

Лекция 5. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

5.1. Задачи и состав гидрологических изысканий

5.2. Речная система и ее гидрографические характеристики

5.3. Речной сток и методы его исследования.

5.4. Полевые гидрометрические работы.

5.1. Задачи и состав гидрологических изысканий

К одному из основных видов инженерных изысканий относятся *инженерно-гидрометеорологические*. Они объединяют изучение *гидрологических* и *метеорологических* условий района (участка) строительства. Метеорологические и климатологические характеристики при этом зачастую принимаются по данным гидрометеорологической сети Комитета по гидрометеорологии.

Общая цель гидрологических изысканий состоит в обеспечении проектирования исходными данными для обоснования места, конструкции и параметров объекта, определения условий его эксплуатации, охраны водной и воздушной среды. При этом изучению подлежат: гидрологический режим рек, их устьевых участков и озер; климатические условия и отдельные метеорологические характеристики; гидрометеорологические процессы и явления.

В состав гидрологических изысканий входят следующие виды работ:

- подготовительные – сбор, анализ и обобщение имеющихся данных по режиму водных объектов;
- рекогносцировочные обследования рек и их бассейнов;
- нивелировочные работы на реках и водомерных постах;
- гидрометрические работы – наблюдения за уровнем, расходом, химическим составом воды, за ледовыми явлениями и водной растительностью;
- метеорологические наблюдения;
- изучение гидрометеорологических процессов и явлений, в том числе опасных;
- камеральное определение расчетных гидрографических, гидрологических и других характеристик.

При необходимости могут проводиться специальные исследования: водного баланса территории или объекта; условий формирования стока на эталонных бассейнах малых рек; гидравлических и микроклиматических условий объекта.

Конкретные задачи и состав изысканий зависят от степени изученности территории, вида, класса ответственности и стадии проектирования сооружения. Так, для изученной территории в задачи изысканий на предпроектной стадии входят в основном сбор материалов гидрометеорологической изученности, рекогносцировочное обследование водного объекта и площадки строительства. При этом расчетные гидрологические и метеорологические характеристики получают прямым переносом с репрезентативного поста на объект. В условиях неизученной территории на стадиях проектирования основное внимание уделяется полевым исследованиям и наблюдениям. В этом случае результаты полевых изысканий (гидрометрических, метеорологических и др.) используются для привязки к многолетним рядам наблюдений опорной сети Комитета по гидрометеорологии, что существенно повышает достоверность расчетных характеристик по объекту.

Изученной (по гидрометеорологическим условиям) считается территория при наличии репрезентативного поста или станции, отвечающих следующим условиям:

расстояние до площадки строительства и гидрометеорологические условия позволяют осуществлять перенос в ее пределы значений по каждой из требуемых характеристик режима;

наблюдения ведутся за всеми характеристиками, необходимыми для проектирования объекта;

качество наблюдений отвечает требованиям к достоверности используемых для расчетов данных;

ряды наблюдений гидрологических и метеорологических характеристик являются достаточно продолжительными для установления надежной связи с опорной станцией (постом) района.

Недостаточно изученной является территория, имеющая посты (станции), не отвечающие хотя бы одному из приведенных выше условий.

Неизученной считается территория с отсутствием репрезентативных постов (станций), а также в случаях, когда в формировании гидрологического режима локальные факторы преобладают над зональными.

Общая продолжительность изысканий зависит от времени, требуемого для организации и проведения наблюдений, комплекса полевых работ, гидрологических расчетов и составления технического отчета. Минимальная продолжительность наблюдений за режимом водных объектов и метеорологических элементов составляет годовой период, включающий все полные фазы гидрометеорологического режима. Полевые гидрологические и метеорологические наблюдения выполняются согласно соответствующим "Наставлениям гидрометеорологическим станциям и постам".

При камеральной обработке данных наблюдений точность вычислений не должна превышать точность натуральных измерений. Гидрологические характеристики вычисляются с точностью: уровень воды – до 0,01 м; глубину реки – до 0,05 м; площадь живого сечения – до 1 м²; скорость течения – до 0,01 м/с; температуру воды – до 0,1 °С. Модули стока, уклоны водной поверхности и расходы наносов выражают двумя значащими цифрами, расходы воды – тремя значащими цифрами.

Особое внимание при выполнении изысканий следует обращать на выявление *экстремальных* значений гидрометеорологических характеристик (уровней, расходов воды, осадков и т.д.) за возможно больший период.

В подготовительный период выполняется сбор и ознакомление с имеющимися гидрологическими и климатическими материалами по району изысканий, а также изучается возможность использования материалов наблюдений опорной гидрометрической сети Комитета по гидрометеорологии.

В качестве критерия при назначении величины расчетной характеристики принимается *ежегодная вероятность превышения (обеспеченность)* этой величины, а для процессов – прогнозное их развитие к концу расчетного периода.

При организации полевых гидрологических наблюдений и исследований выполняют *нивелировочные работы*, основными видами которых являются: поперечное и продольное нивелирование рек; нивелирование водомерных постов и гидрометрических устройств.

Важным элементом рекогносцировочных обследований является сбор сведений об *опасных гидрометеорологических явлениях*, имевших место на исследуемом водотоке и его бассейне. К таким явлениям, прежде всего, относят: высокие подъемы и большие спады уровня воды; большое количество и интенсивность атмосферных осадков; большую скорость ветра и др. Данные гидрометеорологические явления считаются опасными при следующих количественных показателях: подъем уровня воды – затопление на глубину более 1 м при скорости течения более 0,7 м/с; дождь – слой осадков более 50; 100; 150; 250 и 400 мм соответственно за периоды 0,5; 2; 4; 9 и 14 суток; ливень – слой осадков более 30 мм за 1 час и менее; ветер – скорость более 30 м/с, при порывах – более 40 м/с.

5.2. Речная система и ее гидрографические характеристики

Речной системой называется совокупность водных потоков, впадающих в одну главную реку, несущую свои воды в океан, море или озеро. Реки, впадающие непосредственно в главную реку, называются притоками первого порядка. В притоки первого порядка впадают

реки, которые являются по отношению к главной реке притоками второго порядка. В последние впадают притоки третьего порядка и т. д.

В каждую реку стекает вода с определенной территории, называемой *речным бассейном* или *водосбором*.

Для выполнения гидрологических расчетов при обосновании проектов гидротехнических сооружений и мелиоративных систем необходимо располагать гидрографическими характеристиками реки и ее бассейна в заданном створе. Такие данные получают в камеральных условиях на основе имеющихся картографических материалов и проведения полевых исследований.

В числе основных гидрографических характеристик речной системы определяют:

- длину основного водотока, его средний уклон и извилистость;
- площадь водосбора, его средний уклон, среднюю ширину, коэффициенты формы и асимметрии водосбора;
- густоту речной сети;
- коэффициенты озерности, заболоченности и лесистости водосбора.

Водосборная площадь (или площадь водосбора) является важнейшей гидрографической характеристикой и представляет собой участок земной поверхности, с которой вода поступает в данную речную систему.

При определении водосборной площади (F , км) для данного створа реки на топографической карте проводят водораздельную линию, проходящую по наиболее высоким отметкам земной поверхности и отделяющую данный водосбор от соседних. Точность определения водосборной площади зависит от масштаба карты, стадии проектирования, класса сооружения и составляет обычно $1/200 - 1/400$. При меньшей точности измерения площади водосбора допускается применение палетки, а при повышенной – ее измеряют планиметром с двойным обводом фигуры водосбора при двух положениях полюса.

Средний уклон водосбора (J_{cp}) определяется как средневзвешенная величина из уклонов i частей его площади f , расположенных между соседними горизонталями.

$$J_{cp} = \frac{i_1 f_1 + i_2 f_2 + \dots + i_n f_n}{\sum f_n}$$

Средняя ширина водосбора (B_{cp}) вычисляется как отношение водосборной площади F к длине основного водотока (реки) L .

Длину реки (L , км) определяют по карте посредством малого (1 – 3 мм) раствора измерителя. Для этого всю длину реки делят на небольшие участки (обычно между устьями впадающих притоков) и измеряют их в прямом и обратном направлениях, не допуская расхождений между результатами более 2 %. При отсутствии мелких извилин реки ее длину допускается измерять с помощью курвиметра.

Средний уклон реки (i , ‰) до гидроствора определяют как отношение разности высот урезов воды в наиболее отдаленной точке речной системы и в створе к длине реки между ними. Разность отметок урезов воды в начале и конце исследуемого участка называют *падением* реки на данном участке. Продольные уклоны рек могут быть определены камерально по карте с имеющимися на ней отметками урезов воды или измерены непосредственно на местности путем нивелирования. При этом следует иметь в виду, что продольный уклон в пределах одной реки может изменяться в пространстве (по ее длине) и во времени (по фазам стока).

Коэффициент извилистости участка реки ($K_{из}$) показывает отношение фактической ее длины с учетом всех извилин на участке к длине прямой линии l , соединяющей начальный и конечный пункты этого участка. В целом для реки среднюю извилистость находят как отношение ее полной длины, измеренной по карте, к сумме отрезков прямых, соединяющих начало и конец однообразно ориентированных участков реки.

Коэффициент формы водосбора (η) отражает степень его вытянутости и определяется как отношение водосборной площади к квадрату длины основного водотока (протяженности водосбора) или отношение средней ширины к длине.

$$\eta = \frac{F}{L^2} = \frac{B_{CP}}{L}$$

Коэффициент асимметрии водосбора K_a выражает степень неравенства площадей левобережной F_l и правобережной F_n , частей водосборной площади относительно течения основного водотока.

$$K_a = \frac{F_l - F_n}{0,5F}$$

Густота речной сети (δ , км⁻¹) отражает удельную длину всех водотоков на единицу водосборной площади.

$$\delta = \frac{L + \Sigma \ell}{F}$$

где $\Sigma \ell$ – суммарная длина всех притоков (>2 км) основного водотока на водосборе, км.

Коэффициенты *озерности* α , *заболоченности* β и *лесистости* γ выражают процент площади водосбора, занятой соответственно озерами f_{O3} , болотами f_B и лесом f_L .

$$\alpha = \frac{f_{O3}}{F} 100\%; \quad \beta = \frac{f_B}{F} 100\%; \quad \gamma = \frac{f_L}{F} 100\%$$

5.3. Речной сток и методы его исследования

Сток рек зависит от комплекса физико-географических факторов, решающая роль в котором принадлежит климатическим условиям. На речной сток оказывают также существенное влияние рельеф бассейна, его почвенно-геологические условия, растительный покров и гидрографические особенности.

К основным климатическим характеристикам, влияющим на речной сток, относятся: осадки, испарение, температура воздуха, влажность воздуха и воздушные течения. Осадки и испарение непосредственно определяют величину стока и его распределение во времени. Другие климатические факторы влияют на сток косвенно, увеличивая или уменьшая осадки и испарение.

Вода стекает в реки по склонам местности. Чем круче эти склоны, тем скорость стекания воды выше, тем меньшее ее количество теряется на испарение и просачивание в грунт.

Почвенно-геологическое строение бассейна определяет возможность фильтрации воды в грунт и характеризует условия стекания ее в реки подземным путем. Легко проницаемые грунты (песчаные, галечниковые и др.) задерживают выпавшие осадки и тем самым уменьшают поверхностный сток. В то же время они способствуют более равномерному питанию реки в течение года за счет увеличения запаса грунтовых вод.

Влияние растительности на речной сток проявляется разнообразно. Травяная растительность уменьшает поверхностный сток за счет большей фильтрации воды в грунт и увеличения потерь воды на испарение и транспирацию. Лес оказывает в большинстве случаев положительное влияние на речной сток; увеличивается количество осадков, уменьшается испарение с почвы, более медленно тают снега и др. Отрицательное влияние леса на сток сказывается в увеличении потерь влаги на транспирацию и испарение с крон деревьев.

На речной сток также оказывают влияние размеры и форма водосборной площади, густота речной сети, наличие озер и болот в бассейне и другие гидрографические особенности.

При изучении водного режима рек и выполнении различных гидрологических расчетов используют следующие основные характеристики речного стока:

1. Расход воды Q , $\text{м}^3/\text{с}$, характеризующий водность реки в интересующем пункте в любой момент времени.

2. Средний расход воды $Q_{\text{ср}}$ – среднеарифметическая величина ежесуточных секундных расходов за определенный период времени (декада, месяц, сезон, год)

$$Q_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{\sum Q_i}{t_{\text{д}}}$$

где $\sum Q_i$ – сумма секундных расходов за все дни рассматриваемого периода;

$t_{\text{д}}$ – число дней в периоде.

Средний расход за месяц называется среднемесячным, за год – среднегодовым и т. п.

3. Объем стока W – объем воды, который стекает с бассейна в реку и протекает по ней в интересующем пункте за определенный период времени

$$W = 86400 Q_{\text{ср}} t_{\text{д}},$$

где 86 400 – число секунд в сутках.

Для объема годового стока формула имеет вид

$$W_{\text{г}} = 31,536 \cdot 10^6 \cdot Q_{\text{ср}},$$

где $31,536 \cdot 10^6$ – число секунд в году (в високосном году $31,622 \cdot 10^6$ с).

4. Высота слоя стока h – высота такого слоя воды, которым можно покрыть площадь бассейна реки выше рассматриваемого пункта, если распластать на ней равномерно весь объем стока за изучаемый период времени:

$$h = \frac{W \cdot 10^3}{F \cdot 10^6} = \frac{W}{1000 F} \text{ мм},$$

где F – площадь бассейна реки, км^2 ;

10^6 – число квадратных метров в квадратном километре;

10^3 – число миллиметров в метре.

5. Коэффициент стока η – отношение высоты слоя стока к высоте слоя осадков P за один и тот же период времени:

$$\eta = \frac{h}{P}$$

6. Модуль стока q – расход воды в л/с, который стекает в реку с каждого квадратного километра площади бассейна,

$$q = \frac{1000 Q_{\text{ср}}}{F} \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2),$$

где 1000 – число литров в 1 м^3 .

7. Норма стока – среднее значение любой из характеристик стока за многолетний период. Норму стока можно выразить в виде среднесноголетних значений расхода воды Q_0 , объема стока W_0 , высоты слоя стока h_0 или модуля стока q_0 .

Среднесноголетнее значение любой характеристики определяется путем деления суммы ее среднегодовых величин на число лет n , по которым устанавливают норму.

Норма стока является главнейшей гидрологической характеристикой водного режима реки. С определения ее величины начинается любой гидрологический расчет при проектировании различных технических сооружений на водных объектах.

Применение того или иного способа определения нормы стока зависит от полноты имеющихся исходных данных. При этом различают три основных расчетных случая:

1– когда имеются данные фактических наблюдений за стоком реки за многолетний период; 2– при наличии данных наблюдений за короткий промежуток времени; 3 – когда данные наблюдений отсутствуют.

Если имеются данные наблюдений за многолетний период, норму стока определяют как среднеарифметическую величину из всех средних годовых значений интересующей ха-

рактические характеристики стока. Когда число лет, охваченных гидрологическим изучением, недостаточно для определения нормы стока с требуемой точностью, прибегают к удлинению имеющегося ряда наблюдений. Для этой цели выбирают поблизости другую реку с многолетним периодом наблюдений, бассейн которой сходен по своим физико-географическим условиям с бассейном рассматриваемой реки.

Нормы стока неизученных рек устанавливают по методу аналогии или по картам изолиний нормы стока.

Основной причиной колебаний годового стока является изменчивость климатических факторов. Поскольку наступление года той или иной водности зависит от большого числа случайных причин, расчет колебаний годового стока ведется по методам математической статистики, основанным на теории вероятности.

В гидрологических расчетах широко используют два понятия математической статистики: *частота* и *обеспеченность*.

Частота показывает, во скольких случаях за рассматриваемый период времени та или иная гидрологическая характеристика реки имела значения в определенных интервалах. *Обеспеченность* показывает, в скольких случаях интересующая характеристика имела значения равные или большие определенной величины.

Частота и обеспеченность гидрологических характеристик может быть выражена графически в виде кривых распределения и обеспеченности. Эти кривые строятся или непосредственно по данным наблюдений (эмпирические кривые), или с использованием закономерностей теории вероятности (теоретические кривые).

Для построения эмпирической кривой обеспеченности необходимо иметь данные наблюдений за период не менее 30–40 лет. При наличии более короткого ряда данных колебания годового стока рассчитывают по теоретической кривой обеспеченности.

Максимальные расходы воды необходимо знать для расчета различных гидротехнических сооружений: мостов, плотин и др. Ошибка в определении максимального расхода может привести либо к разрушению, либо к излишнему удорожанию стоимости сооружения. На большинстве рек СНГ максимальные расходы наблюдаются в период весеннего половодья.

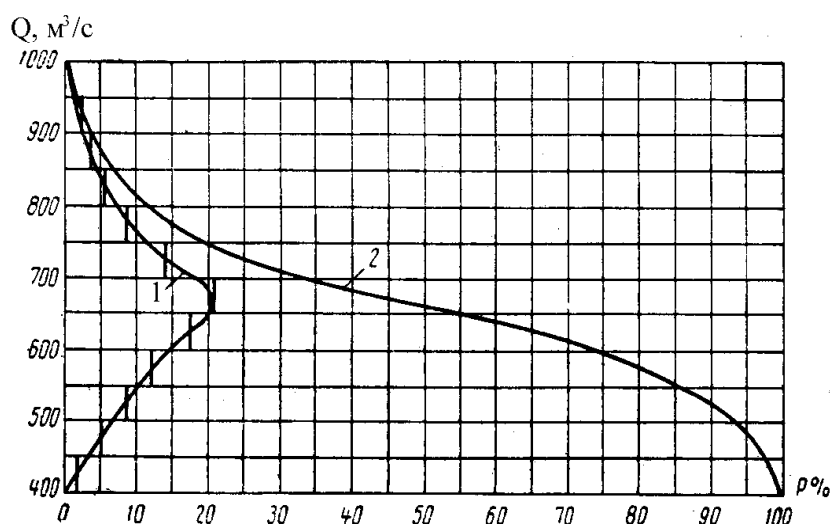


Рис. 5.1. Эмпирические кривые распределения (1) и обеспеченности (2) речного стока.

Размеры сооружений рассчитывают на максимальные расходы определенной обеспеченности. Чем большее производственное значение имеет сооружение, и чем опаснее по-

следствия его разрушения, тем допускается меньшая вероятность превышения расчетного расхода.

Таблица 5.1. Расчетная обеспеченность максимального стока по классам капитальности сооружений

Класс капитальности сооружений	I	II	III	IV
Расчетная вероятность превышения, р, %	0,01	0,1	0,5	1,0

Процент обеспеченности максимальных расходов устанавливают в соответствии с требованиями действующих технических условий по проектированию сооружений. Все постоянные сооружения разбиты по капитальности на четыре класса. Наиболее ответственные сооружения относятся к первому классу капитальности.

При проектировании постоянных сооружений (независимо от их класса), разрушение которых может вызвать катастрофические наводнения, нормами допускается уменьшение расчетной обеспеченности максимального расхода воды до 0,01%.

Временные гидротехнические сооружения следует рассчитывать на максимальный расход обеспеченностью 10%.

5.4. Полевые гидрометрические работы

Основным видом полевых гидрологических изысканий являются *гидрометрические работы*. Они выполняются для привязки данных полевых наблюдений к многолетним рядам наблюдений опорной сети Комитета по гидрометеорологии с целью обоснования расчетных гидрологических характеристик. Поэтому гидрометрические наблюдения должны охватывать максимально продолжительный период, по возможности включая этапы проектирования и строительства.

В состав гидрометрических работ входят:

- организационные мероприятия;
- наблюдения на водомерном посту за уровнем воды, основными метеоэлементами, ледовыми явлениями и водной растительностью;
- изучение химического состава воды;
- промерные русловые работы;
- измерение скоростей и расходов воды, наблюдения за наносами.

Организация гидрометрических работ заключается в выборе места и устройстве водомерного поста и гидрометрических створов, высотной привязке постовых устройств, обучении наблюдателя и оформлении технического дела поста.

Наблюдения за уровнями воды производятся на водомерных постах, которые в зависимости от формы русла и берегов реки устраиваются следующих типов: реечные (с вертикальной и наклонной рейкой), свайные, смешанные, передаточные.

Реечные посты с вертикальной рейкой устраиваются на участках рек с обрывистым берегом при наличии гидротехнических сооружений с таким расчетом, чтобы исключить опасность повреждения рейки плавущими предметами и обеспечить подход к рейке при любой высоте уровня воды. Посты с наклонной рейкой удобно устраивать на искусственном укреплении берегового откоса. Деления наклонной рейки принимаются равными $\lambda / \sin \alpha$, где α – угол наклона рейки к горизонту, а λ – цена деления вертикальной рейки, равная 1 – 2 см.

Свайные посты устраиваются на участках рек с пологим берегом и значительной амплитудой колебаний уровня воды там, где невозможно устройство реечного или передаточного поста. Сваи устанавливаются в створе, перпендикулярном течению реки и нумеруются

сверху вниз. Площадка (головка) верхней сваи должна быть выше наивысшего, а нижней сваи – ниже наинизшего уровня воды в реке на 0,25–0,5 м. Превышение между головками соседних свай принимается около 0,7–0,8 м, а при пологом берегу – 0,2–0,4 м.

На свайных постах целесообразно применение стандартных металлических винтовых свай ПИ-20 многоразового использования. При отсутствии стандартных свай на временных постах применяют деревянные или бетонные сваи, а также отрезки металлических труб. Деревянные сваи диаметром 20 – 25 см забиваются на глубину не менее 1,5 м так, чтобы они углубились не менее чем на 0,5 м в непромерзающий слой грунта. На торфяно-илистых грунтах сваи должны углубляться не менее чем на 0,5 м в подстилающий плотный грунт. В горизонтальные торцы деревянных свай вбиваются гвозди или болты с полусферической шляпкой.

Смешанные посты устраиваются на участках рек, имеющих резкие переломы склонов берегов. В этом случае на крутой части берега устанавливается рейка, а на пологой – сваи. При наличии сооружений, например мостов, уровни меженных вод наблюдают по сваям, а уровни высоких вод – по вертикальной рейке, укрепленной на устой моста.

Передаточные посты устраиваются на участках с высокими крутыми берегами при затруднении подхода к воде, а также при наличии мостов и гидротехнических сооружений. Высота уровня воды на передаточных постах измеряется расстоянием от зафиксированной постоянной точки сооружения (нуля наблюдения) до поверхности воды. Измерения, производятся с помощью размеченного троса с грузом на нижнем конце или удлиненной переносной рейки. Наиболее целесообразным видом передачного поста является применение самописцев уровня воды. Применяются самописцы суточного действия (с ежедневной сменой лент) и длительного (со сменой лент через 2,4,8, 16 и 32 сут).

Наблюдения *за речным стоком* являются одной из основных задач гидрометрических работ и заключаются в определении расходов воды во все характерные фазы стока. В практике гидрологических изысканий применяют следующие методы определения расхода:

– *гидрометрические* – основанные на измерениях площади поперечного сечения и скорости течения водотока (сокращенно "площадь-скорость");

– *гидравлические* – на основе зависимости расхода от элементов потока в мерных устройствах и гидросооружениях;

– *объемные* – непосредственное измерение расхода с помощью мерных емкостей.

Наблюдения *за взвешенными наносами* заключаются в отборе проб воды на мутность с помощью батометров. *Мутностью воды* называют содержание массы взвешенных наносов в единице объема смеси воды с наносами (г/м^3). Общее количество (масса) взвешенных наносов, которое проносится через поперечное сечение реки в единицу времени, называется *расходом взвешенных наносов* (кг/с).