

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. А. Волчек П. С. Лопух Ан. А. Волчек

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Рекомендовано

*Учебно-методическим объединением
по естественно-научному образованию в качестве
учебно-методического пособия для студентов
учреждений высшего образования, обучающихся
по специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология»*

МИНСК
БГУ
2019

УДК 556.5.048(075.8)
ББК 26.222я73
В67

Рецензенты:
доктор технических наук *В. Е. Левкевич*;
доктор технических наук *Б. В. Курзо*

Волчек, А. А.

В67 Гидрологические расчеты : учеб.-метод. пособие / А. А. Волчек, П. С. Лопух, Ан. А. Волчек. — Минск : БГУ, 2019. — 316 с. : ил. ISBN 978-985-566-761-3.

Приводятся методы расчетов основных гидрологических характеристик в гидрометеорологии при наличии, недостаточности и отсутствии данных гидрометрических наблюдений. На примере решения гидрологических задач рассмотрены методы расчета годового стока и его внутригодового распределения, максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков, минимальных расходов воды и наивысших уровней воды рек и озер, построения гидрографов рек.

Для студентов специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология».

УДК 556.5.048(075.8)
ББК 26.222я73

Учебное издание

**Волчек Александр Александрович, Лопух Петр Степанович,
Волчек Анастасия Александровна**
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ
Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *Е. А. Логвинович*. Художник обложки *Т. Ю. Таран*.

Технический редактор *Л. В. Жаборовская*.

Компьютерная верстка *С. Н. Егоровой*. Корректор *Е. И. Бондаренко*

Подписано в печать 12.11.2019. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 18,37. Уч.-изд. л. 20,73. Тираж 85 экз. Заказ 712.

Белорусский государственный университет. Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014. Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие «Издательский центр Белорусского государственного университета». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.

Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.

ISBN 978-985-566-761-3

© БГУ, 2019

ВВЕДЕНИЕ

При определении гидрологических характеристик применяют главным образом методы статистического анализа с использованием законов теории вероятностей и методы гидролого-географического анализа с учетом генезиса стока. Эти методы требуют различной исходной гидрометеорологической информации и наличия гидрографических, морфометрических и других данных. В основе гидрологических расчетов лежат прежде всего гидрометрические данные о стоке воды и количественные характеристики бассейна реки или водоема.

Существует немало различных методов расчета и формул для вычисления гидрологических характеристик. В гидрологии широко используются эмпирические формулы, основанные на обобщении материалов наблюдений, полученных в определенных физико-географических условиях.

Республиканским гидрометеорологическим центром Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь накоплен большой фактический материал по стоку рек, хотя для Беларуси он все же недостаточен. Основные сведения о стоке воды и наносов и об уровнях воды для отдельных пунктов гидрологических наблюдений опубликованы в кадастровых изданиях СССР: «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (МДС)», гидрологические ежегодники, справочники «Ресурсы поверхностных вод СССР», «Материалы по максимальному стоку талых вод рек СССР» (1967), «Материалы по расчетным характеристикам дождевых осадков» (1969), «Материалы по минимальному стоку рек СССР» (1971), «Материалы по максимальному стоку дождевых паводков на реках СССР» (1972), «Каталог отметок наивысших уровней воды рек и озер СССР» (1970).

По состоянию на июнь 2013 г. на территории Беларуси действовали 123 поста на реках и 14 на озерах и водохранилищах, в том числе 36 постов на малых реках с водосборной площадью 600 км² и менее. Наблюдения на гидрологических постах производились: за уровнями и температурой воды, толщиной льда, ледовыми явлениями; на 105 речных постах ведутся наблюдения за стоком воды. На 76 гидрологических постах дополнительно производились метеорологические наблюдения: за осадками, снежным покровом, метеорологическими явлениями. Данные по 70 постам используются при передаче оперативной информации, необходимой для составления гидрологических прогнозов. Эти материалы рекомендуется применять при гидрологическом анализе и расчетах стока.

В дополнение к гидрологическим характеристикам при расчетах нередко используют метеорологические данные об осадках, испарении, температуре

и влажности воздуха, которые можно взять из метеорологических ежемесячников и ежегодников, климатических справочников и других материалов, публикуемых Республиканским гидрометеорологическим центром Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Гидрологические характеристики рассчитывают для решения гидрологических задач в различных отраслях народного хозяйства, особенно при разработке проектов водопотребления и водопользования. Расчеты осуществляют на основании указаний и рекомендаций нормативных документов, издаваемых различными государственными организациями и имеющих республиканское или ведомственное значение. Широкое практическое применение имеет «ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения» (далее – ТКП), посвященный расчетам основных гидрологических характеристик.

Гидрологические расчеты ведут в целях обеспечения:

- коммунально-промышленного водоснабжения (проектирование водозаборов для питьевого, коммунально-бытового, производственного и горно-промышленного водоснабжения, водоснабжения АЭС и ТЭС, противопожарного водоснабжения);

- сельскохозяйственного водоснабжения (питьевое и коммунально-бытовое, водоснабжение животноводческих комплексов, орошение и обводнение).

Характеристики стока и уровни воды определяют:

- при проектировании водохранилищ, прудов и рыбопитомников, мостовых переходов, водопропускных отверстий, наплавных мостов и паромных переправ;

- разработке мероприятий по защите от наводнений, отведении лишней воды с промышленных площадок и аэродромов, проектировании канализационных систем;

- разработке мероприятий по охране вод (расчеты смешения и разбавления сточных вод, очистных сооружений, санитарных расходов воды и выпусков, зон санитарной охраны);

- использовании водных объектов в рекреационных целях;

- разработке водных и водохозяйственных балансов;

- расчете водообмена в водных объектах;

- оценке эксплуатационных запасов подземных вод по данным о речном стоке;

- оценке судоходных условий на реках, проектировании портов и пристаней, расчистке и спрямлении русел рек;

- защите откосов дамб и прибрежных полос от разрушений (размывов).

В учебно-методическом пособии приведены рекомендации к расчетам с учетом:

- 1) наличия данных гидрометрических наблюдений;

- 2) недостаточности данных – путем приведения их к многолетнему периоду по рекам-аналогам с более длинными рядами наблюдений;

- 3) отсутствия наблюдений – косвенными методами: по формулам или картам, основанным на обобщении совокупности данных наблюдений сети гидрологических станций, расположенных в однородном по условиям формирования стока районе с привлечением данных измерений последних лет, или по данным наблюдений рек-аналогов.

При выполнении расчетов производится анализ исходных материалов наблюдений, включающий:

- степени соответствия наблюдаемого режима реки в створе поста естественному ее режиму (анализ факторов, приводящих к нарушению естественного режима реки);
- полноту и надежность наблюдений за уровнем воды (частота наблюдений в периоды половодья и паводков и регистрация высшего уровня воды в эти фазы режима рек);
- причины, обусловившие высокий уровень воды: высокий паводок (половодье), затор или зажор, сброс воды из вышерасположенного водохранилища, прорыв плотины и т. д.;
- полноту учета стока на пойме и притоках в расчетном створе и способ измерений наибольших расходов;
- правильность экстраполяции кривых расходов.

Для избежания ненужных затрат времени и труда и облегчения вычислений необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Точность гидрологических расчетов должна соответствовать заданной точности конечных результатов, необходимых для решения той или иной практической задачи. Производство различного рода расчетов не следует усложнять, если путем применения более простых приемов можно получить результат, удовлетворяющий поставленным задачам.

2. Точность конечных результатов вычислений не должна превышать точности исходных данных. При наличии лишних цифр пользуются правилами округления.

3. При всех промежуточных вычислениях следует оставлять на одну цифру больше того числа, которое отвечает точности конечного результата. Так, например, если должен быть определен расход с точностью до $1 \text{ м}^3/\text{с}$, то все промежуточные вычисления следует производить с точностью до $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Все вычисления должны производиться под непрерывным контролем, который своевременно обнаруживает ошибку. Основной формой контроля должна стать проверка при помощи обратных действий. Важной формой контроля являются повторные вычисления, выполненные другим лицом. Следует отметить, что в гидрологических расчетах и при обработке гидрометрических материалов все бланки имеют две подписи: «составил» и «проверил», причем проверка должна проходить не выборочно, а полностью. Для обеспечения надлежащего контроля исполнитель первичной обработки всегда должен подробно указывать, какие приемы, формулы и методические указания положены в основу.

Максимальный расход воды рассчитывают, как правило, в диапазоне обеспеченностей 0,01 – 10 % (чаще 0,3; 1; 2; 3; 5 и 10 %) в зависимости от поставленных в проекте задач (от класса сооружения). Минимальные расходы воды рассчитывают в диапазоне обеспеченностей 75 – 99 % (чаще 80, 85, 90, 95 и 97 %) в зависимости от типа (класса) водозабора и требуемой бесперебойности подачи воды.

В зависимости от размеров рек и класса сооружения в расчетах рекомендуется использовать мгновенные, срочные или среднесуточные максимальные расходы воды, а при расчетах минимального стока широко используют сред-

ние расходы воды за 30 суток (или среднемесячные) и за одни сутки, а в отдельных случаях – средние расходы за 5, 7 или 10 суток. Уровни воды рассчитывают обычно для обеспеченностей 1, 3 и 5 или 90, 95 и 97 %.

Круг решаемых задач определяется характером водопотребления или водопользования, а также классом (типом) гидротехнического (или водохозяйственного) сооружения. Авторы предлагают разнообразные методы решения гидрологических задач.

В гидрологии преобладают расчеты основных гидрологических характеристик: годового, максимального и минимального стока воды и его внутригодового распределения, максимальных уровней воды. Им в книге уделено основное внимание. Задача издания – показать научно-методические приемы расчетов гидрологических характеристик в соответствии с теоретическими положениями, изложенными в ТКП. Приведены примеры решения задач по определению или расчету основных гидрологических характеристик, помещен дополнительный научный материал, не вошедший в ТКП, но необходимый для выполнения расчетов.

ТКП имеет большой комплект карт, номограмм и таблиц, позволяющих делать расчеты при различном объеме исходной гидрологической информации, в том числе и при ее отсутствии. Исходный фактический и вспомогательный материал для расчетов приведен в полном объеме, так как предназначен для понимания вида и характера данных.

Рекомендации, приведенные в учебно-методическом пособии, обобщают многолетний опыт в области теории и практики гидрологических расчетов, накопленный научно-исследовательскими институтами и проектными водохозяйственными организациями. Методы инженерно-гидрологических расчетов основаны на обработке и анализе данных многолетних наблюдений на сети станций и постов Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и других ведомств.

Для облегчения решения задач разработана компьютерная программа «Гидролог-3» и сформированы базы данных для расчета основных статистических характеристик некоторых гидрологических величин.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	7
1.1. Анализ однородности гидрологических рядов наблюдений.....	8
1.2. Исследование случайности (независимости) элементов выборки.....	22
1.3. Исследование тренда.....	24
1.4. Критерии согласия.....	26
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ НАЛИЧИИ ДАННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	40
2.1. Выбор типа функции распределения.....	40
2.2. Типы распределения.....	43
2.3. Общие указания по оценке выборочных средних коэффициентов вариации и асимметрии, эмпирических функций распределения.....	58
2.4. Расчет неоднородных кривых распределения.....	70
2.5. Особенности определения расчетных гидрологических характеристик для различных видов стока.....	84
2.5.1. Методика расчета годового стока воды рек.....	84
2.5.2. Максимальный сток воды рек весеннего половодья и дождевых паводков.....	88
2.5.3. Среднемеженный сток воды рек.....	93
2.5.4. Минимальный сток воды рек.....	93
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ДАННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	98
3.1. Оценка репрезентативности данных.....	98
3.2. Методы приведения рядов гидрологических характеристик к многолетнему периоду с учетом материалов кратковременных (менее 6 лет) наблюдений.....	100
3.3. Методы приведения рядов гидрологических характеристик к многолетнему периоду при наличии гидрологических наблюдений 6 лет и более.....	104
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	132
4.1. Общие указания.....	132
4.2. Годовой сток воды рек.....	132

4.3. Максимальный сток воды рек.....	136
4.4. Среднемеженный сток воды рек.....	158
4.5. Минимальный сток воды рек.....	159
5. ПОСТРОЕНИЕ ГИДРОГРАФОВ СТОКА.....	164
5.1. Расчет внутригодового распределения стока по данным по сезонам и месяцам при наличии данных гидрологических наблюдений.....	164
5.2. Расчет внутригодового распределения стока по данным по сезонам и месяцам при недостаточности данных гидрологических наблюдений.....	187
5.3. Расчет внутригодового распределения стока по данным по сезонам и месяцам при отсутствии данных гидрологических наблюдений.....	187
5.4. Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков.....	190
6. НАИВЫСШИЕ УРОВНИ ВОДЫ РЕК И ОЗЕР.....	208
6.1. Определение наивысших уровней воды рек и озер при наличии данных гидрометрических наблюдений.....	208
6.2. Определение наивысших уровней воды рек и озер при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.....	236
6.3. Определение наивысших уровней воды рек и озер при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.....	237
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	245
ТЕРМИНЫ И ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	311