quad (25)$$

где $K_{\text{р.год}}$, $K_{\text{р.меж}}$, $K_{\text{р.л-о}}$ – ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения (взяты из приложения 1 соответственно для C_v годового стока, C_v межennaleго стока и C_v для сезона лето – осень);

Q_0 – средний годовой расход за многолетний период (ОГХ) или норма стока, $\text{м}^3/\text{с}$.

Одним из основных условий метода компоновки является равенство $Q_{\text{р.год}} = \sum Q_{\text{р.сез}}$. Поэтому расчетный сток за нелимитирующий период (в задании – за весну) определяют по разности:

$$Q_{\text{р.вес}} = Q_{\text{р.год}} - Q_{\text{р.меж}}, \quad (26)$$

а за нелимитирующий сезон (в задании зима)

$$Q_{\text{р.зим}} = Q_{\text{р.меж}} - Q_{\text{р.л-о}}. \quad (27)$$

Расчет ведется в табличной форме. Определяют расчетные расходы, используя данные таблицы 16:

$$Q_{\text{р.год}} = K_{\text{р.год}} \cdot 12 Q_0 = 0,86 \cdot 12 \cdot 80,3 = 829 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_{\text{р.меж}} = K_{\text{р.меж}} \cdot Q_{\text{меж}} = 0,856 \cdot 425,8 = 364 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_{\text{р.л-о}} = K_{\text{р.л-о}} \cdot Q_{\text{л-о}} = 0,838 \cdot 332 = 278 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_{\text{р.вес}} = Q_{\text{р.год}} - Q_{\text{р.меж}} = 829 - 364 = 465 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_{\text{р.зим}} = Q_{\text{р.меж}} - Q_{\text{р.л-о}} = 364 - 278 = 86 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчет внутрисезонного распределения стока

Внутрисезонное распределение стока принимается осредненным по каждой из трех групп водности (многоводная группа, включающая годы с обеспеченностью стока за сезон $P < 33 \%$; средняя – $33 \% < P < 66 \%$; маловодная – $P > 66 \%$). Для каждого сезона значения суммарных годовых расходов размещают по вертикали в порядке убывания (графы 25 – 27, таблица 16) для выделения лет, входящих в отдельные группы водности и вычисляют их фактическую обеспеченность (графа 28) по таблицам Крицкого – Менкеля, а также по формуле

$$P = \frac{m-0,3}{n+0,4} \cdot 100 \quad \text{или} \quad P = \frac{m}{n+1} \cdot 100,$$

где m – порядковый номер;

n – число лет наблюдений.

Так как расчетная обеспеченность (80 % по заданию) соответствует маловодной группе, дальнейший расчет производят для лет, входящих в маловодную группу (с $P \geq 66$ %). Для этого в графу «Суммарный сток» (таблица 17) выписывают расходы по сезонам, соответствующие маловодной группе, а в графу «Год» – годы, соответствующие этим расходам.

Таблица 17 – Расчет внутрисезонного распределения стока (расчетные месячные расходы)

№ п/п	Год	Суммарный сток	P, %	Средние месячные расходы по убыванию, м ³ /с									
				Q	Месяц	Q	Месяц	Q	Месяц	Q	Месяц	Q	Месяц
1. Весенний сезон													
1	1933	352,3	72,7	162	V	146	VI	44,2	IV				
2	1947	299,6	81,8	132	VI	104	V	63,5	IV				
3	1934	297,6	90,9	131	V	126	VI	41,6	IV				
		∑949,3		425		376		149,3					
		100 %		44,8	V	39,6	VI	15,7	IV				
2. Летне-осенний сезон													
	1951	290,9	72,7	126	VII	65,9	VIII	36,5	IX	35,7	XI	26,8	X
2	1962	263	81,8	131	VII	57,9	VIII	27,5	IX	27	X	19,6	XI
3	1935	243,5	90,9	100	VII	55,5	VIII	33,2	IX	30,5	X	24,3	XI
		∑797,4		357		179		97,2		93,2		70,7	
		100 %		44,8	VII	22,5	VIII	12,2	IX	11,7	X	8,8	XI
3. Зимний сезон													
1	1933	78,2	72,7	28,7	XII	19,6	I	16,1	III	13,8	II		
2	1935	74,8	81,8	21,6	XII	21,1	III	16,4	II	15,7	I		
3	1945	64,9	90,9	24,1	XII	15,7	I	14,3	III	10,8	II		
		∑217,9		74,4		56,4		46,8		40,3			
		100 %		34,1	XII	25,9	I	21,5	III	18,5	II		

Величины средних месячных расходов внутри сезона (по горизонтали) располагают в порядке убывания с указанием календарных месяцев, к которым они относятся (графы 6, 8, 10, 12, 14 таблицы 17). Таким образом, первым окажется расход за наиболее многоводный месяц, последним – за маловодный.

Для всех лет производят суммирование расходов отдельно за каждый сезон и по месяцам. Принимая сумму расходов за сезон 100 %, определяют долю каждого месяца, входящего в сезон, а в графу «Месяц» записывают название этого месяца, который повторяется наиболее часто. Если повторений нет, выписать любой из встречающихся, но так, чтобы каждый месяц, входящий в сезон, дополнял месяцы ранее определенные по большинству повторяющихся, т. е. недостающих.

Умножая расчетный расход за сезон, определенный в части межсезонного распределения стока (таблица 16), на процентную долю А (%) каждого месяца от сезона (таблица 17), вычисляют расчетный расход каждого месяца, например:

$$Q_{p\text{ IV}} = (Q_{p\text{ вес}} \cdot A) : 100 = (465 \cdot 15,7) : 100 = 73,0 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (28)$$

По данным таблицы 18 на миллиметровке строят расчетный гидрограф изучаемой реки с $P = 80\%$ (рисунок 43).

Таблица 18 – Расчетные расходы воды за каждый месяц года (метод компоновки) рассчитанные по формуле (28)

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
$Q_p, \text{м}^3/\text{с}$	73	194,4	197,6	124,5	62,2	33,9	29,5	27,8	29,3	20,1	16,2	20,3

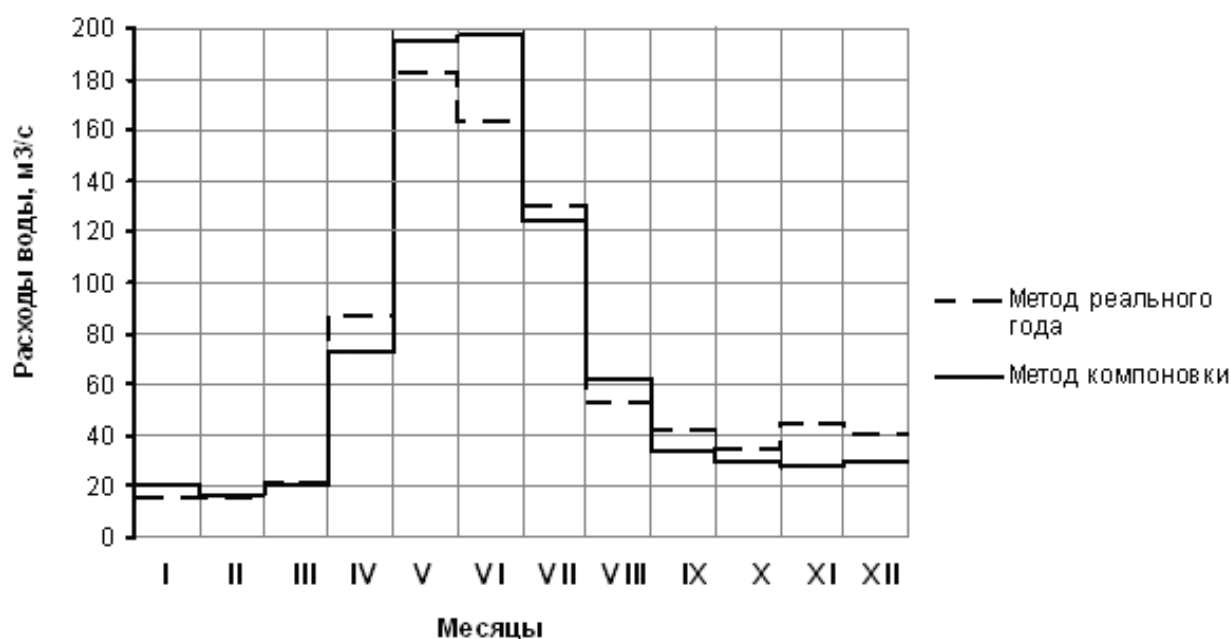


Рисунок 43 – Расчетный гидрограф реки

2.3. Расчет внутригодового распределения стока методом реального года

Значения годового стока и стока за лимитирующий период выписываются в порядке убывания и вычисляется их эмпирическая обеспеченность (таблица 19).

Соблюдая условия равенства обеспеченности года и сезона ($P_{\text{год}} = P_{\text{сез}}$), находят в маловодном периоде с $P \geq 66\%$ год с заданной обеспеченностью или близкой к 80% . Таким годом в примере является 1961 год с $P = 81,9\%$.

Теперь выписывают из ОГХ за 1961 г. (принятый реальный год) средние месячные расходы воды (с I по XII), их величины считаются расчетными.

Таблица 19 – Вычисление расчетных характеристик

№ п/п	Q _{год} (в убывающем порядке)	Год	∑Q _{VII – XI}	Год	$P = \frac{m-0,3}{n+0,4} \cdot 100\%$
1	2	3	4	5	6
1	114	1942	566,6	1939	2,23
2	104	1944	461,8	1941	5,41
3	104	1956	459,3	1944	8,6
4	100	1940	442,7	1956	11,8
5	94,2	1939	432,0	1953	15,0
6	92,2	1946	371,6	1942	18,2
7	91,4	1958	370,9	1937	21,3
8	89,5	1953	360,3	1936	24,5
9	88,7	1937	356,7	1940	27,7
10	88,7	1948	348,2	1958	30,9
11	86,5	1960	340,1	1960	34,1
12	84,3	1952	332,6	1952	37,3
13	82,0	1938	331,9	1938	40,4
14	80,4	1932	319,5	1933	43,6
15	80,4	1942	318,0	1954	46,8
16	80,4	1943	317,4	1947	50,0
17	80,4	1950	309,4	1948	53,2
18	78,9	1955	306,4	1934	56,4
19	77,3	1936	305,4	1945	59,6
20	76,3	1957	303,3	1932	6
21	73,7	1959	301,3	1955	63,6
22	73,2	1962	295,0	1943	66,7
23	72,8	1954	281,4	1946	69,7
24	72,0	1947	277,0	1949	72,7
25	71,0	1945	268,0	1959	75,8
26	69,2	1961	259,1	1961	78,8
27	68,9	1945	250,2	1957	81,8
28	67,4	1939	255,2	1951	84,8
29	65,5	1951	243,4	1962	87,9
30	65,0	1935	219,2	1935	90,9
31	61,1	1934	200,8	1950	93,9

Обеспеченность $P = 78,8 \%$ соответствует расходам $Q_{год} = \sum Q_{VII - XI}$ за 1961 год, который принят за расчетный.

По данным Q_p таблицы 20 строится гидрограф реки за 1961 г., рассчитанный методом реального года, и анализируется в сравнении с гидрографом, рассчитанным методом компоновки сезонов (см. рисунок 43).

Таблица 20 – Расчетные месячные расходы за реальный год (1961)

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q _{p 1961}	15,8	15,7	20,7	86,9	183	164	130	52,6	42,2	34,3	44,9	40,9

2.4 Расчет максимальных расходов воды при наличии длительного ряда наблюдений за их величинами

Задание. Определить расчетный максимальный расход воды при наличии данных наблюдений за расходами воды за многолетний период (в примере взят 20-летний период) при условии проектирования гидротехнического сооружения 1-го класса капитальности ($P = 0,01 \%$).

Требуется: 1) построить на клетчатке вероятностей аналитическую кривую обеспеченности максимальных расходов (с проверкой эмпирическими точками). 2) вычислить максимальный расчетный расход с учетом гарантийной поправки для ГТС 1-го класса капитальности.

При достаточно продолжительных рядах наблюдений расчеты годового стока согласно «Указаниям по определению расчетных гидрологических характеристик СНиП 2.01.14 – 83» рекомендуется производить по кривым обеспеченности.

В современной практике водохозяйственного проектирования надежность работы установки по гарантированному режиму оценивается обеспеченностью (в процентах или долях единицы). Под обеспеченностью понимают отношение общей продолжительностью работы установки без нарушения гарантированного режима к полной продолжительности ее работы.

Кривая обеспеченности – интегральная кривая, показывающая обеспеченность или вероятность превышения данной величины среди общей совокупности ряда, может быть построена в виде эмпирической и теоретической кривых.

Для построения кривой обеспеченности максимальных расходов воды вычисляются ее параметры: средний многолетний (из максимальных) расход воды $Q_{cp.max}$ и коэффициент вариации C_v , а коэффициент асимметрии C_s принимается равным $2C_v$ (не вычисляется). Расчет ведется в табличной форме (таблица 21).

Средний максимальный расход за многолетний период определяется по формуле:

$$Q_{cp.max} = \frac{\sum Q_{max}}{n} = \frac{2738,9}{20} = 136,9 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (29)$$

Коэффициент вариации C_v рассчитывается по формуле:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K-1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1,1171}{19}} = 0,24. \quad (30)$$

Коэффициент асимметрии C_s принимают равным $2C_v$.

Модульный коэффициент максимального расхода воды K_i (графа 6), определяют по формуле:

$$K_i = \frac{Q_{i,max}}{Q_{cp.max}}, \quad (31)$$

где $Q_{i,max}$ – средние годовые значения максимальных расходов воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{cp.max}$ – среднее арифметическое (среднее многолетнее) значение расходов воды, определяемое по формуле (29).

Таблица 21 – Расчет параметров кривой обеспеченности максимальных расходов талых вод р. Лаба - пос. Псебай, 1936 – 1962 гг.)

№ п/п	Год	$Q_{i \max}$	$Q_{i \max}$ (в убывающем порядке)	$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$	$K = \frac{Q_{i \max}}{Q_{cp. \max}}$	$(K - 1)$	$(K - 1)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1936	152	203	4,8	1,48	0,48	0,2300
2	1937	167	199	9,5	1,45	0,45	0,2000
3	1938	157	180	14,3	1,31	0,31	0,0900
4	1939	203	167	19,0	1,22	0,22	0,0500
5	1940	199	159	23,8	1,16	0,16	0,0250
6	1941	180	157	28,6	1,15	0,15	0,0220
7	1946	159	152	33,3	1,11	0,11	0,0120
8	1947	148	148	38,1	1,08	0,08	0,0064
9	1949	144	144	42,9	1,05	0,05	0,0025
10	1952	118	129	47,6	0,94	-0,06	0,0036
11	1953	124	127	52,4	0,93	-0,07	0,0049
12	1954	127	124	57,1	0,90	-0,1	0,0100
13	1955	86,5	121	61,9	0,88	-0,12	0,0144
14	1956	121	118	66,7	0,86	-0,14	0,0190
15	1957	107	116	71,4	0,85	-0,15	0,0230
16	1958	116	108	76,2	0,79	-0,21	0,0440
17	1959	93,6	107	81,0	0,78	-0,22	0,0480
18	1960	129	99,5	85,7	0,73	-0,27	0,0730
19	1961	108	93,9	90,5	0,68	-0,32	0,1024
20	1962	99,5	86,5	95,2	0,63	-0,37	0,1369
			$\Sigma 2738,9$		$\Sigma 20$		$\Sigma 1,1171$

По величине C_v и таблицам Крицкого–Менкеля для обеспеченности от 0,01 до 99,9 % определяют ординаты кривой обеспеченности K_p , их записывают в таблицу 22.

Таблица 22 – Ординаты аналитической кривой обеспеченности Q_{\max}

C_s	$P, \%$	0,01	0,1	1	3	5	10	25	50	75	80	95	97	99,9
$3C_v$	K_p	2,16	1,91	1,64	1,5	1,43	1,32	1,15	0,98	0,83	0,8	0,64	0,6	0,72

Кривые обеспеченности (эмпирическая и аналитическая) в целях повышения точности строятся на специальных клетчатках вероятностей. При $C_v \leq 0,5$ целесообразно использовать клетчатку вероятностью с умеренной асимметричностью, при $C_v > 0,5$ – со значительной асимметричностью. На вертикальной оси откладывают величины максимальных расходов Q_{\max} или модульные коэффициенты $K = Q_{i \max}/Q_{cp. \max}$, по горизонтальной нижней оси откладывается обеспеченность в процентах, а по верхней оси – период повторения лет N (рисунок 44).

Построение теоретической кривой обеспеченности максимальных годовых расходов производят по эмпирическим точкам (графа б). Если общее направление эмпирических точек не совпадает с аналитической кривой, то выполняют вычисления методом подбора C_v и C_s . По кривой обеспеченности определяется $K_p = 80 \%$ и затем расчетная величина максимального расхода ($P = 0,01 \%$ заданной обеспеченности):

$$Q_{p \max} = K_p \cdot Q_{cp \max} = 2,16 \cdot 136,9 = 295,7 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (32)$$

Значение расчетной обеспеченности принимают в зависимости от класса капитальности сооружений. При проектировании сооружений 1-го класса капитальности, рассчитываемых на расход обеспеченностью $P=0,01\%$ к максимальному расходу $Q_{p \max}$, определенному по формуле (32), прибавляют гарантийную поправку ΔQ_p . Теперь исправленный расчетный расход определяют с помощью формулы

$$Q'_{p \max} = Q_{p \max} + \Delta Q_p = 295,7 + 16,52 = 312,22 \text{ м}^3/\text{с} \quad (33)$$

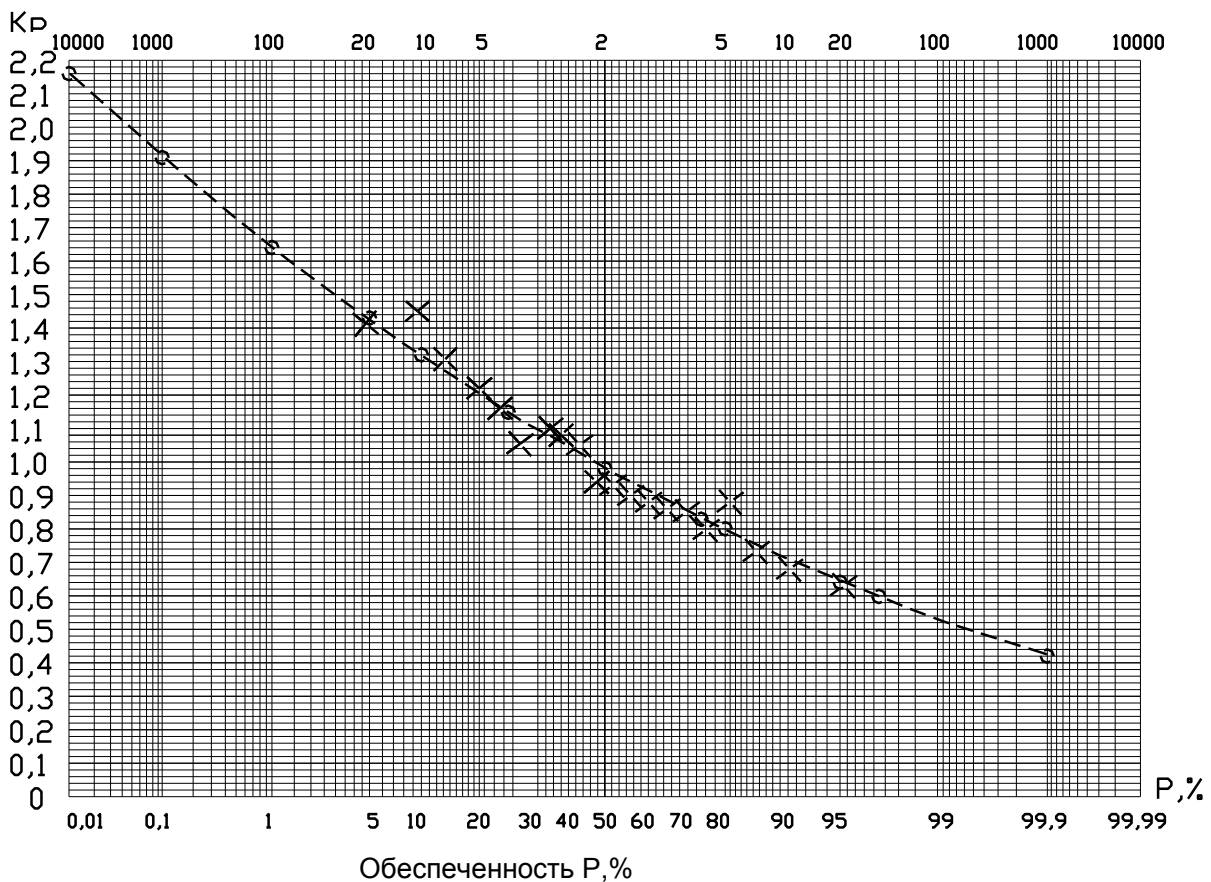


Рисунок 44 – Клетчатка вероятностей для кривых с умеренной асимметричностью. Кривая обеспеченности максимальных расходов воды р. Лаба -- (пос. Псебай)

Величина гарантийной поправки определяется по формуле:

$$\Delta Q_p = Q_{p \max} \cdot \frac{aE_p}{\sqrt{n}} = 295,7 \cdot \frac{0,7 \cdot 0,6}{\sqrt{20}} = 16,52 \text{ м}^3/\text{с} \quad (34)$$

где $Q_{p \max}$ – максимальный расход воды, определенный по кривой обеспеченности, $\text{м}^3/\text{с}$;

a – коэффициент, характеризующий гидрологическую изученность бассейна; $a = 0,7$ для рек, расположенных в гидрологически изученных районах, $a = 1,5$ для рек, расположенных в слабо изученных районах;

n – число лет наблюдений;

E_p – относительная среднеквадратическая ошибка ординаты кривой обеспеченности, определяемые по СНиП 2.01.14 - 83 (приложение 5) при $C_s = 3C_v$, и равна 0,6.

Гарантийная поправка не должна превышать 20 % от расчетного расхода $Q_{p \max}$. Если $\Delta Q_p \geq 0,2Q_{p \max}$, то данных наблюдений недостаточно и ряд наблюдений необходимо удлинить или определить $Q_{p \max}$ другим методом.

2.5 Методика изучения раздела «Гидрологические расчеты»

Задача гидрологии суши – изучение основных закономерностей стока поверхностных вод. Цель инженерной гидрологии – разработка методов гидрологических расчетов и прогнозов.

Кривые распределения и обеспеченности, применяемые в гидрологии

В гидрологии широко применяются методы математической статистики, основанные на теории вероятностей. В начале темы изучаются статистические характеристики ряда наблюдений, их погрешности; построение гистограммы распределения, превращения ее в кривую распределения (вероятностей) и затем в кривую обеспеченности. Особое внимание уделите кривым биномиального распределения, трехпараметрического гамма-распределения, логарифмически нормального распределения, методике построения кривых обеспеченности, их свойствам и недостаткам. Разберите также проверку построенных аналитических кривых данными гидрометрических наблюдений и наложением эмпирических кривых обеспеченности. Изучите подробно методы определения основных параметров (среднего арифметического, коэффициентов изменчивости и асимметрии) кривых обеспеченности при наличии достаточного количества данных наблюдений (метод моментов, наибольшего правдоподобия, графоаналитический), при недостатке данных (метод гидрологической аналогии, корреляции, аналитического приведения и др.), при отсутствии данных (по картам, эмпирическим зависимостям). Разберите математическое моделирование гидрологических рядов.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 143 – 166; 2, с. 75 – 114.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется повторяемостью (вероятностью) гидрологической величины?
2. Что называется обеспеченностью (вероятностью превышения) гидрологической величины?
3. Какие характерные точки имеет кривая распределения?
4. При каком соотношении C_s/C_v биномиальная кривая неприменима для расчетов стока?
5. Как построить кривую обеспеченности: а) биномиальную, б) трехпараметрическую гамма-распределения, в) эмпирическую?
6. Какие параметры и таблицы необходимы для построения аналитических кривых обеспеченности?

Режим рек. Озера и болота

При изучении рассмотрите типы питания рек, деление гидрографов по типу питания. Затем разберите классификацию рек по режиму стока.

Рассматривая ледовый режим рек, изучите замерзание рек, ледостав, вскрытие, внутриводный лед. Обратите внимание на зависимость толщины льда от суммы отрицательных температур.

В теме «Озера» уясните классификацию озер, их водный баланс, температурный и ледовый режимы, влияние озер на речной сток. Изучите также тему «Ветровые волны и сейши».

Рассмотрите образование болот, их классификацию. Разные типы болот выполняют различную гидрологическую роль. Влияние заболоченности на фазы речного режима зависит от географического положения водосборов, от степени заболоченности и от водности (обеспеченности) года. После осушения изменяется испарение с поверхности, увеличивается емкость аккумуляции деятельного слоя, изменяются водно-физические свойства торфа и резко увеличивается густота речной сети (канализованность), что необходимо учитывать в каждом конкретном случае.

В заключение уясните роль ледников в питании рек; режим поверхностного стока в условиях вечной мерзлоты.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 125 – 143.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое заторы и зажоры?
2. Как влияют на максимальный сток рек озера, болота?
3. Как разделяются озера по происхождению?

Климатические факторы стока

Основная цель темы – выявить влияние различных климатических факторов на речной сток.

Климат является главным фактором, определяющим сток рек и его распределение по сезонам. Из климатических характеристик особенно тесно связаны со стоком влажность и температура воздуха, испарение и осадки.

Рассмотрите характеристики влажности воздуха (абсолютную и относительную влажность, дефицит, точку росы) и приборы для наблюдения за влажностью воздуха.

Изучите приборы для измерения температуры воздуха, его давления; направления и скорости ветра; для измерения жидких и твердых осадков; испарители всех систем; приборы для измерения влажности почвы и др. Разберите методику расчета испарения с водной поверхности при наличии и отсутствии материалов наблюдений для водоемов разных площадей. Затем рассмотрите методику наблюдений и расчетов испарения с поверхности почвы; с растительного покрова; с поверхности снега и льда; суммарного испарения с речного бассейна (методом водного и теплового балансов, связи теплового и водного баланса, турбулентной диффузии и др.), среднего многолетнего месячного суммарного испарения (метод отношений и комплексный метод), испарения с орошаемых земель.

Изучите виды и закономерности выпадения осадков, их распределение по поверхности суши, методику определения среднего количества осадков для бассейна реки.

Рассмотрите также тему «Климатические факторы и годовой сток».

В заключение подробно разберите уравнение водного и теплового баланса речного бассейна для одного года и в многолетнем разрезе.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 166 – 194.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните устройство всех метеорологических приборов и методы работы с ними.
2. Охарактеризуйте основные факторы стока.

Годовой сток и его изменчивость

Приступая к изучению этой темы, прежде всего, необходимо усвоить единицы измерения стока (см. задание по гидрологии). Далее необходимо понять, что сток реки формируется под воздействием многих факторов: климатических, физико-географических, хозяйственной деятельности человека и др. Годовой сток реки не остается постоянным, он непрерывно колеблется. Обратите внимание на цикличность в колебаниях годового стока, ее причины.

Важнейшей характеристикой стока является средняя многолетняя величина, или норма годового стока. Подробно изучите определение ее при наличии длительных гидрометрических наблюдений, недостатке данных (метод аналогии, корреляции, графического и аналитического приведения) и при отсутствии данных (карты среднего многолетнего стока, интерполяции между опорными пунктами).

При определении нормы годового стока по многолетним данным необходимо учитывать цикличность стока (способ сокращенной суммарной кривой). Обратите внимание на определение средней квадратической ошибки нормы годового стока при отсутствии и наличии коррелятивной связи стока смежных лет, на погрешности в определении коэффициента изменчивости.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 194 – 205.

Вопросы для самопроверки

1. Какой период наблюдений необходим для вычисления средней многолетней величины как средней арифметической годовых величин стока?
2. Как выбрать бассейн-аналог при недостаточности гидрометрических данных?
3. Как определить норму стока при отсутствии данных: а) для горных рек; б) для озерной реки; в) для малого водосбора?

Внутригодовое распределение стока

Эта тема посвящена вопросам распределения стока по сезонам, месяцам, декадам внутри года. Рассмотрите влияние на внутригодовое распределение стока климатических, физико-географических (особенно озерности, гидрогеологических условий, залесенности) и других факторов, а также человеческой деятельности.

Главная задача темы – изучение методов расчета внутригодового распределения стока при наличии многолетних данных (компоновки, реального года, кривой продолжительности суточных расходов воды) и при недостатке и отсутствии данных.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 205 –215.

Вопросы для самопроверки

1. В чем сущность методов компоновки и реального года?
2. Как строят обобщенную (абсолютную) и среднюю кривую обеспеченности суточных расходов воды?
3. Как вычисляется расчетный гидрограф для недостаточно изученной и неизученной в гидрологическом отношении реки?

Формирование поверхностного стока

В теме рассматриваются закономерности возникновения поверхностного стока, стекание водных потоков со склонов всего водосбора и по русловой сети.

Связи между поступлением воды на водосбор (жидкие осадки, талые воды) и формированием гидрографа на реке. Изучите процессы стекания, инфильтрации, поверхностной аккумуляции, добегания вод по склонам и руслам. Усвойте генетическую формулу стока, положенную в основу расчетов максимального стока на ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 215 – 220.

Вопросы для самопроверки

1. Какие фазы поверхностного стока выделены Н. Е. Долговым?
2. В чем сущность метода изохрон?

Максимальный сток талых и дождевых вод

Цель темы – определение расчетных максимальных расходов воды, необходимых при проектировании гидротехнических сооружений и мелиоративных систем.

Тема является одной из основных в расчетах стока. Вначале разберите факторы весеннего половодья: запасы снега, интенсивность снеготаяния, инфильтрацию, аккумуляцию на поверхности бассейна и др.

Далее изучите факторы ливневого стока: интенсивность ливня, инфильтрацию воды в почву, добегание ливневых вод до замыкающего створа. Затем перейдите к влиянию на максимальный сток площади водосбора, озерности, залесенности, заболоченности, рельефа, почвогрунтов и др.

Особое внимание обратите на расчеты максимальных расходов. Усвойте, какая продолжительность наблюдений необходима в разных географических зонах, какие условия должны быть выполнены, чтобы данные для расчетов считать достаточными. Уясните, как определяются параметры кривых обеспеченности; какие формулы употребляются при наличии исторических максимумов; какие соотношения C_s/C_v чаще всего встречаются. Обратите внимание, в каких случаях к максимальному расходу прибавляется гарантийная поправка. Далее разберите случай, когда максимумы отдельных лет наблюдаются в разные сезоны и не связаны между собой (максимумы смешанного происхождения). Затем перейдите к расчетам максимального стока при недостаточности (метод аналогии, корреляции) и отсутствии данных наблюдений (расчетные формулы). Поймите структуру формулы для подсчета максимальных расходов талых вод, определение основных коэффициентов, входящих в эту формулу. Далее перейдите к редуцированной формуле для подсчета расчета дождевых расходов средних рек, а затем к формуле предельной интенсивности, рекомендованной для расчетов дождевых расходов малых рек. В заключение изучите способы определения расчетных гидрографов половодий и паводков.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 220 – 238.

Вопросы для самопроверки

1. Какая расчетная ежегодная вероятность превышения P (%) рекомендуется при расчете максимальных расходов воды в зависимости от класса капитальности сооружения?
2. Как определяется вероятность превышения P (%) максимальных расходов воды и слоев стока при построении эмпирических кривых обеспеченности?
3. Как определить расчетный слой суммарного стока половодья?
4. Как вычислить максимальный расход талых вод для горной реки?

5. Как перейти от расхода 11 %-й вероятности превышения к расходу с другими вероятностями превышения при расчете дождевых максимумов?

Минимальные расходы воды

Задача темы – определение расчетных минимальных расходов воды, необходимых при проектировании водоснабжения, орошения, охраны рек.

В начале темы рассмотрите условия формирования меженного стока, влияние на него грунтового питания, площади водосбора (глубины вреза долины), почвогрунтов водосбора, озер, болот. Рассмотрите явления пересыхания и промерзания рек. Далее перейдите к расчетам минимального стока при наличии данных наблюдений, при недостаточности данных и отсутствия их. Рассмотрите карты изолиний летнего и зимнего минимального стока 80 %-й обеспеченности для средних рек. Для малых рек изучите эмпирические зависимости. Обратите внимание на учет; регулирующего влияния озер.

ЛИТЕРАТУРА: **1**, с. 238 – 243; **2**, с. 153 – 158.

Вопросы для самопроверки

1. Какие кривые обеспеченности используются для определения расчетных минимальных расходов?
2. Как определяется расчетная обеспеченность расходов?
3. Как перейти от 30-дневного расхода к среднесуточному?

Речные наносы

Тема посвящена образованию и движению речных наносов; взаимодействию потока и русла. Изучение ее начните с процессов эрозии, происходящих на поверхности водосборов рек. Разберите основные факторы, влияющие на эрозию, на смыв поверхности бассейна. Разберите гидравлические и морфологические характеристики наносов. Познакомьтесь с теориями движения взвешенных наносов. Усвойте понятие мутности потока, его транспортирующей способности, незаилающей и размывающей скорости.

Далее изучите движение донных наносов и растворенных веществ. Поймите способы подсчета взвешенных и донных наносов. В заключение рассмотрите деформацию речного русла и классификацию рек по степени устойчивости их ложа.

ЛИТЕРАТУРА; **1**, с. 243 – 273.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите мероприятия по борьбе с водной эрозией.
2. При каком соотношении вертикальной составляющей скорости потока и гидравлической крупности твердой частицы она находится во взвешенном состоянии, а при каком падает?
3. Как распределяется мутность по вертикали, по ширине потока?
4. Когда наблюдается наибольшая мутность на реках?
5. Как распределяется сток наносов по территории страны?
6. В каких пределах должна изменяться скорость потока на каналах?
7. Что такое сель?

РАЗДЕЛ 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА

Регулирование речного стока – перераспределение во времени объема водного стока в соответствии с требованиями водопользователей и водопотребителей, а также в целях борьбы с наводнениями.

Регулирование стока осуществляется с помощью искусственных водоемов (водохранилищ) и является важным мероприятием при разрешении задач водоснабжения, орошения, обводнения, рыбоводства, использования водной энергии, улучшения судоходства и лесосплава, комплексного использования и охраны водных ресурсов.

В работе необходимо выполнить следующие разделы:

1. Расчет и построение топографической характеристики водохранилища.
 2. Определение минимального уровня воды и мертвого объема водохранилища.
 3. Расчет и построение экономической характеристики водохранилища.
- .
11. Расчет многолетнего регулирования стока графическим методом

3.1 Характеристики водохранилища

Топографическая характеристика водохранилища

Кривые, характеризующие зависимость изменения величины площади водной поверхности водохранилища (Ω), объема воды (V) от уровня (H) или глубины (h) водохранилища, относятся к основным характеристикам водохранилища и называются батиграфическими.

Исходным материалом (основой) для расчета и построения батиграфических кривых водохранилища служит крупномасштабная топографическая карта (план участка речной долины, рисунок 45).

Кривую зависимости $\Omega = \Omega(H)$ строят в прямоугольных координатах по данным граф 1 и 4 таблицы 23, откладывая на оси ординат отметки уровней H , на оси абсцисс – площади Ω (рисунок 46).

Площадь водной поверхности, соответствующую различному уровню воды водохранилища, определяют путем планиметрирования территории, ограниченной линией горизонтали и створом плотины.

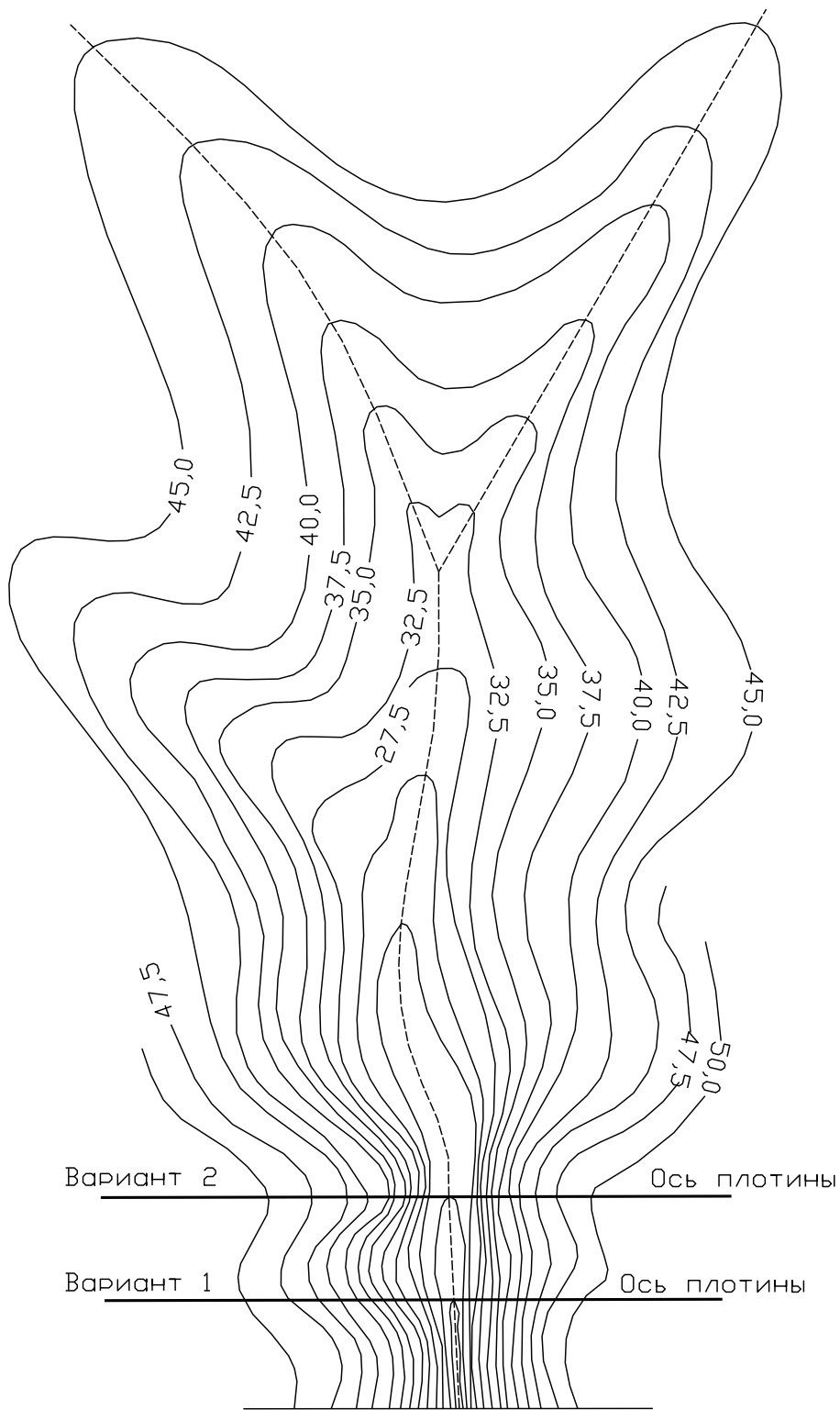


Рисунок 45 – Топографический план (масштаб 1:50 000)

Таблица 23 – Расчет батиграфических кривых водохранилища

Отметки поверхности воды Н, м	Глубина у плотины h, м	Разность уровней ΔН, м	Площадь зеркала Ω на отметке Н, км ²	Средняя площадь Ω _{ср} , км ²	Емкость (объем) слоя ΔН, млн. м ³	Объем воды V, млн. м ³	Средняя глубина h _{ср} , м	Площадь ΩL, км ²	Критерий площади литорали, L _Ω
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	–
22,5	2,5	2,5	2,41	1,21	3,02	3,02	1,25	2,21	0,92
25,0	5,0	2,5	5,11	3,76	9,40	12,42	2,43	2,11	0,41
27,5	7,5	2,5	9,25	7,18	17,95	30,37	3,28	3,25	0,35
30,0	10,0	2,5	15,11	12,18	30,45	60,82	4,03	4,9	0,26
32,5	12,5	2,5	23,94	19,53	48,83	109,65	4,58	7,54	0,31
35,0	15,0	2,5	34,76	29,35	73,38	183,03	5,27	8,76	0,21
37,5	17,5	2,5	50,08	42,42	106,05	289,08	5,77	6,1	0,12
40,0	20,0	2,5	68,48	59,27	148,18	437,26	6,39	12,0	0,17
42,5	22,5	2,5	95,30	81,88	204,7	641,86	6,47	18,3	0,13

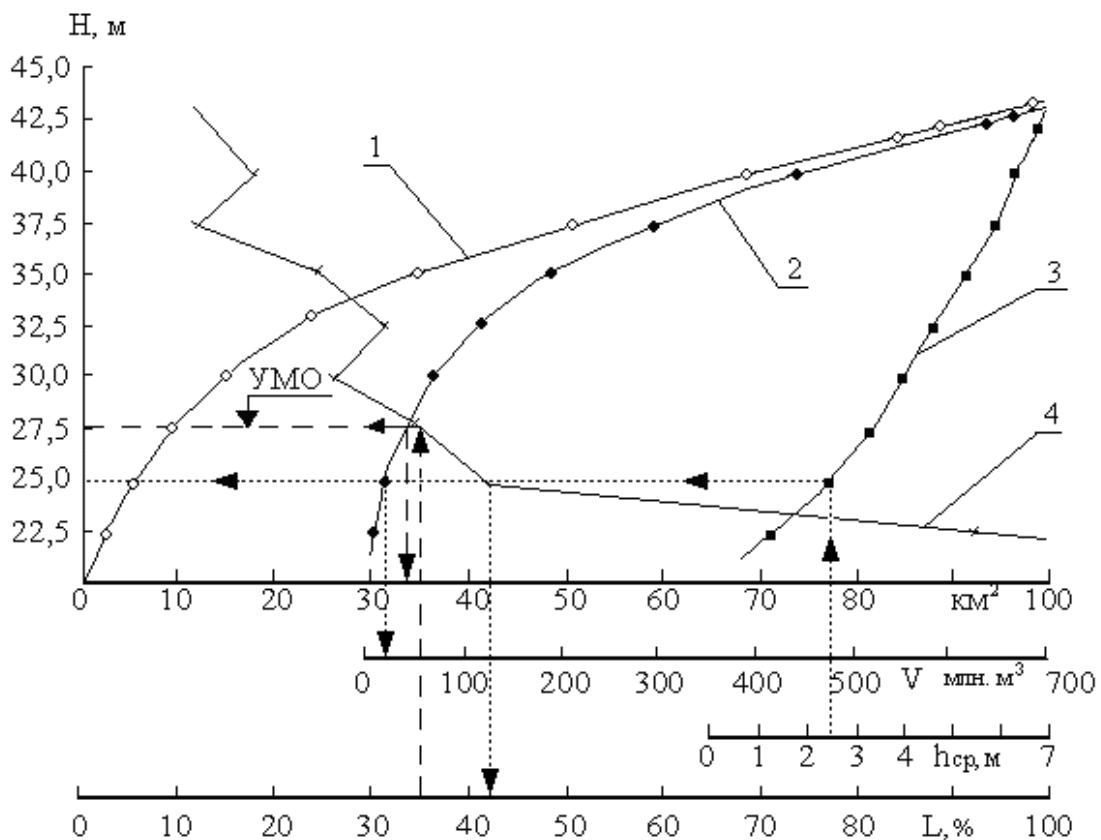


Рисунок 46 – Батиграфические кривые водохранилища:

- 1) $\Omega = \Omega(H)$; 2) $V = V(H)$; 3) $h_{ср} = h_{ср}(H)$; 4) $L_{\Omega} = L_{\Omega}(H)$

Объем воды в водохранилище при максимальном его наполнении (графа 7 таблицы 23), вычисляют путем последовательного суммирования частных объемов (слоев) расположенных ниже максимального уровня воды.

$$V_n = \sum_{H_i}^{H_i} \Delta V_i. \quad (35)$$

Для построения кривой зависимости $V = V(H)$ определяют значения частных объемов отдельных слоев воды, заключенных между смежными горизонталями, используя для этого выражение

$$\Delta V = 0,5(\Omega_i + \Omega_{i+1}) \Delta H_{i+1}, \quad (36)$$

где Ω_i и Ω_{i+1} – площади водной поверхности, соответствующие уровням воды H_i и H_{i+1} ;

Объем **первого (придонного)** слоя определяют по формуле усеченного параболоида.

$$\Delta V_i = H_1 \cdot \frac{2}{3} \Omega_1. \quad (37)$$

На одном графике с батиграфическими кривыми по данным граф (1 и 8) и (1 и 10) таблицы 23 строят кривые зависимости $h_{cp} = h_{cp}(H)$ и $L_{\Omega} = L_{\Omega}(H)$ (см. рисунок 46). Средние глубины (графа 8) определяют из отношения

$$h_{cp} = \frac{V_{H_i}}{\Omega_{H_i}} \quad (38)$$

Критерий площади литорали (графа 10) рассчитывают по формуле

$$L_{\Omega_i} = \frac{\Omega_{li}}{\Omega_{H_i}}, \quad (39)$$

где Ω_{H_i} и V_{H_i} – площадь водной поверхности и объем воды при одном и том же уровне H_i .

Ω_{li} – площадь литорали, соответствующая уровню H_i .

Площадь литорали – площадь водной поверхности прибрежной части водохранилища с глубиной $h \leq 2$ м. Определяют ее с помощью кривой $\Omega = \Omega(H)$ как разность площадей водной поверхности при уровнях H_i и H_{i-2} (таблица 23, графа 9) по формуле

$$\Omega_{Li} = \Omega_{H_i} - \Omega_{H_{i-2}}, \quad (40)$$

где $\Omega_{H_{i-2}}$ – площадь водной поверхности (m^2) при отметке H_{i-2} (м).

Результаты планиметрирования топографического плана местности, а так же расчетов характеристик водохранилищ сведены в таблицу 23, их используют для построения батиграфических кривых водохранилища (см. рисунок 46).

Определение минимального уровня воды и мертвого объема водохранилища

Минимальный уровень воды в водохранилище соответствует уровню мертвого объема (УМО) и определяется в задании исходя из санитарно-технических условий.

С целью обеспечения качества воды санитарными нормами принимается средняя глубина водохранилища $h_{cp} \geq 2,5$ м и критерий площади литорали $L_{\Omega} \leq 0,35$.

Для определения мертвого объема водохранилища используют кривую зависимости $h_{cp} = h_{cp}(H)$ (рисунок 46), где минимальная отметка (УМО) при $h_{cp} = 2,5$ м равна 25 м. Этой отметке соответствует объем равный $V_{умо} = 12,0$ млн. m^3 (по кривой $V = V(H)$). Критерий литорали L_{Ω} устанавливается по кривой $L_{\Omega} = L_{\Omega}(H)$ (рисунок 46). При отметке УМО в примере $L_{\Omega} = 0,41$, что превышает норму ($L_{\Omega} \leq 0,35$). Следовательно, требуется снизить критерий литорали, для этого задаются $L_{\Omega} = 0,35$ и по кривой зависимости $V = V(H)$ определяют мертвый объем. Он принят равным 40,0 млн. m^3 , а уровень мертвого объема при этом объеме принят равным 27,5 м.

Экономическая характеристика водохранилища (определение стоимости строительства земляной плотины и сооружений на ней, компенсационных затрат, удельной стоимости)

Общая стоимость строительства водохранилища складывается из капитальных затрат на возведение плотины (с сооружениями) и средств на компенсацию расходов, вызванных подготовкой чаши водохранилища.

Стоимость сооружения гидроузла определяется произведением величины объема тела земляной плотины на приведенную стоимости 1 m^3 тела плотины C_1 в рублях.

Компенсационные затраты, вызванные подготовкой чаши водохранилища и затоплением территории, определяются произведением укрупненного измерителя этих затрат C_2 на величину площади затопления Ω соответствующей отметке H_i .

При проектировании водохранилищ рассчитываются несколько вариантов и оптимальный из них принимается для выполнения. Для оценок их экономической эффективности определяют удельную стоимость водохранилища ρ (стоимость 1 m^3 воды, задержанной в водохранилище) делением общей стоимости на величину полезного объема.

Расчеты ведутся в табличной форме. Пример расчета представлен в таблице 26.

При выполнении водохозяйственного расчета приняты следующие условия:

1. Ширина земной плотины по гребню $b = 4,5$ м, заложение откосов равны: сухого $m_1 = 2$ м., мокрого $m_2 = 4$ м. Превышение гребня плотины (ΔH) над НПУ в водохранилище принять данным таблицы 24.

Таблица 24 – Значения превышения гребня плотины от глубины у плотины

Глубина водохранилища у плотины, м	До 5	5–10	Более 10
Превышение гребня ΔH , м	1,0	1,6	2,5

2. Приведенная (с учетом всех работ по гидроузлу) стоимость 1 m^3 насыпи в теле плотины $C_1 = 1,3$ руб. (Стоимость указана на 2008 год)

3. Суммарные затраты на отчуждение и подготовку 1 га площади чаши водохранилища к затоплению $C_2 = 140$ руб. Определение количества земляных работ по насыпи, т. е. объем тела плотины, выполняют при наличии продольного профиля по оси плотины, упростив его приведением к виду параболы.

$$W = 0,66LH_i(b + 0,8m_{cp} \cdot H_i) \quad (42)$$

где H_i – высота плотины, м;

L – длина плотины по гребню, м;

b – ширина плотины по гребню, м;

m_{cp} – среднее заложение откосов плотины, равное $(m_1 + m_2) : 2$.

Стоимость строительства плотины с гидроузлом (таблица 26, графа 6) определяют по формуле:

$$K_i = C_1 \cdot W_i \quad (43)$$

Таблица 26 – Расчет экономической характеристики водохранилища

Отметка горизонта воды H , м	Глубина у плотины h , м	Высота плотины H_i , м	Длина плотины по гребню L , м	Объем тела плотины $W_{\text{тыс}}$, м ³	Стоимость, тыс. руб.			Удельная стоимость $\rho = K_i/V_i$, коп./м ³
					строительства гидроузла с плотиной $K_1 = C_1 W_i$	подготовки чаши $K_2 = C_2 \Omega_i$	полная $K = K_1 + K_2$	
20,0	0	–	–	–	–	–	–	–
22,5	2,5	3,5	50	1,0	1,3	33,7	35,0	1,160
25,0	5,0	6,6	60	3,5	4,55	71,5	76,05	0,610
27,5	7,5	9,1	90	9,3	12,1	129,5	141,6	0,466
30,0	10,0	12,5	100	18,5	24,0	211,5	235,5	0,387
32,5	12,5	15,0	110	28,5	37,1	335,2	373,3	0,340
35,0	15,0	17,5	140	48,5	63,0	486,6	549,6	0,300
37,5	17,5	20,0	160	71,2	92,6	701,1	793,7	0,274
40,0	20,0	22,5	200	111,4	144,8	958,7	1103,5	0,250
42,5	22,5	25,0	250	170,3	221,4	1334,2	1555,6	0,240

Компенсационные затраты на подготовку чаши водохранилища (таблица 26, графа 7) рассчитываются по формуле:

$$K_2 = C_2 \cdot \Omega_i \quad (44)$$

Удельную стоимость вычисляют по формуле:

$$\rho_i = \frac{K_i}{V_i} \quad (45)$$

Экономическая характеристика водохранилища выражается кривыми зависимости общей $K = K(H)$ и удельной $\rho = \rho(H)$ стоимости от отметки свободной поверхности воды (рисунок 47).

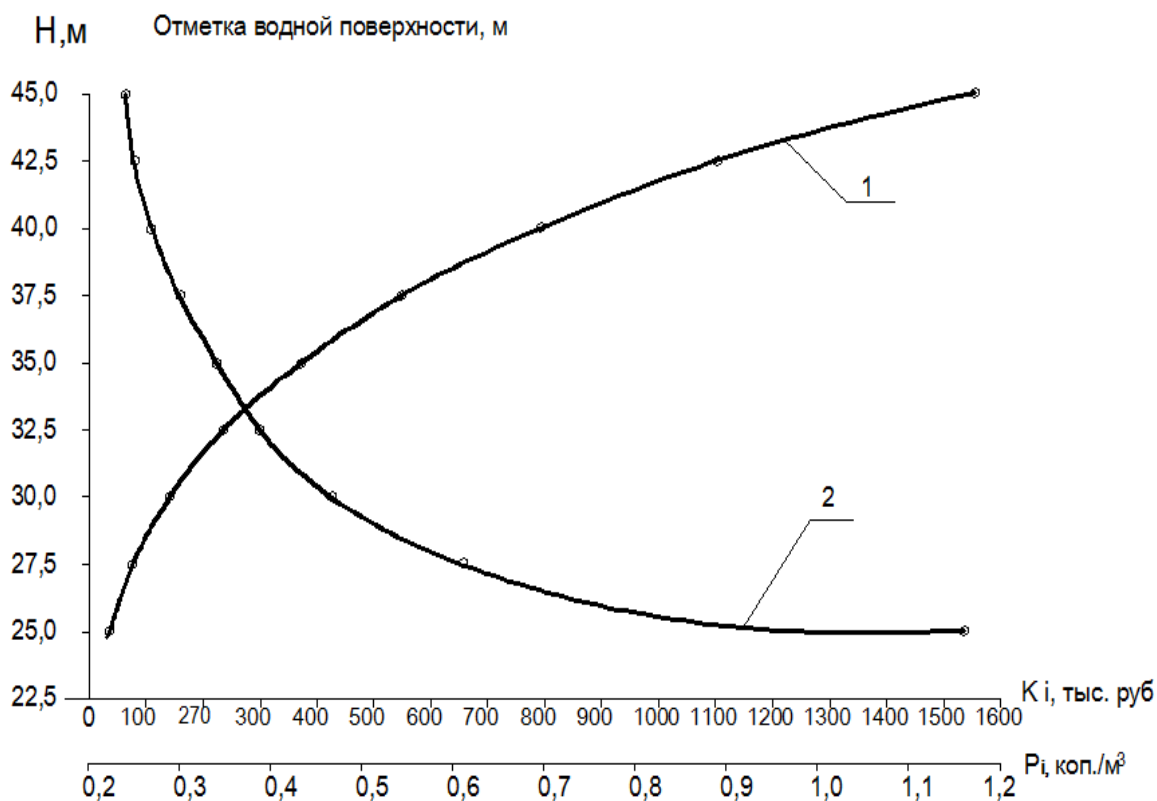


Рисунок 47 – Экономическая характеристика водохранилища:

$$1) K = K(H); \quad 2) \rho = \rho(H)$$

3.2 Водохозяйственный расчет сезонного (годового) регулирования речного стока балансовым (аналитическим) методом

Расчет сезонного регулирования стока

Сезонное регулирование стока позволяет перераспределить сток в течение сезона или года, т. е. накапливать воду в водохранилище в многоводные периоды года и распределять его в маловодные годы и сезоны.

Исходным материалом для расчета служат данные расчетных месячных расходов – стока Q и величин потребления (отдачи) q , таблица 27, графа 2 и 3 за расчетные интервалы (месяцы года), которые берутся из приложения 2 (согласно варианту). Расчет ведется в хронологической последовательности с вычислением объемов наполнения водохранилища, сработки и холостых сбросов на конец расчетного интервала.

Расчетный объем стока за интервал (графа 4) определяется по формуле

$$W = Q \cdot T, \tag{46}$$

где Q – (расход) приток в водохранилище, м³/с;

T – число секунд в интервале (месяц), равное в среднем $2,59 \cdot 10^6$ с.

Таблица 27 – Расчет водохранилища сезонно-годового регулирования (объемы стока, отдачи, потерь воды и наполнений в млн. м³)

Месяцы	Расходы, м ³ /с		Расчетный сток W _р	Плановая отдача U	Наполнение без учета потерь					
	Сток Q	Отдача q			Сток минус отдача		I вариант		II вариант	
					Избытки ΔV _{изб} (+)	Недостатки ΔV _д (-)	V _{кон}	V _{сбр}	V _{кон}	V _{сбр}
III	5,0	2,5	13,4	6,7	6,7		6,7		0	6,70
IV	13,1	2,5	33,93	6,48	27,43		17,33	16,80	17,33	10,10
V	4,0	5,5	10,72	14,74	Σ34,13	4,02	13,31		13,33	
VI	3,3	5,5	8,55	14,25		5,7	7,61		7,61	
VII	2,5	3,5	6,7	9,38		2,68	4,93		4,93	
VIII	2,3	3,5	6,16	9,38		3,22	1,71		1,71	
IV	2,7	2,5	6,99	6,48	0,52	Σ15,62	2,23		2,23	
X	3,0	2,5	8,04	6,7	1,34		3,57		3,57	
XI	2,7	2,5	6,99	6,48	0,52		4,09		4,09	
XII	2,3	2,5	6,16	6,7	Σ2,38	0,54	3,55		3,55	
I	1,9	2,5	5,09	6,7		1,61	1,94		1,94	
II	1,7	2,5	4,11	6,05		1,94	0		0	
					Σ4,09					
Сумма			116,84	100,04	36,51	19,71	16,80	16,80		
Разность			16,80		16,80					

Плановая отдача за интервал (графа 5) рассчитывается из выражения

$$U = q \cdot T, \quad (47)$$

где U – плановая отдача, м³/с.

Вычитая из расчетного объема стока W_р за каждый месяц величины плановой отдачи U получают избытки объемов стока, если разность положительна (таблица 27 графа 6) и недостатки – при отрицательной разности (таблица 27 графа 7).

Столбцы избытков ΔV_{изб} и недостатков ΔV_д следующие без «разрывов», суммируют, получая при этом за ΣΔV_{изб1} следует группа недостатков ΣΔV_{д1} – один такт работы водохранилища, а за ΣΔV_{д1} идет ΣΔV_{изб2} – второй такт, случай двухтактной работы водохранилища.

Контролем правильности расчетов служит равенство разностей итоговой суммы W_р – U, а также ΔV_{изб} – ΔV_д (в примере она равна 16,80 млн. м³, 116,84 – 100,04 и 36,51–19,71).

В результате анализа полученных данных (графы 6 и 7) установлено, что ΔV_{изб 1} = 34,13 млн. м³ больше следующего за ним недостатка (ΔV_{д1} = 15,62), а второй избыток ΣΔV_{изб2} = 2,38 млн. м³ меньше последующего дефицита (ΔV_{д1} = 4,09 млн. м³). Имеем тот случай двухтактной работы, когда полезный объем определяют суммой двух недостатков минус меньший избыток:

$$V_{плз} = \Delta V_{д 1} + \Delta V_{д 2} - \Delta V_{изб 2} = 15,62 + 4,09 - 2,38 = 17,33 \text{ млн. м}^3.$$

В других случаях V_{плз} принимают равным максимальному дефициту ΔV_{д 1} = 15,62 м³•10⁶.

Регулирование стока по первому варианту

Сущность первого варианта регулирования состоит в скорейшем наполнении водохранилища до $V_{нпу}$ за счет первых избытков и удержании его наполненным длительное время.

Расчет начинают с даты перехода от лимитирующего маловодного периода к периоду повышенной водности, т. е. с начала водохозяйственного года (перед наибольшим избытком, в примере с начала III месяца). За начальное наполнение принимают мертвый объем или условно нулевое наполнение ($V_{плз} = 0$). Расчеты по первому варианту регулирования выполняют в хронологической последовательности с момента опорожнения водохранилища вперед, по ходу времени прибавляя избытки и отнимая недостатки. Полученные результаты (конечного наполнения за каждый месяц года) – V_k , записывают в графу 8 таблицы 27. Если сумма избытков будет превышать величину полезного объема $V_{плз}$, то на конец этого места в графе 8 пишут величину $V_{плз}$ (в примере 17,33 млн m^3), а превышение над $V_{плз}$ [(6,7 + 27,43) – 17,33] заносят в графу 9 (сброс $V_{сбр} = 16,80$ млн m^3). В рассматриваемом примере сумма избытков за III и IV месяцы (34,13 млн m^3) превышает полезный объем водохранилища ($V_{плз} = 17,33$ млн m^3) следовательно, из избытка $\Delta V_{изб}$ на заполнение водохранилища пойдет только 1,33 млн m^3 , а остальной объем притока воды идет на холостой сброс. Недостаток притока в V, VI, VII, VIII месяцах компенсируется из водохранилища, за счет чего объем воды в нем будет убывать и на конец VIII месяца составит лишь 3,22 млн m^3 .

Недостаток притока воды в декабре и феврале будет компенсироваться запасами из водохранилища, и в конце февраля полезный объем окажется равным нулю.

Контролем правильности расчетов служат равенство суммарной величины сброса (графа 9) и разности между суммарным расчетным стоком W_p , (графа 4) и суммарной плановой отдачей (таблица 27, графа 5).

Регулирование стока по второму варианту

Сущность его заключается в том, что наполнение водохранилища начинают в возможно более поздний срок. В этом случае в ожидании многоводного периода в первую очередь освобождают от $V_{плз}$ емкость водохранилища, делают холостой сброс воды, а затем наполняют его во время паводков.

При втором варианте регулирования расчет начинают с $V_{умо}$ (с III месяца), считая наполнение водохранилища нулевым, и ведут против хода времени, последовательно прибавляя недостатки и вычитая избытки. Результаты расчета заносят в графу 10 таблицы 27. Полезный объем $V_{плз}$ определяется в примере как сумма недостатков минус меньший избыток. В ходе расчета получится конечное наполнение, равное полезному объему водохранилища. С ходом времени эта величина будет уменьшаться. Когда наполнение станет отрицательным, в этом интервале в графе 10 записывают «0» – нулевой объем воды, а величину отрицательного числа записывают в графу 11 сброса. Все отрицательные значения объемов также записывают в графу 11 (по абсолютной величине). При этом варианте регулирования нулевые объемы встречаются несколько раз, что указывает на подготовку водохранилища к приему большого объема стока воды. Проверка правильности расчета такая же, как и при I варианте регулирования.

По данным результатов расчета строится график режима работы водохранилища (рисунок 48).

На оси ординат располагают величины наполнений на конец интервалов (графы 8 – по первому варианту регулирования и графы 10 – по второму варианту, таблица 27) на оси абсцисс интервалы (месяцы года).

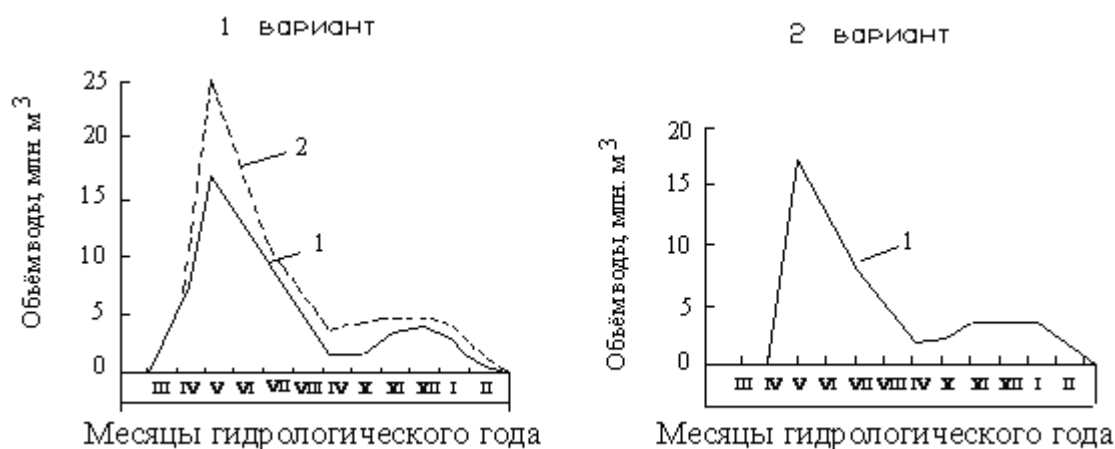


Рисунок 48 – График режима работы водохранилища:

1 – режимы работы водохранилища без учета потерь; 2 – режим работы водохранилища с учетом потерь

Расчет сезонного регулирования стока с учетом потерь на фильтрацию и испарение (по первому варианту)

Исходными данными для расчета служат результаты расчета водохранилища сезонного регулирования стока без учета потерь (таблица 27, графа 8).

При расчете принять:

- 1) мертвый объем водохранилища, соответствующий средней глубине $h_{cp} = 2,5$ (по кривой зависимости $V = V(H)$, рисунок 46);
- 2) испарение с водной поверхности по данным таблицы 28;

Таблица 28 – Величины испарений по месяцам (по данным метеорологического ежегодника)

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IV	X	XI	XII	Год
Слой испарения, мм	10	15	30	50	70	80	90	70	50	30	20	10	525

3) месячные потери воды на фильтрацию в процентах от среднего объема воды в водохранилище (соответственно варианту по данным таблицы 29).

Таблица 29 – Величины потерь на фильтрацию (по вариантам)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потери, %	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0

В графу 3 таблицы 30 на начало и конец каждого расчетного интервала записывают объемы V_k , (из графы 8 таблицы 27), увеличенные на величину мертвого объема $V_{умо}$. Средний объем за расчетный интервал (таблица 30, графа 4) находят как полусумму объемов наполнений на начало и конец каждого интервала $V_{cp} = 0,5(V_{Hi} + V_{Hi+1})$ без учета потерь.

Среднюю площадь водной поверхности $\Omega_{\text{ср}}$ (графа 5) определяют по батиграфической кривой. Каждому значению $V_{\text{ср}}$, соответствует величина уровня воды (Н). При уровне Н с помощью кривой зависимости $\Omega = \Omega(H)$ (см. рисунок 4б) получают $\Omega_{\text{ср}}$. Результаты расчета записывают в графу 5 таблицы 30.

Таблица 30 – Расчет водохранилища сезонно-годового регулирования с учетом потерь воды

Месяцы	Слой испарения h, мм	$\Delta V = V_{\text{к}} + V_{\text{умо}}$, млн м ³	Средний объем $V_{\text{ср}}$, млн м ³	Средняя площадь водной поверхности $\Omega_{\text{ср}}$, км ²	Объем потерь воды, млн м ³			Отдача с учетом потерь, млн м ³	Наполнение с учетом потерь, млн м ³				
					на испарение	на фильтрацию	суммарный		Сток минус отдача и потери		Конечное $V_{\text{к}}$	Сброс $Q_{\text{сбр}}$	
									$\Delta V_{\text{изб}}$ (+)	$\Delta V_{\text{л}}$ (-)			
III	30	12,0	15,3	5,5	0,165	0,153	0,318	7,02	6,38		6,38		
IV	50	18,7	24,0	7,4	0,370	0,240	0,610	7,09	26,84		25,31	7,91	
V	70	29,31	27,3	8,5	0,620	0,273	0,893	18,63	Σ33,22	7,91	17,4		
VI	80	25,3	22,5	7,2	0,580	0,224	0,804	15,05		6,50	10,9		
VII	90	19,6	18,3	6,0	0,540	0,183	0,723	10,10		3,40	7,5		
VIII	70	16,9	15,3	5,5	0,538	0,153	0,538	9,92		3,76	3,74		
IX	50	13,7	14,0	5,3	0,265	0,139	0,404	6,88	0,11	Σ21,57	3,85		
X	30	14,2	14,9	15,4	0,462	0,149	0,611	7,31	0,73		4,58		
XI	20	15,6	15,8	5,6	0,112	0,158	0,270	6,75	0,24		4,82		
XII	10	16,1	15,8	5,6	0,06	0,158	0,218	6,92	Σ1,08	0,76	4,06		
I	10	15,5	14,7	15,3	0,153	0,147	0,300	7,00		1,91	2,15		
II	15	13,9	13,0	5,1	0,08	0,129	0,209	6,26		2,15	0		
									Σ4,82				
Сумма								105,93	34,30	26,39			7,91
Разность											7,91		

Принимая значения полезного объема, исправленные на величину потерь по данным последнего приближения (повторения) 25,31 млн м³ и прибавляя величину мертвого объема (12 млн м³), получают полный объем водохранилища:

$$V_{\text{полн}} = 25,31 + 12 = 37,31 \text{ млн м}^3.$$

Согласно данным $V_{\text{к}}$ в последнем приближении уточняют график режима работы водохранилища, т. е. на рисунке 48 наносят уточнение на конец каждого месяца.

Высотную отметку нормального подпорного уровня $H_{\text{нпу}}$ определяют по кривой зависимости $V = V(H)$ в примере $H_{\text{нпу}} = 30,5$ м. Умножая величину $\Omega_{\text{ср}}$, в каждом интервале на слой испарения h, определяют объем потерь воды на испарение (таблица 28, графа 6).

Величины потерь на фильтрацию рассчитывают, исходя из среднего объема наполнения на конец каждого месяца (графа 4) согласно варианту задания таблица 30. Сумму потерь (на фильтрацию и испарение) записывают в графу 8. Суммируя их с плановой отдачей (таблица 27 графа 5) ($V_{\text{пот}} + q$), получают отдачу с учетом потерь (q брутто), ее заносят в графу 9 таблицы 30. Аналогично расчету водохранилища по первому варианту без учета потерь вычисляют объемы наполнений и сбросов.

Полезный объем водохранилища с учетом потерь воды $V_{плз}$ определяют в зависимости от режима работы водохранилища (одно-, двух- или многотактного). В примере $V_{плз} = \Delta V_{д1} + V_{д2}$ млн m^3 , т. е. $V_{плз}$ равен сумме двух недостатков минус меньший избыток (двухтактный режим).

Если величина полезного объема $V_{плз}$ увеличилась по отношению к $V_{плз}$ более, чем на 1–2 %, расчет уточняют, т. е. производят повторно. Для этого в графу 3 таблицы 30, (в зависимости от того, сколько будет повторений) записывают данные графы 12 V_k – конечных объемов наполнений водохранилища на конец каждого месяца, увеличенных на объем потерь, определенных от V_k (таблица 30).

Полный объем водохранилища при $V_{плз} = 25,31$ млн m^3 и $V_{умо} = 12,0$ млн m^3 составит $V_{плн} = V_{плз} + V_{умо} = 37,31$ млн m^3 . Высотная отметка НПУ при этом объеме воды в водохранилище равна 30,5 м (кривая $V = V(H)$, рисунок 46).

Согласно данным, полученным в ходе расчета, строится график режима работы водохранилища с учетом и без учета потерь (рисунок 48), а также составляется паспорт водохранилища (таблица 31).

Таблица 31 – Паспорт водохранилища

Отметка		Объем, млн m^3			$\Omega_{НПУ}$, км ²	$h_{ср}$, м
УМО, м	НПУ, м	$V_{умо}$	$V_{плз}$	$V_{плн}$		
27,5	30,5	12,0	25,31	37,31	9,0	3,25

3.3 Расчет водохранилища многолетнего регулирования стока(аналитически)

Необходимость в многолетнем регулировании стока возникает в случае, когда годовая потребность в воде (отдача $U_{изб}$) больше, чем расчетный сток W_p . При многолетнем регулировании потребность в воде в маловодный год обеспечивается стоком за этот год и сработкой запасов воды из водохранилища, накопленных в многоводные годы.

Период сработки многолетней составляющей может изменяться от года до нескольких лет. Сезонная составляющая срабатывается ежегодно. Сток, отдачу, объем воды в водохранилище для удобства расчетов принято выражать в долях от среднего многолетнего объема стока реки W_0 в относительных величинах:

сток – модульным коэффициентом стока

$$K = \frac{W_i}{W_0}, \quad (48)$$

отдачу – коэффициентом зарегулирования стока

$$\alpha = \frac{U_{изб}}{W_0}, \quad (49)$$

объем воды в водохранилище – коэффициентом объема стока:

$$\beta_i = \frac{V_i}{W_0}; \beta_{сез} = \frac{V_{сез}}{W_0}; \beta_{мн} = \frac{V_{мн}}{W_0}. \quad (50)$$

Расчет выполняют таблично-цифровым способом, отдельно вычисляя многолетнюю $V_{мн}$ и сезонную $V_{сез}$ составляющие полезного объема.

$$V_{плз} = V_{мн} + V_{сез}. \quad (51)$$

Коэффициент емкости вычисляется:

$$\beta_{\text{плн}} = \beta_{\text{мн}} + \beta_{\text{сез}} + \beta_{\text{мо}}.$$

Коэффициент многолетней составляющей емкости водохранилища определяется по 2-му способу С. Н. Крицкого и Н. Ф. Менкеля с помощью графиков Г. Г. Сванидзе (приложение 3) при $C_s = 2C_v$ и коэффициенте корреляции между годовым стоком смежных лет ($r = 0,1$). Значением $\beta_{\text{мн}}$ определяется многолетняя составляющая $\beta_{\text{мн}} = f(P, \alpha, C_v, C_s, r)$.

При $P = 85\%$; $\alpha = 0,91$; $C_v = 0,16$; $C_s = 0,32$; $\beta_{\text{сез}} = 0,32$; $r = 0,1$; $\beta_{\text{мн}} = 0,42$. Многолетняя составляющая емкости водохранилища определяется из формулы:

$$V_{\text{мн}} = \beta_{\text{мн}} \cdot W_0 = 0,42 \cdot 116,8 = 49,0 \text{ млн м}^3 \quad (52)$$

где W_0 – средний многолетний приток, млн м³

Расчет сезонной составляющей выполняют из условия необходимости покрытия сезонных дефицитов в воде в первый год после окончания маловодного периода, т. е. когда многолетний запас исчерпан, считая в расчетном году равенство стока и отдачи.

$$\beta_{\text{сез}} = \alpha(t_m - m_m), \quad (53)$$

где t_m – продолжительность межени (в долях от года), которая составляет 0,75 (или $9/12$); m_m определяется из отношения

$$m_m = \frac{W_{\text{Р меж}}}{W_{\text{Р год}}} \quad (54)$$

где $W_{\text{Р меж}}$ – расчетный объем стока за меженный период, млн м³.

$W_{\text{Р год}}$ – расчетный годовой объем стока.

Величины $W_{\text{Р меж}}$ и $W_{\text{Р год}}$ определены в расчетах внутригодового распределения стока методом компоновки сезонов.

Например: $m_m = \frac{W_{\text{Р меж}}}{W_{\text{Р год}}} = \frac{114,7}{261,1} = 0,44.$

$$\beta_{\text{сез}} = 0,91(0,75 - 0,44) = 0,3.$$

Величина сезонной составляющей емкости водохранилища определяется по формуле:

$$V_{\text{сез}} = \beta_{\text{сез}} \cdot W_0; \quad (55)$$

$$V_{\text{сез}} = 0,3 \cdot 116,8 = 35 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

Полезный объем водохранилища при многолетнем регулировании стока определен в примере: $V_{\text{плз}} = V_{\text{мн}} + V_{\text{сез}} = 49 \cdot 10^6 + 35 \cdot 10^6 = 84 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$

Полный объем водохранилища составит (м³):

$$V_{\text{плн}} = V_{\text{плз}} + V_{\text{умо}} = 84 \cdot 10^6 + 12 \cdot 10^6 = 96 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Полному объему соответствует отметка уровня воды водохранилища, равная 34,3 м (рисунок 46).

3.4 Расчет регулирующего влияния водохранилища на максимальный сток

Задача регулирования состоит в снижении максимальных расходов, сбрасываемых в нижний бьеф. Выполнение поставленной задачи обеспечивается созданием емкости форсировки V_ϕ , находящейся между отметками НПУ и уровнем катастрофического паводка УКП (форсированным – ФПУ).

Расчет производим по упрощенному методу Д. И. Кочерина, в основу которого положены два допущения: гидрограф половодья представляют в виде треугольника и нарастание $q_{сбр}$ происходит по линейному закону. Исходными данными для расчета регулирующего влияния водохранилища являются: гидрограф половодья (паводка), объемная характеристика водохранилища и тип водосбросных сооружений. Конструкция сбросных сооружений – водослив без затворов, отметка гребня водослива совмещена с НПУ (берется из данных расчета сезонного регулирования стока с учетом потерь). К началу половодья водохранилище наполнено до НПУ. Потери на фильтрацию и испарение не учитываются.

График сбросных расходов принимается в виде прямой линии, а величину сбросного расхода $q_{сбр}$ определяют по формуле:

$$q_{сбр} = Q_{\max} \left(1 - \frac{V_\phi}{W_{II}} \right), \quad (56)$$

где Q_{\max} – расчетный максимальный расход, равный в примере 113,4 м³/с (Q_{\max} взят по кривой обеспеченности годовых расходов при $P = 0,01$ % из задания по гидрологии);

W_{II} – объем половодья (паводка), определяемый по формуле:

$$W_{II} = 0,5 Q_{\max} \cdot T, \quad (57)$$

где T – продолжительность паводка в секундах – 86400 сек (для всех вариантов $t_{сут} = 24$);

V_ϕ – емкость форсировки, млн м³.

В примере $W_{II} = 0,5 \cdot 113,4 \cdot 86\,400 \cdot 24 = 117,5$ млн м³.

Схема расчета. 1. Задаются величиной слоя форсировки $h_\phi = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5$ м.

2. Для каждого слоя h_ϕ по кривой зависимости $V = V(H)$ (из рисунка 48) находят величину объема форсировки по формуле.

$$V_\phi = (V_{(НПУ+h_\phi)} - V_{НПУ}) \quad (58)$$

В примере при $h_\phi = 0,5$ м, $V_\phi = V_{31,0} - V_{30,5} = 45,0 - 37,3 = 7,7$ млн м³, где $V_{31,0}$ и $V_{30,5}$ – объемы при отметках 31,0 и 30,5 м.

2. Вычисляют $q_{сбр}$ по формуле (56) и полученные значения заносят в таблицу 32. Строят график сбросных расходов $q_{сбр} = q_{сбр}(h_{сбр})$ (рисунок 49), используя данные таблицы 32.

Таблица 32 – Расчетная таблица характеристик

h_ϕ , м	V_ϕ , МЛН М ³ .	$q_{сбр}$, М ³ /с
0,5	7,7	106
1,0	12,7	102
1,5	17,5	96
2,0	28,5	85
2,5	32,7	82

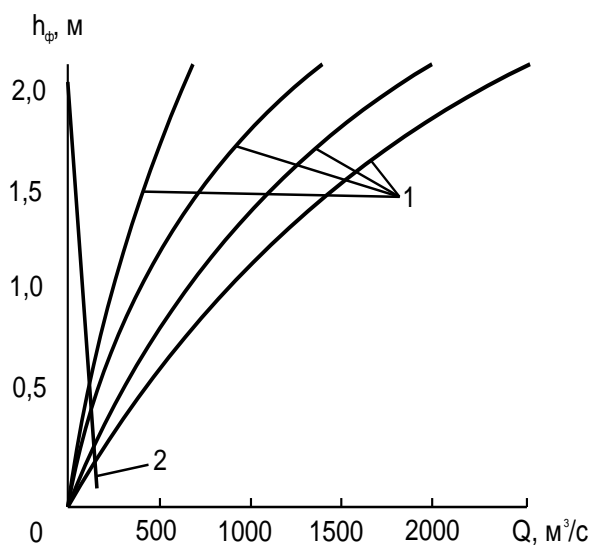


Рисунок 49 – Кривые сбросных расходов:

1) $q_b = q_b(h_\phi)$; 2) $q_{сбр} = q_{сбр}(h_\phi)$

Определяем расходы через водослив с широким порогом (таблица 33), задаваясь различной шириной водослива $b = 100; 200; 300; 400$ м, по формуле:

$$q_s = mb\sqrt{2g} \cdot h_\phi^{\frac{3}{2}}, \quad (59)$$

где m – коэффициент расхода водослива, равный 0,42:

b – ширина водослива, м.

Результаты вычислений заносят в таблицу 33.

Таблица 33 – Расчет расходов через водослив

$h_\phi, \text{ м}$	$q_b, \text{ м}^3/\text{с}$			
	$b = 100 \text{ м}$	$b = 200 \text{ м}$	$b = 300 \text{ м}$	$b = 400 \text{ м}$
0,5	65,4	130,8	196,0	263,0
1,0	185,9	372,2	558,0	744,0
1,5	341,0	683,7	1025,0	1367,0
2,0	525,0	1052,6	1578,0	2104,0

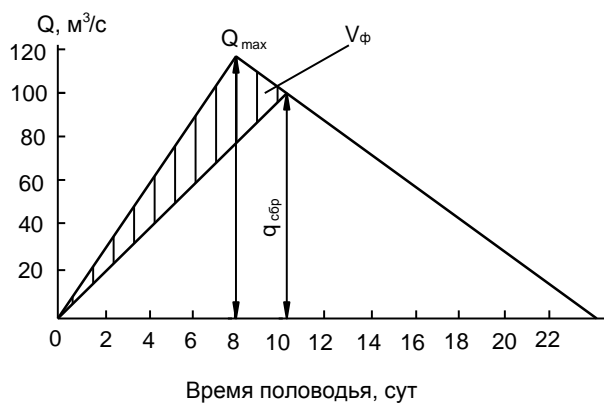


Рисунок 50 – Гидрограф половодья, емкость форсировки

В примере при $h_{\phi} = 0,5$ м $q_{сбр} = 113,4 (1 - 11,5:117,4) = 103,2$ м³/с. Строят кривые зависимости $q_{в} = q_{в}(h_{\phi})$ (рисунок 49) и $q_{сбр} = q_{сбр}(h_{\phi})$. Точки пересечения кривых зависимости $q_{сбр} = q_{сбр}(h_{\phi})$, с кривой $q_{в} = q_{в}(h_{\phi})$ соответствует гидравлически наивыгоднейшему режиму работы водослива. Далее производится технико-экономический расчет общей стоимости гидроузла (для всех точек пересечений из кривых, т. е. при различных значениях h_{ϕ} и $q_{сбр}$). В работе для дальнейшего расчета условно принимают точку пересечения, наиболее близкую по величине к $h_{\phi} \approx 2$ м. В примере $h_{\phi} = 0,625$ м при $b = 100$ м и $q_{сбр} = 100$ м³/с (рисунок 49).

Форсированный подпорный уровень (ФПУ) при $h_{\phi} = 0,625$ м получается: НПУ + $h_{\phi} = 34,3 + 0,625 = 34,925$ м, что соответствует максимальному объему воды в водохранилище 107,5 млн. м³. Строят расчетную схему гидрографа половодья и емкости форсировки (рисунок 50). Для всех вариантов Q_{\max} приходит на восьмые сутки).

3.5 Расчет многолетнего регулирования стока водохранилища графическим методом (расчетно-графическая работа)

В данной работе требуется рассчитать регулирование стока на постоянный расход для создания оптимальных условий работы водохозяйственной установки на протяжении трех характерных лет.

Расчет регулирования стока по хронологическому ряду величин стока выполняется в графической форме с помощью интегральных кривых стока, что дает наглядное представление о процессе его регулирования за длительный период.

Исходными данными для расчета служат величины объемов и соответствующих им отметок воды в водохранилище (таблица 34) и средние месячные расходы реки за три характерных года (таблица 35). Выдаются преподавателем по варианту, например:

а) объемная характеристика водохранилища

Таблица 34 – Исходные данные к построению кривой $V = f(H)$

Отметка горизонта воды верхнего бьефа $H_{вб}$, м	534	567	590	606	621	628	636
Объем воды водохранилища V , млрд. м ³	2	4	6	8	10	12	14

б) бытовые расходы воды

Таблица 35 – Бытовые расходы воды за три характерных года

Водность года	Месячные расходы, м ³ /с											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Многоводный	335	451	450	544	3048	2057	517	457	374	320	309	179
Средний	133	121	456	282	1794	1287	390	271	187	280	199	143
Маловодный	66	60	71	132	874	660	825	116	60	60	83	55

в) отметка НПУ = 620 м, отметка УМО = 580 м (задаются по варианту)

Задание. На основании исходных данных (таблицы 34 и 35) построить график объемной характеристики водохранилища.

Определить мертвый, полезный и полный объемы воды в водохранилище. Построить гидрограф и определить время наполнения, холостых сбросов и сработки водохранилища.

Построить интегральные кривые объемов стока в косоугольных координатах, провести линию зарегулирования.

Построить лучевой масштаб. Определить величину расчетного зарегулированного расхода $Q_{зар}$.

Построить график режима работы водохранилища, позволяющий определять отметку воды в водохранилище на конец каждого месяца регулирования стока.

Объемная характеристика водохранилища. Построение. Определение полезного и мертвого объемов

По таблице 34 исходных данных строится кривая, характеризующая зависимость величины объема воды в водохранилище от изменения уровня воды в верхнем бьефе $W = W(H_{в.б})$ (рисунок 51). С помощью этой кривой определяют величины мертвого, полезного и полного объемов воды в водохранилище согласно заданным отметкам уровня мертвого объема УМО и нормального подпорного уровня НПУ (пункт «в» в исходных данных).

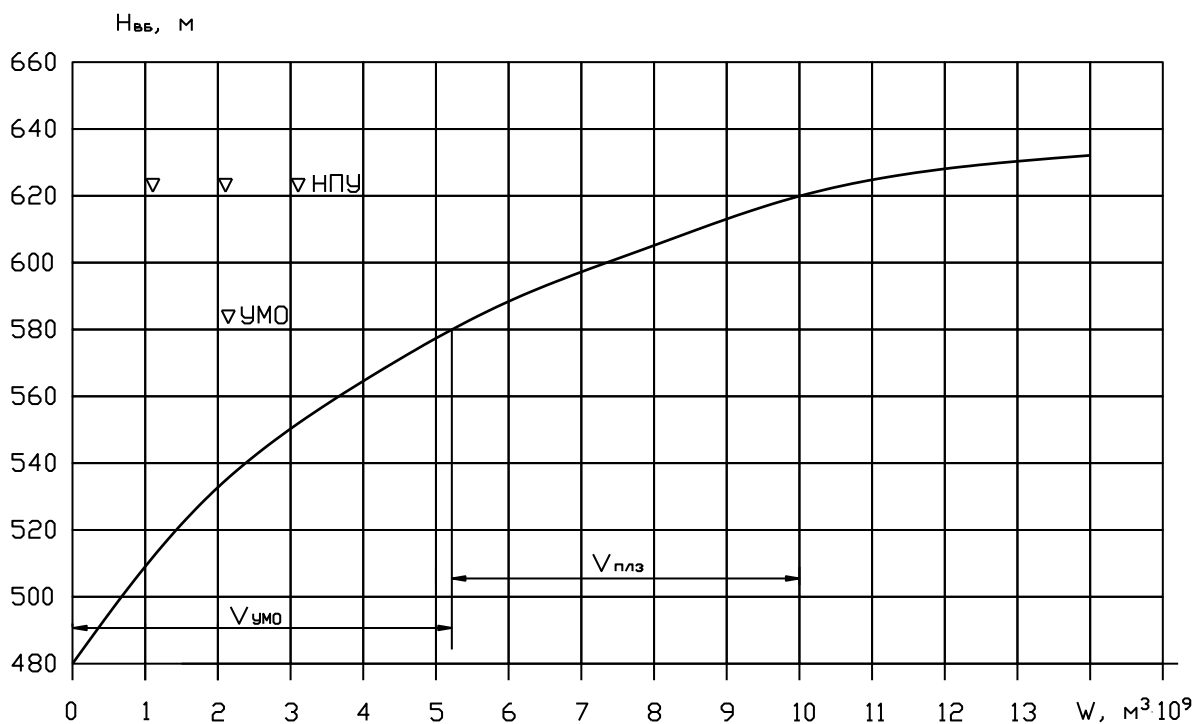


Рисунок 51 – Объемная характеристика водохранилища

Мертвый объем в примере, соответственно отметке 580 м равен $5,2 \cdot 10^9$ м³, полезный объем равен $W_{плз} = 4,8 \cdot 10^9$ м³, полный объем $W_{полн} = 10 \cdot 10^9$ м³.

Расчет регулирования стока графическим методом на постоянный расход

При расчетах многолетнего регулирования в качестве гарантированной отдачи, при сработке водохранилища, определяется величина зарегулированного расхода, которая определяется по маловодному году.

Расчет выполняется по данным расходов воды по трем водохозяйственным годам (маловодному, среднему и многоводному – таблица 35 исходных данных).

Порядок расчета представлен на примере:

а) определение средних годовых расходов воды Q_I , Q_{II} , Q_{III} для каждого водохозяйственного года:

$$Q_I = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{i1}}{12} = 688 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (60)$$

$$Q_{II} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{i2}}{12} = 407 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (61)$$

$$Q_{III} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{i3}}{12} = 381 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (62)$$

где Q_1 , Q_2 , Q_3 – соответственно средние месячные расходы воды за каждый водохозяйственный год, $\text{м}^3/\text{с}$.

б) определение среднего многолетнего расхода:

$$Q_o = \frac{688 + 407 + 381}{3} = 492 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (63)$$

в) определение средних годовых объемов стока за каждый гидрологический год:

$$W_I = Q_I \cdot T = 688 \cdot 31,54 \cdot 10^6 = 21,699 \cdot 10^9 \text{ м}^3; \quad (64)$$

$$W_{II} = Q_{II} \cdot T = 407 \cdot 31,54 \cdot 10^6 = 12,836 \cdot 10^9 \text{ м}^3; \quad (65)$$

$$W_{III} = Q_{III} \cdot T = 381 \cdot 31,54 \cdot 10^6 = 12,02 \cdot 10^9 \text{ м}^3, \quad (66)$$

где T – число секунд в году равно $31,536 \cdot 10^6$.

График бытовых расходов. Построение. Анализ

График бытовых расходов (рисунок 52) строят по исходным данным таблицы 35 на стандартной миллиметровой бумаге, откладывая в масштабе на оси ординат величины бытовых расходов, а на оси абсцисс интервалы (месяцы).

На гидрограф наносится величина зарегулированного расхода $Q_{\text{зар}}$ (см. рисунок 51). Совмещение гидрографов бытовых и зарегулированного расходов дает возможность контролировать правильность выполнения расчета регулирования стока. Этот контроль состоит в сравнении площадей графиков бытовых и зарегулированного

расходов. В интервалах, где бытовые расходы больше зарегулированного, имеет место сброс или наполнение водохранилища, там, где меньше-сработку. времени времени

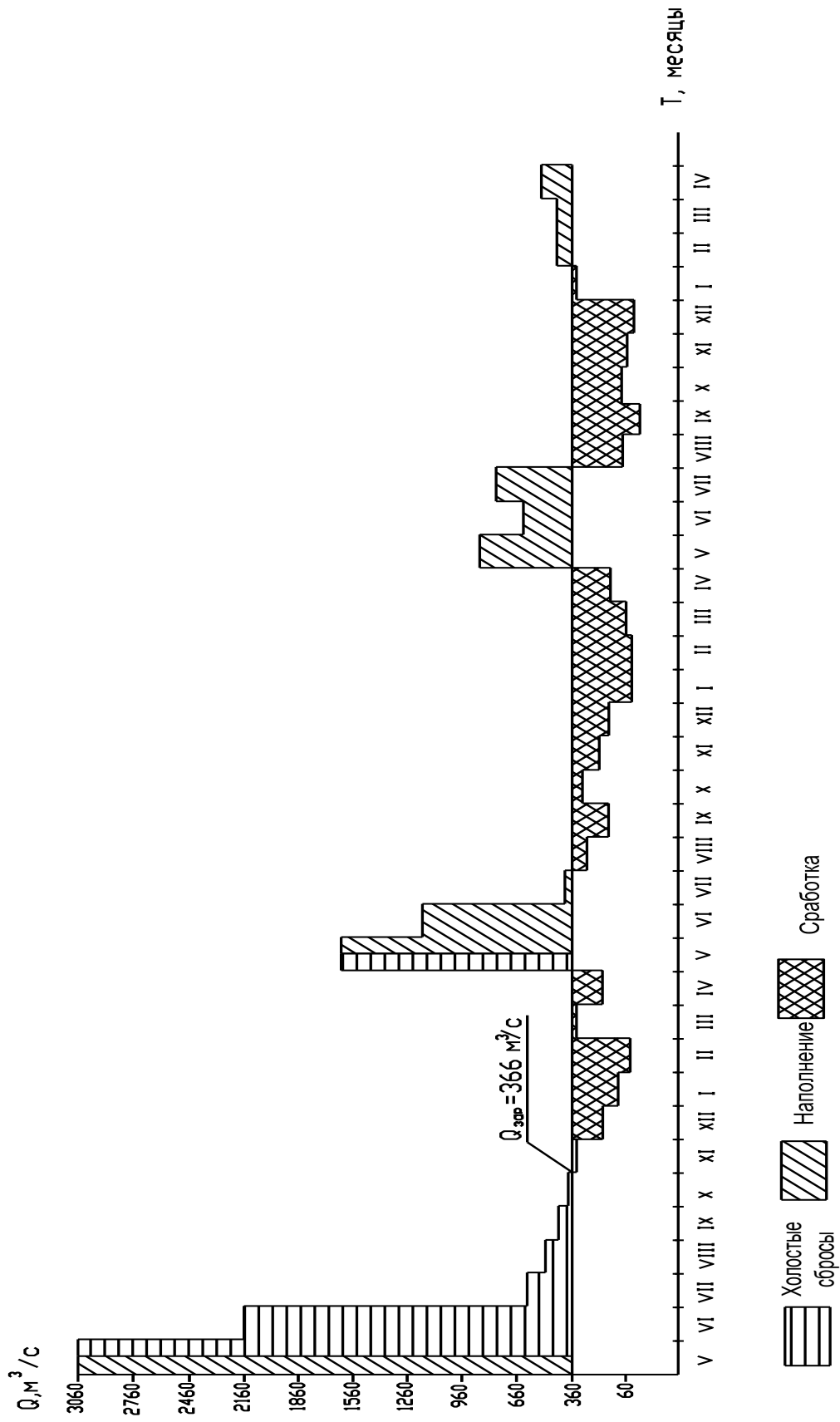


Рисунок 52 – Гидрограф

Расчет интегральной кривой стока

Интегральные кривые объемов стока строятся по расчетным месячным интервалам и величине суммарного стока. Исходными данными для расчета являются средние месячные расходы воды (таблица 35). Пример расчета величин объемов стока для построения интегральной кривой представлен таблицей 36.

Таблица 36 – Расчетные данные к построению интегральной кривой стока

№ п/п	Расчетные интервалы		Средний расход за интервал, Q, м ³ /с	Объем стока за интервал $\Delta W = Q_i \cdot \Delta t \cdot 10^6, \text{ м}^3$	Суммарный сток в конце интервала $W = \Sigma \Delta W \cdot 10^9, \text{ м}^3$
	Месяц	Время, $\Delta t \cdot 10^6, \text{ с}$			
1	2	3	4	5	6
1	V	2,68	3048	8168	8,168
2	VI	2,59	2057	5327	13,496
3	VII	2,68	517	1385	14,831
4	VIII	2,68	457	1224	16,106
5	IX	2,59	374	968	17,075
6	X	2,68	320	857	17,932
7	XI	2,59	309	800	18,733
8	XII	2,68	179	479	19,212
9	I	2,68	133	356	19,569
10	II	2,42	121	292	19,862
11	III	2,68	456	1222	21,084
12	IV	2,59	282	730	21,814
13	V	2,68	1794	4807	26,622
14	VI	2,59	1287	3333	29,955
15	VII	2,68	390	1010	30,965
16	VIII	2,68	271	726	31,692
17	IX	2,59	187	484	32,176
18	X	2,68	280	750	32,926
19	XI	2,59	199	515	33,442
20	XII	2,68	143	383	33,825
21	I	2,68	66	176	34,002
22	II	2,42	60	145	34,147
23	III	2,68	71	190	34,337
24	IV	2,59	132	341	34,679
25	V	2,68	874	2342	37,022
26	VI	2,59	660	1709	38,731
27	VII	2,68	825	2211	40,942
28	VIII	2,68	116	311	41,253
29	IX	2,59	60	155	41,408
30	X	2,68	60	155	41,570
31	XI	2,59	83	214	41,780
32	XII	2,68	55	147	41,038
33	I	2,68	335	897	42,830
34	II	2,42	451	1091	43,920
35	III	2,68	450	1206	45,120
36	IV	2,59	544	1408	46,600

По данным месячных расходов таблицы 35 определены объемы стока W млн m^3 на конец каждого месяца по формуле

$$W = Q \cdot T, \quad (67)$$

где T – число секунд в месяце, принимаемое равным в среднем $2,68 \cdot 10^6$;

Q – расход воды за каждый месяц, m^3/c .

Значения объемов стока W , определенных за каждый месяц, помещены в графе 5 таблицы 36. Суммирование объемов стока воды производят последовательно и записывают в графе 6. Так, за май $W = 8,168 \cdot 10^9 m^3$, за июнь $W = 8,168 + 5,327 = 13,496 \cdot 10^9 m^3$ и т. д. до конца трехлетнего периода.

Построение интегральной кривой стока в косоугольной системе координат.

Линия зарегулирования

Интегральная кривая стока строится по данным суммарного стока воды к концу каждого интервала (графа 6 таблицы 36) в косоугольных координатах. Масштаб объема стока выбирается таким, чтобы полезный объем занимал на чертеже полосу 3–5 см (вертикальная ось). На горизонтальной оси (фиктивной оси времени) указывают расчетные интервалы (в 1 см – 1 мес). Ниже приводится пример построения интегральной кривой стока (рисунок 53).

Проводят горизонтальную линию 0–0, принимая ее за нулевую линию отсчета W стока. На ней указывают расчетные интервалы (месяцы). Затем назначают масштаб вертикальной шкалы, исходя из крайних величин W стока. В данном случае при максимальной величине $W = 46,600$ и минимальной $W = 8,168$ млн. m^3 принят масштаб в 1 см – 1 млн. m^3 . Определяется направление действительной оси времени. Для этого рассчитывают объем стока за любой интервал времени (в примере он взят равным 3 мес):

$$W = Q \cdot 3T = 492 \cdot 3 \cdot 2.59 \cdot 10^6 = 3,8 \cdot 10^9 m^3.$$

Эта величина объема откладывается в конце третьего месяца от начала координат вниз от оси 0–0, полученная точка соединяется линией с началом координат. Направление этой линии будет соответствовать действительной оси времени T_d . Параллельно действительной оси времени проводятся от оси объемов линии, образующие косоугольную сетку. Используя данные таблицы 36 (графа 6), на поле графика (рисунок 53) наносят точки, соответствующие объему стока на конец каждого месяца. Соединением точек прямой линией получается график основной интегральной кривой стока – линии мертвого объема.

Ниже построенной основной интегральной кривой на расстоянии, равном по величине полезному объему водохранилища $W_{плз} = 4,8 \cdot 10^9 m^3$ (рисунок 51, W – объем при НПУ без мертвого объема), проводятся контрольная интегральная кривая и линия зарегулирования. Последнюю начинают из конца маловодного года, так как в этот период назначается конец сработки и начало наполнения водохранилища (точка А – нижняя точка верхней интегральной кривой). Внутри поля, ограниченного линиями интегральных кривых в маловодном году, проводят общую касательную АВ к интегральным кривым (контрольной и основной). Параллельно линии АВ из точек перелома контрольной интегральной кривой, а также начала водохозяйственного года проводят линию зарегулирования и анализируют работу водохранилища. Вправо от точки А водохранилище наполняется (II, III, IV мес) до величины $W = 1,1 \cdot 10^3 m^3$. Для сохранения баланса стока в течение расчетного периода этот объем откладывается в начале координат (отрезок а, равный ed)

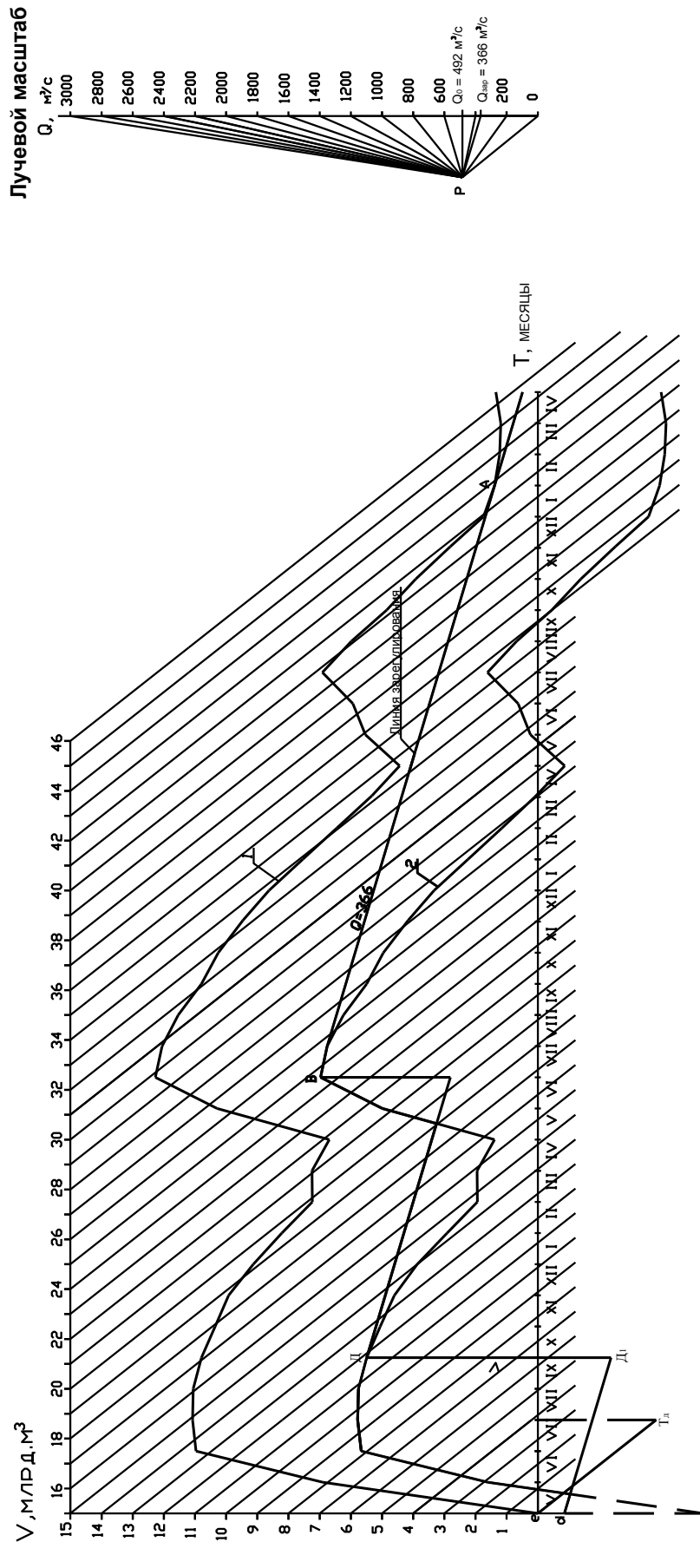


Рисунок 53 – Интегральные кривые стока: 1-основная, 2-контрольная

Из точки d проводится прямая, параллельная АВ. В точке пересечения с контрольной интегральной кривой (точка N) водохранилище наполнено, при этом ордината объема наполнения равна 4,6 млрд. м³, что соответствует в масштабе времени 15 мая. С 15.05 по 30.08 водохранилище работает с отметкой горизонта воды НПУ, равного 620 м, с холостым сбросом, равным объему $W_{x.cбр} = 11,6 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. С 1.09 многоводного года по 15.05 среднего по водности года происходит частичная сработка водохранилища и наполнение до НПУ. С 14.05 по 1.08 объемы превышающие $W_{полз.}$ сбрасываются величиной $W_{x.cбр} = 4,0 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{с}$. 1 июля среднего по водности года до 31 декабря водохранилище срабатывается до УМО (точка А).

Лучевой масштаб. Построение. Определение величины зарегулированного расхода

С помощью лучевого масштаба и интегральных кривых стока определяют величину зарегулированного расхода $Q_{зар.}$. Для построения лучевого масштаба в поле рисунка 53 проводят вертикальную линию – ось расходов (в масштабе гидрографа, рисунок 52). Из точки, соответствующей среднему многолетнему расходу $Q_0 = 492 \text{ м}^3/\text{с}$, восстанавливают перпендикуляр. От начала оси расходов, т. е. при $Q = 0 \text{ м}^3/\text{с}$, проводят линию, параллельную действительной оси времени T_d . Точка пересечения линии T_d с проведенным ранее перпендикуляром к оси расходов при $Q_0=492 \text{ м}^3/\text{с}$ будет началом лучевого масштаба и называется полюсом Р.

Линию зарегулирования АВ переносят в полюс Р, сохранив ее направление. На оси расходов лучевого масштаба откладывается величина зарегулированного расхода $Q_{зар.}$

График режима работы водохранилища. Построение. Анализ.

График режима работы водохранилища (рисунок 54) показывает изменение уровня воды в верхнем бьефе.

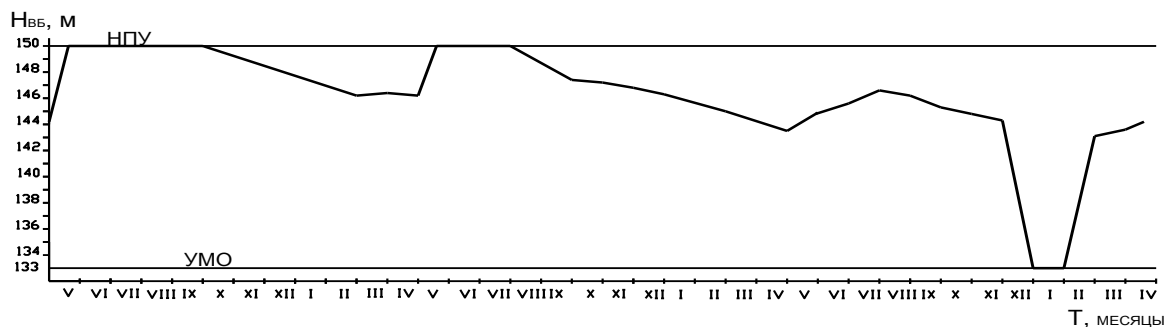


Рисунок 54 – График режима работы водохранилища

Для его построения откладывают величины уровней мертвого объема и НПУ на вертикальной оси (исходные данные) и проводят горизонтальные линии соответственно их отметкам от оси ординат в масштабе объемной характеристики водохранилища (рисунок 51), а время – в месяцах (3 года) по оси абсцисс. Намечаются точки начала и конца наполнения водохранилища. Значения уровней воды в конце каждого месяца в период наполнения и сработки определяют, используя интегральные кривые и объемную характеристику водохранилища. Расстояния по вертикали между интегральной кривой зарегулированного стока (потребление) и основной интегральной кривой в масштабе объемов соответствуют величинам объемов воды в водохранилище в любой момент времени. Откладывают эти объемы, взятые в конце каждого месяца на объемной характеристике в «поле» полезного объема $W_{плз}$ (рисунок 51) до пересечения с кривой объемов $W = W(H_{в.б.})$.

Восстанавливают перпендикуляр от точки пересечения с кривой объемов к оси ординат (рисунок 51), при этом получают значения отметок воды в верхнем бьефе соответственно объемам (эти отметки фиксируют точками на поле графика, рисунок 54). Соединяя эти точки прямой линией, получают график режима работы водохранилища в отметках верхнего бьефа.

Вся графическая часть в пояснительной записке выполняется на миллиметровой бумаге в карандаше. Результаты расчетов курсовой работы представляются на листе ватмана формата А1 в карандаше (приложение 4) или выполненные на компьютере с предоставлением электронной версии(до распечатки).

Пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями к курсовым и дипломным работам. Защита курсовой работы проводится в устной форме ведущему преподавателю с оценкой.

3.6 Методика изучения курса «Регулирование стока»

Задачи и виды регулирования стока. Водохранилища.

Цель темы: Усвоение основных понятий, терминов и задач регулирования стока.

Вначале необходимо понять гидрологический и гидротехнический термин «регулирование стока» и предмет изучения данной дисциплины. Обратите внимание на неравномерность распределения речного стока во времени и по территории; на составляющие водохозяйственного баланса; на требования народного хозяйства на воду.

Изучите классификации видов регулирования стока. Необходимо усвоить понятия расчетной обеспеченности плановой годовой отдачи при регулировании стока.

Далее рассмотрите классификацию водохранилищ и определение основных емкостей и нормативных уровней водохранилища; мертвого объема и его уровня; объема полезного и нормального подпорного уровня (НПУ); объема форсировки и форсированного подпорного уровня (ФПУ); минимальных уровней и санитарных расходов. Разберите порядок водохозяйственного расчета водохранилищ: определение расчетного притока и потребления, построение батиграфических кривых и других характеристик водохранилища. Обратите внимание на экономические затраты при строительстве водохранилищ.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 287–306.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется отдачей из водохранилища?
2. Определение задачи регулирования стока?
3. Что такое суточное регулирование стока?
4. Чем отличается сезонно-годовое регулирование стока от многолетнего?
5. От чего зависит расчетная обеспеченность плановой отдачи?

Потери воды из водохранилища. Заиление водохранилища

Цель темы: Освоение методов расчета потерь воды из водохранилища.

Вначале изучите потери воды на испарение с зоны затопления и подтопления за период, свободный ото льда, и методику учета потерь воды на дополнительное испарение. Затем ознакомьтесь с приближенным учетом фильтрационных потерь воды; обратите внимание на затухание фильтрационных потерь во времени и аккумуляцию воды в подземной емкости водохранилища. Далее рассмотрите потери воды за счет временного оседания льда и покрывающего его снега на береговых откосах при зимней сработки емкости водохранилища. Изучите мероприятия по уменьшению потерь воды на испарение и фильтрацию.

Изучите вопросы заиления водохранилища, составляющие твердого стока, интенсивность заиления и продолжительность работы водохранилища; переработку берегов и мероприятия по уменьшению объема заиления.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 310 – 328.

Вопросы для самопроверки

1. Какие меры применяют для уменьшения потерь стока на дополнительное испарение на небольших водохранилищах?
2. Как приближенно подсчитать потери воды на фильтрацию водохранилища?
3. Как уменьшают фильтрационные потери на небольших водохранилищах?

Общая методика расчета водохранилища. Сезонно-годовое регулирование стока. Многолетнее регулирование стока

Цель темы: Усвоение сущности сезонно-годового и многолетнего регулирования стоком и изучение методов расчета водохранилищ.

Материал этой темы включает типы задач при регулировании стока, прямую и обратную задачи, периоды регулирования и расчетные интервалы времени, выбор начала расчета. Рассмотрите возможные сочетания объемов избыточного стока и дефицитов при двухтактной работе водохранилища. Усвойте варианты правил регулирования (накоплений и сбросов).

Далее подробно разберите графические методы расчета: построение календарных координат, (разностной суммарной кривой, полной суммарной кривой, сокращенной суммарной кривой), основные свойства кривых и область их применения. Обратите внимание на расчет прямой и обратной задач графическим методом.

Далее изучите расчеты по календарным рядам сезонного и многолетнего регулирования стока.

Рассмотрите расчет многолетней и сезонной составляющих при многолетнем регулировании стока.

ЛИТЕРАТУРА: 1, с. 328 – 362.

Вопросы для самопроверки

1. Как определяется полезный объем водохранилища в случае однократной работы; двухтактной работы?
2. Как решается прямая задача – определение емкости при заданных условиях регулирования?
3. Как решить обратную задачу – по заданному полезному объему водохранилищ определить его водоотдачу?
4. Какие существуют правила графического определения полезной емкости водохранилища без учета потерь при различной тактности его работы?

Обобщенные методы расчетов регулирования стока

Цель темы: Освоение вероятного подхода к определению характеристик регулирования стока.

Необходимо ознакомиться со всеми вероятностными методами расчета многолетнего регулирования стока. Особое внимание уделить методу Монте Карло для определения обеспеченности плановой отдачи при заданном полезном объеме.

Изучите метод вероятных вариантов А. Д. Саваренского, выясните как используется формула полной вероятности для построения безусловных кривых обеспеченности наполнений, фактической отдачи и сбросов. Необходимо освоить использование номограмм Г. Г. Сванидзе для определения величины многолетней составляющей полезного объема водохранилища.

1. Как определить многолетнюю составляющую полезной емкости по номограммам Г. Г. Сванидзе?

2. Какова последовательность расчета многолетнего регулирования стока по методу вероятных вариантов?

Отдельные задачи регулирования стока. Трансформация паводочного стока водохранилищем

Изучая регулирование стока на переменные оросительные нормы, обратите внимание на определение многолетней составляющей полезной емкости водохранилища и методику сложения кривых обеспеченностей стока и отдачи.

Затем перейдите к системам водохранилищ. Изучите расчеты компенсирующего регулирования таблично-цифровым и графическим методами.

Важно усвоить и запомнить все необходимые понятия. Ознакомьтесь с каскадным регулированием стока, регулированием стока для борьбы с наводнениями и селевыми потоками.

Переходя к теме «Трансформация паводочного стока водохранилищем», осмыслите задачи регулирования половодного стока и схематизацию расчетных гидрографов во входном створе водохранилища.

Разберите упрощенные методы расчета трансформации паводка. Обратите внимание на пропуск максимальных расходов при различных наполнениях водохранилищ, на особенности упрощенного расчета трансформации максимальных расходов системой и каскадом водохранилищ.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы основные особенности расчета регулирования стока на переменные нормы орошения?
2. Запишите уравнение водного баланса водохранилища.
3. Что называется емкостью форсировки водохранилища?
4. Какие допущения лежат в основе расчетов трансформации паводка методом Кочерина?

Эксплуатация водохранилищ. Изменение природных условий и хозяйственной деятельности человека в зоне влияния водохранилищ

Изучение темы начните с требований государственного законодательства к эксплуатации водохранилищ и основных правил использования водных ресурсов водохранилищ. Разберите основные задачи и составление планов эксплуатации водохранилища.

Особое внимание уделите гидрологическим прогнозам (прогнозным кривым обеспеченности) и диспетчерским графикам.

Рассмотрите службу наблюдений по учету притока и расходования воды, размещение сети станций и постов.

Строительство водохранилищ влечет изменение природных условий и хозяйственной деятельности человека. Ознакомьтесь с методами оценки ущерба народному хозяйству, вызванного созданием водохранилища (компенсационные затраты). Рассмотрите основные понятия технико-экономических расчетов.

Вопросы для самопроверки

1. Как используются диспетчерские графики?
2. Перечислите основные задачи службы эксплуатации водохранилищ.
3. Каков порядок утверждения основных правил использования водных ресурсов при комплексном их использовании?
4. Какие изменения природных условий и хозяйственной деятельности связаны с созданием водохранилищ?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А1 -- Ординаты кривых биномиальной ассиметричной кривой
обеспеченности $C_s = 2C_v$

Обеспеченность (P), проценты																			
C_v	0,01	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99
0,05	1,192	1,162	1,120	1,096	1,084	1,064	1,042	1,033	1,036	1,042	0,999	0,986	0,974	0,966	0,958	0,936	0,920	0,908	0,888
0,06	1,241	1,197	1,145	1,116	1,101	1,077	1,050	1,039	1,031	1,014	0,999	0,983	0,968	0,959	0,949	0,924	0,904	0,890	0,867
0,07	1,285	1,232	1,171	1,136	1,118	1,090	1,058	1,046	1,036	1,016	0,998	0,980	0,962	0,952	0,941	0,911	0,889	0,873	0,846
0,08	1,324	1,268	1,196	1,156	1,136	1,104	1,067	1,052	1,040	1,018	0,998	0,978	0,956	0,945	0,932	0,899	0,873	0,856	0,824
0,09	1,372	1,303	1,221	1,176	1,153	1,117	1,074	1,058	1,045	1,020	0,997	0,975	0,951	0,938	0,924	0,886	0,858	0,838	0,803
0,10	1,416	1,338	1,247	1,196	1,170	1,130	1,083	1,065	1,050	1,022	0,997	0,972	0,945	0,931	0,915	0,874	0,842	0,821	0,782
0,11	1,467	1,377	1,274	1,217	1,188	1,143	1,091	1,071	1,054	1,024	0,996	0,969	0,939	0,924	0,906	0,862	0,827	0,805	0,763
0,12	1,517	1,417	1,302	1,238	1,206	1,157	1,099	1,077	1,059	1,025	0,995	0,965	0,933	0,916	0,898	0,850	0,813	0,789	0,744
0,13	1,568	1,456	1,330	1,260	1,224	1,170	1,107	1,083	1,063	1,027	0,994	0,962	0,927	0,909	0,890	0,838	0,798	0,783	0,726
0,14	1,618	1,496	1,357	1,281	1,242	1,184	1,115	1,089	1,068	1,028	0,993	0,958	0,921	0,902	0,881	0,826	0,784	0,757	0,707
0,15	1,669	1,535	1,384	1,302	1,260	1,197	1,124	1,096	1,072	1,030	0,992	0,955	0,916	0,894	0,872	0,814	0,769	0,740	0,688
0,16	1,720	1,574	1,412	1,323	1,278	1,210	1,132	1,101	1,076	1,032	0,990	0,952	0,910	0,887	0,864	0,802	0,754	0,724	0,669
0,17	1,770	1,614	1,440	1,344	1,296	1,224	1,140	1,108	1,081	1,033	0,989	0,948	0,904	0,880	0,856	0,790	0,740	0,708	0,650
0,18	1,821	1,653	1,467	1,366	1,314	1,237	1,148	1,114	1,085	1,035	0,988	0,945	0,898	0,873	0,847	0,778	0,725	0,692	0,632
0,19	1,871	1,693	1,494	1,387	1,332	1,251	1,156	1,120	1,090	1,036	0,987	0,941	0,892	0,865	0,838	0,766	0,711	0,676	0,613
0,20	1,922	1,732	1,522	1,408	1,350	1,264	1,164	1,126	1,094	1,038	0,986	0,938	0,886	0,858	0,830	0,754	0,696	0,660	0,594
0,21	1,981	1,778	1,552	1,431	1,369	1,278	1,172	1,132	1,098	1,039	0,984	0,934	0,880	0,851	0,822	0,743	0,683	0,646	0,578
0,22	2,041	1,823	1,582	1,454	1,388	1,291	1,179	1,137	1,102	1,040	0,983	0,930	0,873	0,843	0,813	0,731	0,670	0,631	0,562
0,23	2,100	1,869	1,613	1,476	1,407	1,304	1,187	1,142	1,105	1,041	0,981	0,926	0,857	0,836	0,804	0,720	0,657	0,617	0,547
0,24	2,159	1,914	1,643	1,49	1,426	1,318	1,194	1,149	1,109	1,042	0,980	0,922	0,861	0,828	0,796	0,708	0,644	0,603	0,531
0,25	2,218	1,960	1,674	1,522	1,445	1,332	1,202	1,154	1,113	1,043	0,978	0,918	0,854	0,821	0,788	0,697	0,630	0,588	0,515
0,26	2,278	2,006	1,704	1,545	1,464	1,345	1,210	1,160	1,117	1,044	0,976	0,914	0,848	0,814	0,779	0,686	0,617	0,574	0,499
0,27	2,337	2,051	1,734	1,568	1,483	1,358	1,217	1,166	1,121	1,045	0,975	0,910	0,842	0,806	0,770	0,674	0,604	0,560	0,483
0,28	2,396	2,097	1,764	1,590	1,502	1,372	1,225	1,172	1,124	1,046	0,973	0,906	0,836	0,799	0,762	0,663	0,591	0,546	0,468
0,29	2,456	2,142	1,795	1,613	1,521	1,386	1,232	1,177	1,128	1,047	0,972	0,902	0,829	0,791	0,754	0,651	0,578	0,531	0,452

Продолжение таблицы А1

Обеспеченность (P), проценты																			
C_v	0,01	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99
0,30	2,515	2,188	1,825	1,636	1,540	1,399	1,240	1,183	1,132	1,048	0,970	0,898	0,823	0,784	0,745	0,640	0,565	0,517	0,436
0,31	2,584	2,239	1,858	1,660	1,560	1,413	1,247	1,188	1,135	1,048	0,968	0,893	0,817	0,776	0,736	0,629	0,553	0,504	0,423
0,32	2,662	2,290	1,891	1,683	1,579	1,426	1,254	1,193	1,138	1,048	0,966	0,889	0,810	0,769	0,727	0,618	0,542	0,492	0,410
0,33	2,711	2,340	1,924	1,707	1,599	1,440	1,262	1,198	1,142	1,048	0,963	0,884	0,804	0,761	0,718	0,608	0,530	0,480	0,396
0,34	2,789	2,391	1,957	1,730	1,618	1,454	1,269	1,203	1,145	1,048	0,961	0,880	0,798	0,754	0,709	0,597	0,518	0,467	0,383
0,35	2,858	2,442	1,990	1,754	1,638	1,468	1,276	1,208	1,148	1,048	0,959	0,875	0,792	0,746	0,700	0,586	0,506	0,454	0,370
0,36	2,926	2,493	2,024	1,778	1,658	1,481	1,283	1,212	1,151	1,048	0,957	0,870	0,785	0,738	0,692	0,575	0,495	0,442	0,357
0,37	2,994	2,544	2,057	1,801	1,677	1,495	1,290	1,217	1,154	1,048	0,955	0,866	0,779	0,731	0,683	0,564	0,483	0,430	0,344
0,38	3,063	2,594	2,090	1,825	1,697	1,509	1,298	1,222	1,158	1,048	0,952	0,861	0,773	0,723	0,674	0,554	0,471	0,417	0,330
0,39	3,132	2,645	2,123	1,848	1,716	1,522	1,305	1,227	1,161	1,048	0,950	0,857	0,766	0,716	0,665	0,543	0,460	0,404	0,317
0,40	3,200	2,696	2,156	1,872	1,736	1,536	1,312	1,232	1,164	1,048	0,948	0,852	0,760	0,708	0,656	0,532	0,448	0,392	0,304
0,41	3,278	2,753	2,192	1,897	1,756	1,549	1,319	1,236	1,167	1,048	0,945	0,847	0,753	0,701	0,648	0,522	0,437	0,382	0,294
0,42	3,356	2,810	2,227	1,923	1,776	1,563	1,325	1,241	1,169	1,047	0,942	0,842	0,746	0,693	0,640	0,513	0,427	0,371	0,284
0,43	3,433	2,867	2,262	1,948	1,797	1,576	1,332	1,246	1,172	1,047	0,939	0,837	0,739	0,686	0,631	0,503	0,416	0,361	0,275
0,44	3,511	2,924	2,298	1,974	1,817	1,590	1,338	1,250	1,174	1,046	0,936	0,832	0,732	0,678	0,623	0,494	0,406	0,350	0,265
0,45	3,589	2,981	2,334	1,999	1,837	1,603	1,345	1,254	1,177	1,046	0,933	0,828	0,726	0,671	0,615	0,484	0,395	0,340	0,255
0,46	3,667	3,035	2,369	2,024	1,857	1,616	1,352	1,259	1,180	1,046	0,930	0,823	0,719	0,664	0,607	0,474	0,384	0,330	0,245
0,47	3,745	3,095	2,404	2,050	1,877	1,630	1,358	1,264	1,182	1,045	0,927	0,818	0,712	0,656	0,599	0,465	0,374	0,319	0,236
0,48	3,822	3,152	2,440	2,075	1,898	1,643	1,365	1,268	1,185	1,045	0,924	0,813	0,705	0,649	0,590	0,455	0,363	0,309	0,226
0,49	3,900	3,209	2,476	2,101	1,918	1,657	1,371	1,272	1,187	1,044	0,921	0,808	0,698	0,641	0,582	0,446	0,353	0,298	0,216
0,50	3,978	3,266	2,511	2,126	1,938	1,670	1,378	1,277	1,190	1,044	0,918	0,803	0,691	0,634	0,574	0,436	0,342	0,288	0,206
0,51	4,065	3,328	2,549	2,152	1,959	1,683	1,384	1,280	1,192	1,043	0,915	0,798	0,684	0,626	0,566	0,428	0,333	0,279	0,198
0,52	4,152	3,390	2,587	2,178	1,980	1,697	1,390	1,284	1,194	1,041	0,912	0,792	0,677	0,618	0,558	0,419	0,325	0,271	0,191

Приложение Б

Таблица Б1 - Ординаты кривых обеспеченности трехпараметрического гамма-распределения при $C_s = 3C_v$

P, %	Коэффициент изменчивости C_v											
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0
0,01	1,46	2,83	4,94	7,70	11,0	12,8	16,8	21,2	23,5	28,4	33,7	36,5
0,05	1,39	2,49	4,09	6,08	8,40	9,65	12,4	15,2	16,8	19,9	23,3	25,1
0,1	1,36	2,35	3,74	5,44	7,37	8,41	10,6	13,0	14,2	16,7	19,4	20,8
0,5	1,28	2,03	2,97	4,06	5,24	5,84	7,1	8,41	9,07	10,4	11,8	12,4
1	1,25	1,90	2,66	3,50	4,41	4,87	5,79	6,74	7,21	8,14	9,07	9,53
5	1,17	1,55	1,95	2,34	2,70	2,88	3,22	3,52	3,66	3,92	4,15	4,26
10	1,13	1,40	1,65	1,87	2,06	2,15	2,30	2,42	2,47	2,55	2,60	2,62
20	1,08	1,23	1,34	1,42	1,47	1,49	1,50	1,49	1,48	1,45	1,40	1,37
30	1,05	1,12	1,15	1,16	1,14	1,13	1,08	1,03	0,997	0,929	0,855	0,818
50	0,997	0,959	0,898	0,823	0,741	0,699	0,614	0,531	0,491	0,415	0,345	0,313
60	0,972	0,890	0,794	0,695	0,597	0,549	0,459	0,377	0,339	0,271	0,212	0,186
70	0,945	0,822	0,696	0,578	0,471	0,422	0,333	0,257	0,224	0,166	0,121	0,102
80	0,915	0,748	0,596	0,465	0,354	0,306	0,224	0,160	0,133	0,090	0,059	0,047
90	0,876	0,656	0,479	0,341	0,235	0,193	0,126	0,078	0,061	0,035	0,019	0,014
95	0,844	0,588	0,400	0,263	0,166	0,129	0,076	0,042	0,030	0,015	0,007	0,004
99	0,786	0,484	0,283	0,158	0,083	0,058	0,027	0,011	0,007	0,002	0,001	0,0004

Таблица Б2 -- Приток Q (м³/с) и потребление q (м³/с) по вариантам к заданию по расчету сезонно-годового регулирования стока

Варианты	Расход воды, м ³ /с	Приток и потребление по месяцам года											
		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	Q	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	2,5	6,7	4,8	1,9	1,7	1,5	1,1
	q	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	2,1	2,1	2,1	0,9
2	Q	2,5	2,2	1,8	1,4	1,2	4,5	12,6	3,5	2,8	2,0	1,8	2,2
	q	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0	5,0	3,0	2,0
3	Q	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	3,2	9,6	2,8	2,5	2,3	1,7	2,0
	q	1,3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,9	2,9	2,9	1,8
4	Q	1,8	1,7	1,3	1,1	1,0	3,8	6,4	4,3	2,2	1,7	1,5	1,7
	q	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3,2	3,2	3,2	1,5
5	Q	3,2	2,8	2,2	1,9	1,7	5,2	15,6	8,9	6,2	4,1	4,0	2,9
	q	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	8,4	3,6	2,0	2,1
6	Q	2,5	2,3	1,9	1,7	1,0	4,5	12,6	8,4	3,6	2,0	2,1	2,3
	q	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	5,2	4,0	4,0	2,1
7	Q	1,5	1,3	1,0	0,7	0,5	3,5	7,0	4,9	1,9	1,7	1,3	1,2
	q	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,0	2,0	1,1
8	Q	2,5	2,3	2,0	1,8	1,6	4,4	9,8	11,5	4,0	3,5	3,0	2,6
	q	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	4,6	4,6	5,0	2,2
9	Q	2,1	1,9	1,4	1,1	2,2	4,6	9,5	6,5	2,8	2,4	2,4	2,0
	q	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	4,6	4,6	3,0	1,8
10	Q	1,8	1,5	1,4	1,1	0,9	2,5	6,6	3,2	2,2	1,6	1,5	1,8
	q	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	2,5	2,5	2,0

Продолжение таблицы Б2

Варианты	Расход воды, м³/с	Приток и потребление по месяцам года											
		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
11	Q	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	3,0	7,2	5,3	2,4	2,2	2,0	1,6
	q	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	2,6	2,6	2,6	1,4
12	Q	3,0	2,7	2,3	1,9	1,7	5,0	13,1	4,0	3,3	2,5	2,3	2,7
	q	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5,5	5,5	3,5	2,5
13	Q	2,6	2,3	2,1	2,0	1,8	3,7	10,1	3,3	3,0	2,8	2,2	2,5
	q	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	3,4	3,4	3,4	2,3	2,3
14	Q	2,3	2,2	1,8	2,6	2,5	4,3	6,9	4,8	2,7	2,2	2,0	2,2
	q	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,7	3,7	3,7	2,0
15	Q	3,7	3,3	2,7	3,4	3,2	5,7	15,6	9,4	6,7	4,6	4,5	3,4
	q	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	7,0	7,0	5,0	5,0	3,0
16	Q	3,0	2,8	3,4	2,2	1,9	5,0	13,1	8,9	4,1	2,5	2,6	2,8
	q	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	1,6	2,6	5,7	5,7	4,5	4,5	2,5
17	Q	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	4,0	8,1	4,8	2,4	2,2	1,8	1,7
	q	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,5	2,5	2,5	1,6
18	Q	3,0	2,8	2,5	2,3	2,1	4,9	10,3	12,0	4,5	4,0	3,5	3,1
	q	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	5,1	5,1	4,5	4,5	2,7
19	Q	2,6	2,4	1,9	1,6	2,7	5,1	10,0	7,0	3,3	2,9	2,7	2,5
	q	2,3	2,3	2,3	2,3	2,7	2,3	2,3	5,1	5,1	3,5	3,5	2,3
20	Q	3,3	2,0	1,9	1,6	1,4	3,0	7,1	3,6	2,7	2,3	2,1	2,3
	q	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	3,0	3,0	2,5	2,5

Продолжение таблицы Б2

Варианты	Расход воды, м³/с	Приток и потребление по месяцам года											
		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
21	Q	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	3,5	7,7	5,8	2,9	2,7	2,5	2,1
	q	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	3,1	3,1	3,1	1,9
22	Q	3,5	3,2	1,8	2,4	2,2	5,5	13,6	4,5	3,8	3,9	2,8	3,2
	q	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	4,0	4,0	3,0
23	Q	3,1	2,8	2,6	2,5	2,3	4,2	10,6	3,8	3,5	3,3	2,7	3,0
	q	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3,9	3,9	3,9	2,8	1,8
24	Q	2,8	2,7	2,3	2,1	2,0	4,8	7,4	3,5	3,2	2,7	2,5	2,7
	q	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4,2	4,2	4,2	2,5
25	Q	4,2	3,8	3,2	2,9	2,7	6,2	16,6	9,9	7,2	5,1	5,0	3,9
	q	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	7,5	5,5	5,5	3,5
26	Q	3,5	3,3	2,9	2,7	2,4	5,5	13,6	9,4	4,6	3,0	3,1	3,3
	q	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	6,2	6,2	5,0	5,0	3,1
27	Q	2,5	2,3	2,9	1,7	1,5	4,5	8,0	5,3	2,9	2,7	2,3	3,2
	q	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	3,0	3,0	3,1
28	Q	3,5	3,3	2,0	2,8	2,6	5,4	10,8	12,5	5,0	4,5	4,0	3,6
	q	2,2	3,2	2,2	3,2	3,2	3,2	3,2	5,6	5,6	6,0	6,0	3,2
29	Q	3,1	2,9	2,4	2,1	2,8	5,6	10,5	7,5	3,8	3,4	3,2	3,0
	q	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	5,6	5,5	4,0	4,0	2,8
30	Q	2,8	2,5	2,4	2,1	1,9	3,5	7,6	4,2	3,2	2,8	2,6	2,8
	q	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	3,5	3,5	3,0	3,0

Приложение В

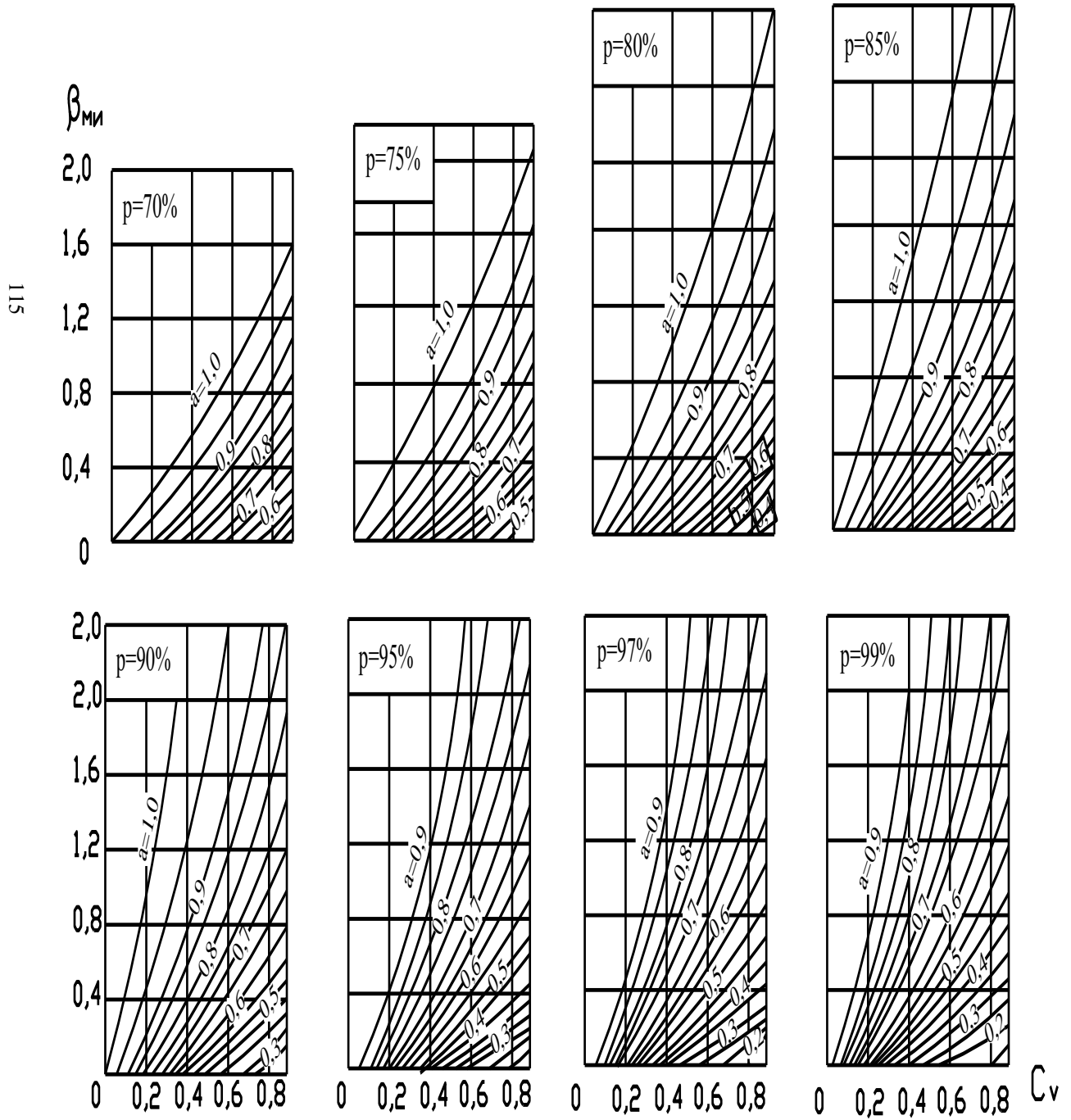


Рисунок В1 – Графики зависимости:
 $\beta_{ми} = f(C_v, r, \alpha)$; $C_S = 2C_v$; $r = 0$; $\beta = f(C, r, \alpha)$.

Приложение Г

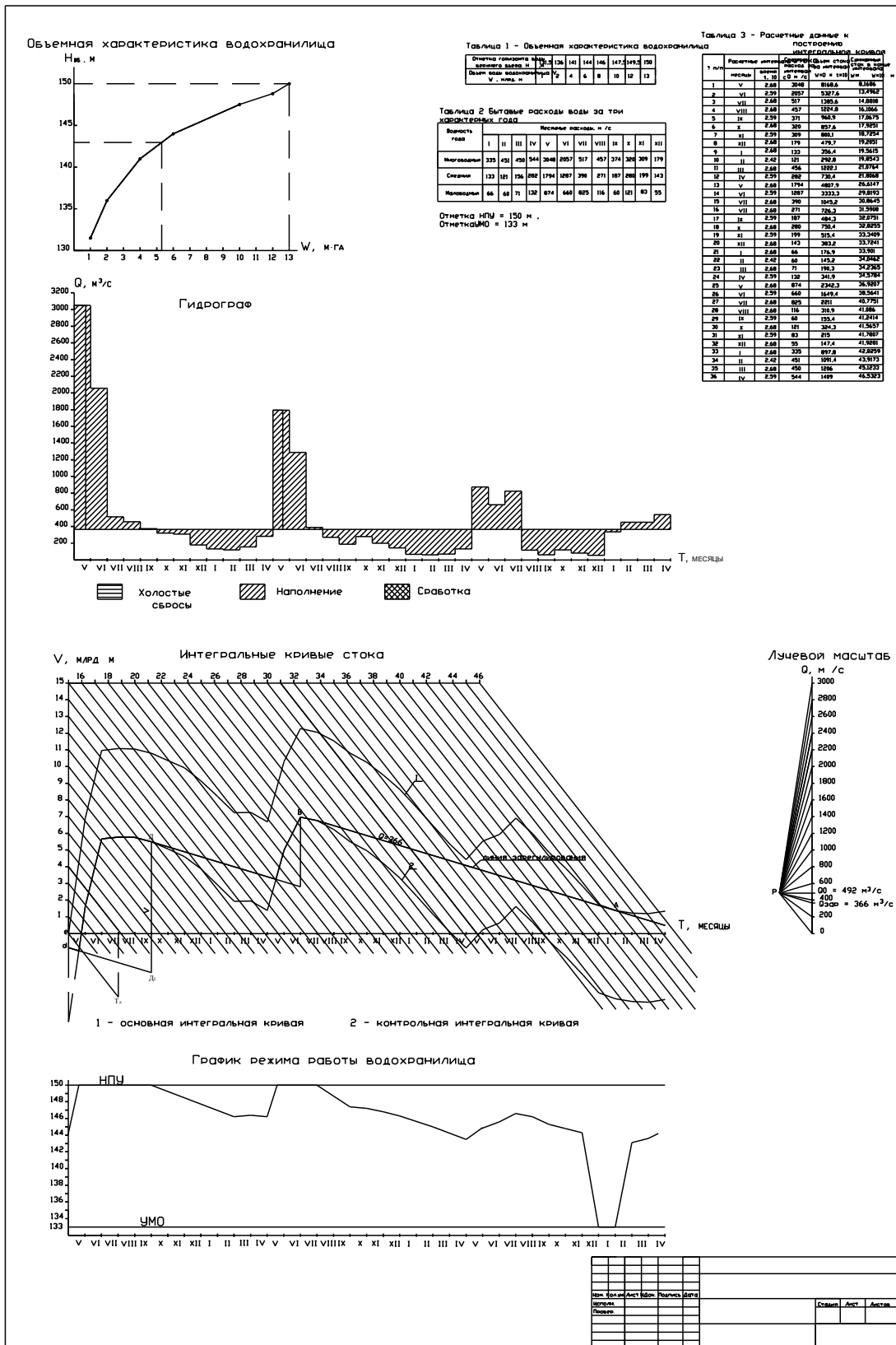


Рисунок Г1 -- Образец выполнения курсовой работы по регулированию стока (выполнение на листе формата А1)

Приложение Д

Таблица Д1 -- Величины обеспеченности, рассчитанные по формуле $P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$

№ п/п	Число лет													
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	35
1	9,1	7,7	6,7	5,9	5,3	4,8	4,4	4	3,7	3,4	3,2	3	2,9	2,8
2	18,2	15,4	13,3	11,8	10,5	9,5	8,7	8	7,4	6,9	6,4	6,1	5,6	5,6
3	27,3	23,1	20	17,6	15,8	14,3	13	12	11,1	10,3	9,7	9,1	8,6	8,3
4	36,4	30,8	26,7	23,5	21	19	17,4	16	14,8	13,8	12,9	12,1	11,4	11,1
5	45,4	38,5	33,3	29,4	26,3	23,8	21,7	20	18,5	17,2	16,1	15,2	14,3	13,9
6	54,6	46,2	40	35,3	31,6	28,6	26,1	24	22,2	20,7	19,4	18,2	17,1	16,7
7	63,6	53,8	46,7	41,2	36,8	33,3	30,4	28	25,9	24,1	22,6	21,2	20	19,4
8	72,7	61,5	53,3	47,1	42,1	38,1	34,8	32	29,6	27,6	25,8	24,2	22,9	22,2
9	81,8	69,2	60	52,9	47,4	42,9	39,1	36	33,3	31	29	27,3	25,7	25
10	90,9	76,9	66,7	58,8	52,6	47,6	43,5	40	37	34,5	32,3	30,3	28,6	27,8
11		84,6	73,3	64,7	57,9	52,4	47,8	44	40,7	37,9	35,5	33,3	31,4	30,6
12		92,3	80	70,6	63,2	57,1	52,2	48	44,4	41,4	38,7	36,4	34,3	33,3
13			86,7	76,5	68,4	61,9	56,5	52	48,2	44,8	41,9	39,4	37,1	36,1
14			93,3	82,4	73,7	66,7	60,9	56	51,8	48,3	45,2	42,4	40	38,9
15				88,2	79	71,4	65,2	60	55,6	51,7	48,4	45,4	42,9	41,7
16				94,1	84,2	76,2	69,6	64	59,3	55,2	51,6	48,5	45,7	44,4
17					89,5	81	73,9	68	63	58,6	54,8	51,5	48,6	47,2

Продолжение таблицы Д1

п/п	Число лет													
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	35
18					94,7	85,7	78,3	72	6,7	62,1	58,1	54,6	51,4	50
19						90,5	82,6	76	70,4	65,5	61,3	57,6	54,3	52,8
20						95,2	87	80	74,1	69	64,5	60,6	57,1	55,6
21							91,3	84	77,8	72,4	67,7	63,6	60	58,3
22							95,6	88	81,5	75,9	71	66,7	62,9	61,1
23								92	85,2	79,3	74,2	69,7	65,7	63,9
24								96	88,9	82,8	77,4	72,7	68,6	6,7
25									92,6	86,2	80,6	75,8	71,4	69,4
26									96,3	89,7	83,9	78,8	74,3	72,2
27										93,1	87,1	81,8	77,1	75
28										96,6	90,3	84,8	80	77,8
29											93,6	87,9	82,9	80,6
30											9,8	90,9	85,7	83,3
31												93,9	88,6	86,1
32												97	91,4	88,9
33													94,3	91,7
34													97,1	94,4
35														97,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г. В. Железняков, Е. Е. Овчаров Инженерная гидрология и регулирование стока : Учебник. – М. : Колос, 1993.
2. Практикум по гидрологии и регулированию стока / Состав. : Н.П. Дьяченко, И. Н. Папенко – Краснодар, 2008. – 151 с.
3. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока : Учеб. пособие / Е. Е. Овчаров, Н. Н. Захаровская, И. В. Прошляков и др. – М. : Агропромиздат, 1988. – 222 с.
4. **Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.** – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 35 с.
5. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г. В. Железняков, Т. А. Неговская – М. : Колос, 1984. -- 431 с.
6. Гидрология и регулирование стока./ А. Н. Иванов, Т. А. Неговская – М. : Колос, 1979. -- 157 с.
7. Гидрометрия./ В. Д. Быков, А. В. Васильев — Л. : Гидрометеиздат, 1975.
8. Сборник задач по гидрометрии, инженерной гидрологии и регулированию стока. / В. В. Большакова, А. Н. Иванов — М. : Высшая школа, 1975. -- 120 с.
9. Плешков Я. Ф. Регулирование речного стока. -- Л. : Гидрометеиздат, 1980. -- 257 с.
10. Лучшева А. А. Практическая гидрометрия. -- Л. : Гидрометеиздат, 1983.-- 430 с.
11. Гидрологические ежегодники.Справочники ОГХ.
- 12.«Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты». Технологии внедрения комплекса. / В. А. Бахтиаров – Л. : Гидрометиздат, 1961. -- 140 с.
13. Учебное пособие по гидрометрии / Состав. : И. Н. Папенко, А. В. Микитюк, П. Ю .Шугай, С. Ю. Абраменко/. – Краснодар : КубГАУ, 2004. – 48 с.
14. Методические указания для практических занятий по гидрометрии / Состав. : И. Н. Папенко, П. Ю .Шугай, А. Е. Хаджиди, А. В. Микитюк. – Краснодар : КГАУ, 2004. – 19 с.
15. «Расчет водохранилища многолетнего регулирования стока графическим методом» : метод. пособие / Состав. : И. Н. Папенко, А. В. Микитюк, О. О. Косенко. – Краснодар : КубГАУ, 2006. – 14 с.
16. «Гидрометрия» : метод. указания / Составители: И. Н. Папенко, А. Е. Хаджиди, Н. И. Терещенко – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 12 с.
17. «Природопользование» : метод. указания / Состав. : И. Н. Папенко – Краснодар : КубГАУ, 2014. – 33 с.

Учебное издание

Папенко Иван Никифорович

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Учебное пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 2016. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. – 7,0. Уч.-изд. л. – 5,5.

Тираж 100 экз. Заказ № .

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13