

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА ГИДРОЛОГИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия для студентов
учреждений, обеспечивающих получение высшего образования
I степени по специальности 1-74 05 01 Мелиорация и водное
хозяйство*

Горки
БГСХА
2021

УДК 532.5(075.8)
ББК 26.22я73
И62

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета 27.01.2020 (протокол № 5)
и Научно-методическим советом БГСХА 29.01.2020 (протокол № 5)*

Авторы:

доктор географических наук, профессор *А. А. Волчек*;
кандидат технических наук, профессор *П. В. Шведовский*;
кандидат технических наук, доцент *Ан. А. Волчек*;
кандидат технических наук, доцент *Н. Н. Шешко*;
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *В. И. Желязко*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. М. Лукашевич*;
старший преподаватель *И. А. Левиунов*

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Беларуси *М. А. Богдасаров*;
кандидат технических наук, доцент *А. С. Анженков*;
главный инженер РУП «Белгипроводхоз» *А. В. Яцухно*

И62 Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрология транспортных сооружений : учебно-методическое пособие / А. А. Волчек [и др.]. – Горки : БГСХА, 2021. – 151 с.
ISBN 978-985-882-051-0.

Рассмотрены основные аспекты гидрологических расчетов транспортных сооружений и методика прогнозирования характеристик высоких и низких вод для соответствующего класса сооружений в течение периода эксплуатации. Значительное внимание уделено прогнозу влияния дорожно-мостовых и аэродромных сооружений на водотоки, водную среду и прилегающие территории.

Для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования I ступени по специальности 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство.

Пособие может представлять определенный интерес для специалистов в области транспортного и водохозяйственного строительства, гидромелиорации, экологии, преподавателей вузов, аспирантов, магистрантов и студентов специальностей строительства автомобильных дорог, водохозяйственных объектов, а также специальностей, связанных с природопользованием и природообустройством.

**УДК 532.5(075.8)
ББК 26.22я73**

ISBN 978-985-882-051-0

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Данное учебно-методическое пособие включает в себя сведения о гидрологии транспортных сооружений, одного из основных разделов, изучаемых в курсе «Инженерная гидрология и регулирование стока».

Развитие и совершенствование транспортной сети – одна из главных задач народного хозяйства любой страны. Мостовые переходы и другие водопропускные сооружения, являясь сложными и дорогими объектами, находятся в тяжелых условиях эксплуатации. Именно их надежность, как правило, определяет эффективность и бесперебойность работы транспортной сети. Воздействие воды на полотно дороги, ее основание, сооружения дорожного водоотвода, водопропускные трубы и мосты представляет одну из главных причин нарушения условий нормальной эксплуатации. Еще более высокие требования предъявляются к взлетно-посадочным полосам аэропортов.

Каждый из перечисленных объектов в течение длительного срока эксплуатации подвергается многократному воздействию водных потоков в широком диапазоне изменения их водности, начиная с полного пересыхания и кончая наводнениями и паводками. Как правило, для дорожных сооружений самыми опасными являются водные потоки в периоды паводков и половодий. Пучинообразование и вызываемая им резкая потеря несущей способности основания земляного полотна дороги наиболее интенсивны при высоких уровнях грунтовых вод. Перелив через насыпи, кюветы, лотки может вызвать многоводные потоки при таянии снега и интенсивных дождях. В период высоких половодий возможен размыв укрепленных участков русел и подмыв мостовых опор, затопление подходов к мостам и пролетных строений.

Изучая настоящий курс, будущий инженер должен овладеть методикой прогнозирования характеристик высоководных потоков, методами расчета сооружений на них на основе глубокого понимания физики природных и техногенных явлений и процессов.

Роль и место гидрологии в проектировании и строительстве автомобильных дорог, их связь со смежными дисциплинами можно продемонстрировать на примере самого распространенного сооружения – дорожной водопропускной трубы или малого моста. Как показывает статистика, в среднем на каждый километр дороги приходится одно такое сооружение.

Уже на первых этапах проектирования, наметив варианты трассы дороги, определяют тип водопропускных сооружений на пересечениях

с водотоками: дорожная труба, малый или средний мост, мостовой переход. Исходный материал при этом обеспечивает гидрология.

С помощью изысканий методами гидрометрии обеспечиваются измерения потоков в местах их пересечения с трассой дороги, глубины, ширины по свободной поверхности, скорости течения, т. е. определяется водность реки – ее расход. Эти данные, дополненные многолетними наблюдениями на гидрометрических постах, составляют исходный материал детальных гидрологических расчетов. На этом этапе положения *гидрологии* позволяют определить расчетные характеристики водотоков, т. е. предельно допустимые для данного класса сооружений в течение периода эксплуатации.

Гидрологическое обоснование дает исходную информацию для гидравлических расчетов, что определяет технологию и сроки возведения сооружений; прогноз гидрологических характеристик позволяет учесть особенности эксплуатации, например, при пропуске льда и т. д.

Следует отметить роль гидрологии транспортных сооружений в обеспечении обратной связи, т. е. прогноза влияния дорожно-мостовых и аэродромных сооружений на водотоки, водную среду и прилегающие территории. Такой прогноз позволяет оценить негативные последствия и принять меры по их ограничению и предотвращению.

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.

В настоящее время предложено большое количество 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.

В настоящее время Республиканский гидрометеорологический центр Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь публикует гидрологические ежегодники по рекам и озерам, на которых ведутся наблюдения. На территории Беларуси действуют около 100 постов на реках. В том числе 36 постов действуют на малых реках с водосборной площадью 600 км² и менее. Наблюдения на гидрологических постах производятся за уровнями и

температурой воды, толщиной льда, ледовыми явлениями. На некоторых гидрологических постах дополнительно производятся метеорологические наблюдения за осадками, снежным покровом, метеорологическими явлениями. Эти материалы можно использовать при гидрологическом анализе и расчетах стока. К настоящему времени накоплен большой фактический материал по стоку рек, хотя для Беларуси он все же недостаточен.

Гидрологические характеристики рассчитывают для решения различных задач. Расчеты ведут обычно на основании указаний и рекомендаций, приведенных в нормативных документах, издаваемых различными государственными организациями и имеющих республиканское или ведомственное значение. Широкое применение имеет «ТКП 45-3.04-168-2009(02250) Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения», посвященный расчетам основных гидрологических характеристик.

Во всех случаях выполнения расчетов следует произвести анализ исходных материалов наблюдений, который включает проверку:

1) степени соответствия наблюдаемого режима реки в створе поста естественному ее режиму (отсутствие или наличие в русле реки или на водосборе искусственных сооружений, приводящих к нарушению естественного режима реки);

2) полноты и надежности наблюдений за уровнем воды. Частота наблюдений в периоды половодья и паводков должна обеспечивать регистрацию высшего уровня воды за период половодья или паводка;

3) причин, обусловивших высокий уровень воды: высокий паводок (половодье), затор или зажор, подпор от нижерасположенной плотины, сброс воды из вышерасположенного водохранилища, прорыв плотины и т. д.;

4) полноты учета стока на пойме и притоках в расчетном створе;

5) способа измерений наибольших расходов;

6) правильности экстраполяции кривых расходов воды до наивысших и низших уровней воды.

Чтобы избежать ненужных затрат времени и труда и по возможности облегчить вычислительную работу при расчетах, необходимо руководствоваться приведенными ниже рекомендациями и правилами.

1. Точность гидрологических расчетов должна соответствовать заданной точности конечных результатов, необходимых для решения той или иной практической задачи. Следовательно, 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 может быть больше точности исходных данных. Поэтому прежде чем переходить к вычислениям, необходимо получить ясное представление о том, какова точность исходных данных. Если в исходных данных указано излишнее число цифр, следует пользоваться правилом округления. Например, округляемые числа 17,84; 17,75; 17,86. Соответственно округленные 17,8; 17,8; 17,9.

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 $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

4. Все вычисления должны производиться под непрерывным контролем, который своевременно обнаруживает ошибку. Основной формой контроля должна явиться проверка при помощи обратных действий. Очень 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 были положены в основу.

Расчетные гидрологические характеристики определяют в большом диапазоне обеспеченностей. Однако для конкретной характеристики этот диапазон существенно сокращается. Так, 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 обычно рассчитывают в диапазоне обеспеченностей 75–99 % (чаще 80, 85, 90, 95 и 97 %) в зависимости от типа (класса) сооружений.

В расчетах можно использовать мгновенные, срочные или средне-суточные максимальные расходы воды (в зависимости от размеров рек и класса сооружения), а при расчетах минимального стока наиболее широко используют средние расходы воды за 30 сут (или среднемесячные) и за 1 сут, хотя в отдельных случаях можно использовать средние за 5, 7 или 10 сут.

Уровни воды рассчитывают обычно для обеспеченностей 1, 3 и 5 или 90, 95 и 97 %.

Таким образом, круг решаемых задач весьма широк и разнообразен. Он определяется классом (типом) транспортного (гидротехнического) сооружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеевский, Н. И. Формирование и движение речных наносов / Н. И. Алексеевский. – Москва: Изд-во МГУ, 1998. – 202 с.
2. Базыленко, Г. М. Гидрологические расчеты / Г. М. Базыленко. – Минск: НПО «ПИОН», 2002. – 143 с.
3. Барышников, Н. Б. Динамики русловых потоков: учебник / Н. Б. Барышников. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 342 с.
4. Владимиров, А. М. Гидрологические расчеты / А. М. Владимиров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 365 с.
5. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек [и др.]; под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест: Альтернатива, 2017. – 239 с.
6. Волчек, А. А. Паводки на реках Беларуси: монография / А. А. Волчек, Т. А. Шелест. – Брест: Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, 2016. – 199 с.
7. Георгиевский, Ю. М. Гидрологические прогнозы: учебник / Ю. М. Георгиевский, С. В. Шаночкин. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. – 436 с.
8. Константинов, Н. М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учебник: в 2 ч. / Н. М. Константинов, Н. А. Петров, Л. И. Высоцкий. – Москва: Высш. шк., 1987. – Ч. 1: Общие законы. – 304 с.; Ч. 2: Специальные вопросы. – 431 с.
9. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 244 с.
10. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск: Тонпик, 2006. – 160 с.
11. Орлов, В. Г. Основы инженерной гидрологии: учеб. пособие / В. Г. Орлов, А. В. Сикан. – Ростов н/Дону: Феникс: Северо-Запад, 2009. – 192 с.
12. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ	7
1.1. Обоснование применения статистических методов в гидрологии	7
1.2. Обеспеченность гидрологической характеристики. Формулы эмпирической обеспеченности	8
1.3. Кривые распределения и их параметры.....	9
1.4. Теоретические кривые обеспеченности	13
1.5. Проверка теоретической кривой обеспеченности. Клетчатка вероятностей	18
1.6. Определение параметров теоретической кривой обеспеченности и их точность ..	19
1.7. Корреляционные связи гидрологических явлений	22
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	25
2.1. Предварительный анализ гидрологической информации	26
2.1.1. Анализ однородности гидрологических рядов наблюдений	28
2.2. Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрологических наблюдений	30
2.2.1. Общие указания по оценке выборочных средних, коэффициентов вариации и асимметрии, эмпирических функций распределения.....	30
2.2.2. Расчет неоднородных кривых распределения	33
2.2.3. Особенности определения расчетных гидрологических характеристик для различных видов стока	34
2.3. Определение расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрологических наблюдений	39
2.3.1. Оценка репрезентативности наблюдаемых данных	39
2.3.2. Методы приведения рядов гидрологических характеристик к многолетнему периоду с учетом материалов кратковременных (менее 6 лет) наблюдений	42
2.3.3. Методы приведения рядов гидрологических характеристик к многолетнему периоду при наличии гидрологических наблюдений 6 лет и более	44
2.4. Определение расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрологических наблюдений	47
2.4.1. Годовой сток воды рек.....	47
2.4.2. Минимальный сток воды рек	50
3. ГИДРОГРАФЫ СТОКА И ИХ РАСЧЕТ.....	52
3.1. Понятие гидрографа стока и его расчленение по видам питания	52
3.2. Расчет гидрографов паводков и половодий.....	58
3.3. Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков	60
4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА.....	66
4.1. Общие закономерности и факторы формирования весеннего стока	66
4.2. Механизм формирования дождевых паводков.....	71
4.2.1. Факторы формирования дождевого паводочного стока	75
4.3. Схема формирования стока при выпадении дождя	76
4.4. Методы определения расчетных характеристик максимального стока	82
4.5. Максимальный сток на реках Беларуси	93
4.5.1. Максимальные половодья на реках Беларуси	93
4.5.2. Максимальные паводки на реках Беларуси	96
4.5.3. Характеристика наводнений на реках Беларуси	97

5. РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ	100
5.1. Взаимодействие потока и русла	100
5.2. Происхождение, характеристики и классификация речных наносов	101
5.3. Движение взвешенных и влекомых наносов	105
5.4. Режим стока наносов	112
5.5. Морфометрические элементы речных русел	115
5.6. Типы русловых процессов	119
5.7. Сток наносов рек Беларуси	124
6. УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ РЕК	130
6.1. Построение и экстраполяция кривых зависимости расходов от уровней воды	131
6.1.1. Методы построения кривых расходов по гидрологическим наблюдениям	132
6.1.2. Экстраполяция кривых и методы построения приближенных кривых расходов	138
6.2. Определение наивысших уровней воды рек при наличии данных гидрометрических наблюдений	143
6.3. Определение наивысших уровней воды рек при недостаточности данных гидрометрических наблюдений	145
6.4. Определение наивысших уровней воды рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений	146
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	149

Учебное издание

Волчек Александр Александрович
Шведовский Пётр Владимирович
Волчек Анастасия Александровна и др.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА

ГИДРОЛОГИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

Редактор *О. Г. Толмачёва*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 23.02.2021. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 8,83. Уч.-изд. л. 7,31.
Тираж 60 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.