

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОЛОГИЯ И ГИДРОМЕТРИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальности
«Автомобильные дороги»*

**Минск
РИВШ
2020**

УДК 532:625.7/8(075.8)
ББК 30.123я73
Г46

Авторы:

А. А. Волчек, П. В. Шведовский, Ан. А. Волчек, Н. Н. Шешко

Рецензенты:

кафедра «Автомобильные дороги» Белорусско-Российского университета;
профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Белорусского национального
технического университета, доктор технических наук, профессор *В. Е. Левкевич*

Г46 **Гидравлика, гидрология и гидрометрия в дорожном строительстве : учебное пособие / А. А. Волчек [и др.] ; под ред. А. А. Волчека. – Минск : РИВШ, 2020. – 420 с.**
ISBN 978-985-586-394-7.

В учебном пособии содержатся общие вопросы гидравлики, общей гидрологии, гидрологии водотоков и гидрометрии. Приведены основы теории гидростатики, кинематики и динамики жидкости; особое внимание уделено гидрологии рек, статистическим основам гидрологических расчетов и организации работ. Даны сведения о современных способах и приборах по измерению глубин, профилей, скоростей и расходов воды и твердого стока.

Предназначено для студентов автомобильно-дорожных специальностей высших учебных заведений. Может представлять определенный интерес для инженерно-технических работников дорожной и водохозяйственной отраслей, специалистов в области природопользования, природообустройства и экологии, преподавателей, аспирантов и студентов специальностей, связанных с природопользованием.

УДК 532:625.7/8(075.8)
ББК 30.123я73

ISBN 978-985-586-394-7

© Оформление. ГУО «Республиканский институт высшей школы», 2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое учебное пособие обобщает многолетний опыт изложения автoрами курса «Гидравлика, гидрология, гидрометрия» в Брестском государственном техническом университете. При этом оно отражает традиции, заложенные в ведущих научных центрах стран СНГ, сформированных в XX веке, и получившие развитие в XXI веке, и во многом следует известному учебнику «Гидравлика, гидрология, гидрометрия» Н. М. Константинова, Н. А. Петрова и Л. И. Высоцкого, созданному более 30 лет назад.

В настоящее время в Беларуси нет единого учебника или учебного пособия для автодорожных специальностей, к тому же в изложении предлагаемого курса произошли значительные изменения. Появились новые конструкции сооружений, изменилась технология их возведения, ужесточились требования охраны окружающей среды, связанные с существенным влиянием на гидрологический режим рек и водоемов климатических изменений.

Строительство современных автомобильных дорог и аэродромов в сложных геолого-гидрогеологических условиях поставило перед гидравликой дорожных сооружений ряд задач, что и определяет необходимость рассмотрения в учебном пособии изменений в области новых знаний по гидрологии, гидрометрии, экологии и др.

Материал учебного пособия делится на две части. Базовый материал курса, рассматривающий основные законы гидравлики, основы общей гидрологии и гидрометрии носит наиболее выраженный общетехнический характер, и его изложение и по содержанию, и по методике не существенно различается для большинства строительных специальностей, особенно таких родственных, как гидротехническое, дорожное и водохозяйственное строительство. Поэтому авторы сочли целесообразным этот объем курса выделить в первую часть.

Специальные темы, связанные с определением расчетных гидрологических характеристик, русловыми процессами и гидравлическими расчетами водопропускных и водоотводящих сооружений представлены во второй части пособия.

Авторы признательны заведующему кафедрой «Автомобильные дороги» Белорусско-Российского университета, кандидату технических наук, доценту В. В. Кутузову и кандидату технических наук, доценту В. Т. Парахновичу, а также доктору технических наук, профессору Белорусского национального технического университета В. Е. Левкевичу, оказавшим большую помощь по подготовке учебного пособия.

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие включает в себя сведения по трем дисциплинам: гидравлике, гидрологии и гидрометрии.

Гидравлика – одна из ветвей механики, изучающая законы равновесия (гидростатика) и движения (гидродинамика) воды, широко использующая теоретические положения механики и данные эксперимента для решения инженерных задач.

Гидравлика является основой таких специальностей, как дорожное и гидротехническое строительство, мостостроение, водный транспорт и т. д. Трудно назвать отрасль техники, строительства и другие сферы деятельности человека, где бы не использовалась гидравлика.

В большинстве случаев строительную практику удовлетворяет решение задач гидравлики в относительно простой одномерной постановке, и их решение обычно включает следующие этапы: 1) выявление физических особенностей изучаемого явления, постановка задачи; 2) формирование упрощенной модели с учетом требуемой подробности и точности решения, разработка принципиального решения для модели; 3) проверку полученных результатов в эксперименте и на основе его результатов корректировки, если необходимо, теоретического решения. Для частных случаев в этой схеме могут отсутствовать те или иные этапы.

Гидрология – наука, изучающая природные воды, явления и процессы, протекающие в них, а также определяющие распространение вод по земной поверхности и в толще почво-грунтов и закономерности, по которым эти явления и процессы распространяются. Предметом изучения гидрологии являются водные объекты – океаны, моря, реки, озера и водохранилища, болота и скопления влаги в виде снежного покрова, ледников, почвенных и подземных вод. В связи со специфическими особенностями объектов и методов их изучающих гидрология разделяется на самостоятельные дисциплины: *гидрометеорологию, гидрологию поверхностных вод суши* (гидрологию суши), *океанологию* и *гидрогеологию*.

Специалисты строительного профиля изучают *инженерную гидрологию*. Практической целью этой отрасли науки является разработка методов рационального использования гидрологических процессов в технической и хозяйственной деятельности человека. Строителей транспортных сооружений интересуют в основном водные потоки на суше. Поэтому для соответствующих специальностей из широкого круга вопросов выделяются только те, которые относятся к *гидрологии суши* или ее части – *гидрологии рек*.

Гидрометрия – раздел гидрологии, в котором рассматриваются методы измерений и наблюдений, ведущихся с целью изучения гидрологического режима вод. В гидрометрии рассматриваются и приборы для измерений уровней свобод-

ной поверхности воды, глубин водных потоков, их скоростей и других характеристик.

Гидравлику, гидрологию и гидрометрию объединяет общность цели: *гидравлично-гидрологическое обоснование транспортных сооружений*, а также объект изучения – поверхностные водные потоки.

Краткий исторический очерк. Вода всегда была неперенным условием существования человека, уже с глубокой древности велись наблюдения за режимом рек и водоемов, делались попытки предсказания их изменений. Ярким примером являются тысячелетние наблюдения древних египтян за уровнем воды в р. Нил. Такие сведения привели к первым обобщениям в форме отдельных законов гидравлики. Древнейшим из них считается закон Архимеда о выталкивающей силе.

Более поздние исследования о поведении жидкости в состоянии покоя и движения связаны с именами выдающихся физиков, механиков, математиков Средневековья и эпохи Возрождения. Среди них следует назвать Леонардо да Винчи, Галилео Галилея, Э. Торричелли, Б. Паскаля, И. Ньютона.

Основы гидравлики как науки заложили члены Петербургской Академии наук Д. Бернулли и Л. Эйлер. Они разработали фундаментальные уравнения гидравлики и обобщили известные до этого сведения по отдельным ее разделам. К концу XVIII в. в области гидравлики был накоплен значительный объем знаний. Это достигнуто трудами целой плеяды известных ученых Ж. Д. Д'Аламбера, Ж. Л. Лагранжа, П. С. Лапласа и др.

Начало развития в России гидравлики как основы строительства гидротехнических сооружений относится ко временам Петра I, когда были построены Вышневолоцкая и Березинская водные системы. С тех пор стали производиться систематические наблюдения за режимом отдельных рек и озер, возникли первые гидрометрические посты. Решению многих задач гидравлики и гидрометрии посвятил свои работы русский ученый М. В. Ломоносов.

В гидрологию и гидрометрию большой вклад внесли В. М. Лохтин, А. И. Воейков, В. Г. Глушков, Д. И. Кочерин и др.

Потребность в изучении гидрологического режима водотоков Беларуси начала ощущаться уже в начале XVIII в. Этому способствовало и ее географическое положение на водоразделе двух морей – Балтийского и Черного, а также наличие таких крупных рек, как Западная Двина, Неман, Днепр, Березина, Сож и Припять, издавна служивших водными путями. В XVIII в. положено начало организации сети водомерных постов на реках Беларуси. В начале XIX в. с развитием судоходства на внутренних водных путях возрос интерес к изучению колебания уровня воды в реках. В 1818 г. Управлением водяными и сухопутными сообщениями дается предписание об обязательных ежедневных измерениях уровней воды на всех водных системах. Развитие различных видов транспорта, сопровождавшееся ростом мостостроения на шоссейных и железных дорогах, необходимостью улучшения судоходных условий рек, вызвало в 70-х гг. XIX в. создание довольно обширной сети постоянно действующих водомерных постов, главным образом на судоходных реках и каналах.

Современная гидрологическая сеть Департамента по гидрометеорологии Беларуси состоит из 123 гидрологических постов на реках и 14 гидрологических постов на озерах и водохранилищах.

Роль и место гидравлики, гидрологии и гидрометрии в дорожно-мостовом и аэродромном строительстве. Развитие и совершенствование транспортной сети – одна из главнейших задач народного хозяйства нашей страны. Транспортное строительство играет определяющую роль в развитии любого региона. Знание гидрологии и гидрометрии позволит обеспечить качественное строительство и надежную эксплуатацию дорожно-мостовых и аэродромных сооружений.

Мостовые переходы и другие водопропускные сооружения – сложные и дорогие объекты, находящиеся в очень тяжелых условиях эксплуатации. Именно их надежность, как правило, определяет эффективность и бесперебойность работы транспортной сети. Воздействие воды на полотно дороги и ее основание, на сооружения дорожного водоотвода, водопропускные трубы и мосты представляет одну из главных причин нарушения нормальной эксплуатации. Еще более высокие требования предъявляются ко взлетно-посадочным полосам аэродромов.

Изучив настоящий курс, будущий инженер должен овладеть методикой измерения и прогнозирования характеристик водных потоков и методами расчета сооружений на них, т. е. разработать гидрологическое обоснование для гидравлических расчетов, определяющих технологию и сроки возведения сооружений, особенности их эксплуатации.

Следует также отметить и роль гидравлики, гидрологии и гидрометрии в обеспечении *обратной связи*, т. е. прогноза влияния дорожно-мостовых и аэродромных сооружений на водотоки и водную среду, на прилегающую территорию, позволяющую оценить последствия их строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевский, Н. И.* Формирование и движение речных наносов / Н. И. Алексеевский. – М.: 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.* Динамика русловых потоков: учебник / Н. Б. Барышников. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 342 с.
4. *Быков, В. Д.* Гидрометрия / В. Д. Быков, А. В. Васильев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 448 с.
5. *Владимиров, А. М.* Гидрологические расчеты / А. М. Владимиров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 365 с.
6. 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.
7. Водный кодекс Республики Беларусь (от 30.04.2014 г.) № 149-З: принят Палатой представителей 02.04.2014 г.; одобрен Советом Республики 11.04.2014.
8. *Волчек, А. А.* Минимальный сток рек Беларуси: монография / А. А. Волчек, О. И. Грядунова. – Брест: Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина, 2010. – 300 с.
9. *Волчек, А. А.* Паводки на реках Беларуси: монография / А. А. Волчек, Т. А. Шелест. – Брест: Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина, 2016. – 199 с.
10. *Георгиевский, Ю. М.* Гидрологические прогнозы: учебник / Ю. М. Георгиевский, С. В. Шаночкин. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. – 436 с.
11. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь / под общ. ред. А. И. Полищука, Г. С. Чекан. – Минск: Книгазбор, 2009. – 268 с.
12. *Карасев, И. Ф.* Гидрометрия / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 385 с.
13. *Константинов, Н. М.* Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учебник: в 2 ч. / Н. М. Константинов, Н. А. Петров, Л. И. Высоцкий. – М.: Высш. шк., 1987.

14. *Кудинов, В. А.* Гидравлика: учебное пособие / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. – М.: Высш. шк., 2006. – 175 с.

15. *Логинов, В. Ф.* Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 244 с.

16. *Логинов, В. Ф.* Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск: Тонпик, 2006. – 160 с.

17. *Лопух, П. С.* Гідраграфія Беларусі / П. С. Лопух. – Мінск: БГУ, 2004. – 204 с.

18. *Лучшева, А. А.* Сборник задач и руководство к практическим занятиям по основам гидравлики и гидрометрии / А. А. Лучшева, А. Е. Чаповский. – М.: Недра, 1990. – 171 с.

19. *Максименко, Ю. Л.* Охрана водных ресурсов / Ю. Л. Максименко, Г. Н. Кудряшова. – М.: АСВ, 2015. – 256 с.

20. *Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли.* – Л., 1974. – 637 с.

21. *Михайлов, В. Н.* Гидрология: учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 2-е, 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007, 2008. – 463 с.

22. *Орлов, В. Г.* Основы инженерной гидрологии: учебное пособие / В. Г. Орлов, А. В. Сикан. – Ростов н/Д: Феникс: Северо-Запад, 2009. – 192 с.

23. *Пархимович, В. Т.* Гидрология и гидрометрия водотоков: учебное пособие для студентов специальности «Автомобильные дороги» высших учебных заведений / В. Т. Пархимович. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2003. – 107 с.

24. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.

25. *Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь:* в 3 т. / под ред. А. И. Бедрицкого. – СПб.; М.: Летний сад, 2009.

26. *Справочник по гидравлическим расчетам* / под ред. П. Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. – 312 с.

27. *Чугаев, Р. Р.* Гидравлика: учебник для вузов / Р. Р. Чугаев. – 5-е. изд., репринт. – М.: БАСТЕТ, 2008. – 672 с.

28. *Штеренлихт, Д. В.* Гидравлика: учебник для вузов: в 2 кн. / Д. В. Штеренлихт. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Волчек Александр Александрович – доктор географических наук, профессор, декан факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», лауреат премии Национальной академии наук Беларуси.

Автор более 1000 научных работ. Область научных интересов – изменение водного баланса речных водосборов, моделирования процессов формирования водного режима.

E-mail: Volchak@tut.by

Шведовский Пётр Владимирович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет».

Автор более 700 научных работ, в том числе 15 монографий и 19 учебных пособий для вузов. Область научных интересов – экологические проблемы, трансформация ландшафтов, прогнозы и моделирование рисков для урбанизированных территорий.

E-mail: ofig@bstu.by

Волчек Анастасия Александровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет».

Автор более 120 научных работ. Область научных интересов – моделирование процессов формирования максимального стока, их колебания и прогноз.

Шешко Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет».

Автор свыше 100 научных и учебно-методических работ, в том числе трех учебных пособий для вузов. Область научных интересов – научно-методическое, информационное сопровождение последипломного образования; экологические проблемы урбанизированных территорий.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Часть 1. ОБЩИЕ ЗАКОНЫ	7
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГИДРАВЛИКИ	7
1.1. Гидростатика	7
1.1.1. Напряженное состояние частицы жидкости	7
1.1.2. Гидростатическое давление.....	13
1.1.3. Основные уравнения гидростатики	14
1.1.4. Давление жидкости на плоские поверхности. Центр давления.....	17
1.1.5. Давление жидкости на криволинейные поверхности.....	19
1.1.6. Плавучесть тел.....	22
1.2. Основные понятия кинематики и динамики жидкости.....	24
1.2.1. Методы изучения движения жидкости.....	24
1.2.2. Линия и трубка тока, элементарная струйка.....	26
1.2.3. Поток и его элементы.....	28
1.2.4. Дифференциальные уравнения Эйлера движения невязкой жидкости	31
1.2.5. Дифференциальное уравнение неразрывности.....	36
1.2.6. Уравнение Бернулли для элементарной струйки	37
1.2.7. Уравнение Бернулли для потока вязкой (реальной) жидкости	41
1.2.8. Теорема изменения количества движения для потока жидкости.....	44
1.3. Потери энергии при движении жидкости	47
1.3.1. Виды гидравлических сопротивлений.....	47
1.3.2. Основные уравнения равномерного движения жидкости.....	48
1.3.3. Потери напора по длине при равномерном установившемся движении жидкости	50
1.3.4. Режимы движения жидкости.....	53
1.3.5. Касательные напряжения в турбулентном потоке.....	56
1.3.6. Распределение скоростей в турбулентном потоке. Гидравлически гладкие и шероховатые трубы.....	60
1.3.7. График Никурадзе. Формулы коэффициентов Дарси и Шези.....	62
1.3.8. Местные потери энергии	65
2. ОБЩАЯ ГИДРОЛОГИЯ.....	68
2.1. Круговорот воды в природе и водные ресурсы Земли	68
2.2. Водные ресурсы Республики Беларусь	71
2.3. Факторы формирования поверхностных вод суши	73
2.3.1. Атмосферные осадки	73
2.3.2. Испарение	79
2.3.3. Подземные воды	82
2.4. Гидрология рек	90
2.5. Геоморфология и морфометрия реки и ее бассейна	91
2.6. Водный и радиационный баланс речных водосборов	101

2.7. Характеристики речного стока, их интерпретация и картирование	107
2.8. Режим речного стока	112
2.9. Термический и ледовый режим рек	115
2.10. Термический режим рек Беларуси	121
2.11. Ледовый режим рек Беларуси	123
3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ	126
3.1. Обоснование применения статистических методов в гидрологии.....	126
3.2. Обеспеченность гидрологических характеристик. Формулы эмпирической обеспеченности.....	126
3.3. Кривые распределения и их параметры.....	127
3.4. Теоретические кривые обеспеченности	130
3.5. Проверка теоретической кривой обеспеченности. Клетчатка вероятностей	134
3.6. Определение параметров теоретической кривой обеспеченности и их точность	134
3.7. Корреляционные связи гидрологических явлений	136
4. ГИДРОМЕТРИЯ	140
4.1. Организация гидрометрических работ	140
4.2. Организация водомерных наблюдений	141
4.2.1. Выбор участка реки для наблюдений за уровнями воды.....	141
4.2.2. Топографические работы при организации гидрологических постов.....	143
4.2.3. Устройство водомерного поста.....	144
4.2.4. Наблюдения за уровнем и продольным уклоном водной поверхности.....	150
4.2.5. Наблюдения за термическим режимом рек	152
4.2.6. Визуальные наблюдения за состоянием водных объектов.....	153
4.3. Измерение глубин и русловые съемки	154
4.3.1. Средства и методы для измерения глубин и профилей дна	155
4.3.2. Способы выполнения промерных работ	155
4.3.3. Обработка результатов промерных работ	157
4.4. Измерение скоростей течения воды	161
4.4.1. Распределение скоростей течения воды в русле	161
4.4.2. Методы и классификация приборов для измерения скоростей течения воды	162
4.4.3. Измерение скорости течения воды с помощью гидрометрических вертушек.....	166
4.4.4. Измерение скорости течения воды с помощью гидрометрических поплавков	168
4.5. Определение расходов воды различными методами.....	170
4.5.1. Общие принципы определения расходов воды	170
4.5.2. Измерение расхода воды	171
4.5.3. Измерение расходов воды на малых реках	172
4.5.4. Определение максимальных расходов воды по меткам уровней.....	176
4.6. Организация наблюдений за твердым стоком	178
4.6.1. Общие сведения о твердом стоке	178
4.6.2. Наблюдения за стоком взвешенных наносов.....	180
4.6.3. Измерение расхода взвешенных наносов.....	182
4.6.4. Вычисление расходов взвешенных наносов	183
4.6.5. Приборы для взятия проб и методика вычисления расхода донных наносов.....	185

Часть 2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	188
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	188
5.1. Предварительный анализ гидрологической информации	189
5.1.1. Анализ однородности гидрологических рядов наблюдений	190
5.2. Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрологических наблюдений	192
5.2.1. Общие указания по оценке выборочных средних, коэффициентов вариации и асимметрии, эмпирических функций распределения	192
5.2.2. Расчет неоднородных кривых распределения	194
5.2.3. Особенности определения расчетных гидрологических характеристик для различных видов стока	195
5.3. Определение расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрологических наблюдений	199
5.3.1. Оценка репрезентативности наблюдаемых данных	199
5.3.2. Методы приведения рядов гидрологических характеристик к многолетнему периоду с учетом материалов кратковременных (менее 6 лет) наблюдений	201
5.3.3. Методы приведения рядов гидрологических характеристик к многолетнему периоду при наличии гидрологических наблюдений 6 лет и более	202
5.4. Определение расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрологических наблюдений	204
5.4.1. Годовой сток воды рек	205
5.4.2. Минимальный сток воды рек	206
6. ГИДРОГРАФЫ СТОКА И ИХ РАСЧЕТ	208
6.1. Понятие гидрографа стока и его расчленение по видам питания	208
6.2. Методика расчета гидрографов паводков и половодий	212
6.3. Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков	213
7. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА	218
7.1. Общие закономерности и факторы формирования весеннего стока	218
7.2. Механизм формирования дождевых паводков	222
7.2.1. Факторы формирования дождевого паводочного стока	224
7.3. Схема формирования стока при выпадении дождя	225
7.4. Методы определения расчетных характеристик максимального стока	229
7.5. Максимальный сток на реках Беларуси	236
7.5.1. Максимальные половодья на реках Беларуси	236
7.5.2. Максимальные паводки на реках Беларуси	239
7.5.3. Характеристика наводнений на реках Беларуси	240
8. РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ	242
8.1. Взаимодействие потока и русла	242
8.2. Происхождение, характеристики и классификация речных наносов	243
8.3. Движение взвешенных и влекомых наносов	245
8.4. Режим сток наносов	250
8.5. Морфометрические элементы речных русел	252
8.6. Типы русловых процессов	254
8.7. Сток наносов рек Беларуси	258

9. УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ РЕК	263
9.1. Построение и экстраполяция кривых зависимости расходов от уровней воды	264
9.1.1. Методы построения кривых расходов по гидрологическим наблюдениям	264
9.1.2. Экстраполяция кривых и методы построения приближенных кривых расходов	269
9.2. Определение наивысших уровней воды рек при наличии данных гидрометрических наблюдений	272
9.3. Определение наивысших уровней воды рек при недостаточности данных гидрометрических наблюдений	273
9.4. Определение наивысших уровней воды рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений	274
10. ГИДРАВЛИКА ОТКРЫТЫХ РУСЕЛ	276
10.1. Типы открытых русел и виды движения жидкости	276
10.2. Удельная энергия сечения. Критическая глубина. Спокойное, бурное и критическое состояние потока в открытом русле	278
10.3. Режимы движения жидкости в лотках и каналах	282
10.3.1. Турбулентность и многофазные потоки.....	282
10.3.2. Потери энергии при гидротранспорте грунта.....	285
10.4. Расчетные зависимости равномерного движения в открытых призматических руслах	286
10.4.1. Допускаемые скорости течения в каналах	286
10.4.2. Гидравлически наиболее выгодное поперечное сечение канала	288
10.4.3. Гидравлический показатель русла	289
10.4.4. Расчет равномерного безнапорного движения в каналах замкнутого поперечного профиля	290
10.4.5. Приближенные расчеты равномерного движения в естественных руслах ...	291
10.5. Неравномерное плавноизменяющееся движение жидкости в открытых руслах	292
10.5.1. Дифференциальные уравнения неравномерного плавноизменяющегося движения в призматических руслах	293
10.5.2. Формы свободной поверхности при неравномерном плавноизменяющемся движении в призматических руслах	296
10.5.3. Типы задач при расчете неравномерного движения жидкости в призматических руслах	301
10.5.4. Построение кривых свободной поверхности потока в непризматических руслах	302
10.6. Неустановившееся движение жидкости в открытых руслах	304
10.6.1. Примеры неустановившихся потоков	305
10.6.2. Дифференциальные уравнения неустановившегося медленно изменяющегося движения потока в открытых руслах	308
10.7. Гидравлический прыжок	311
10.7.1. Общие понятия.....	311
10.7.2. Уравнение гидравлического прыжка.....	313
10.7.3. Определение основных характеристик гидравлического прыжка	317
10.7.4. Сопряжение бьефов	319
10.8. Водосливы	323
10.8.1. Основные определения	323
10.8.2. Классификация водосливов.....	324

10.8.3. Расчет пропускной способности прямоугольных водосливов	326
10.8.4. Водосливы с тонкой стенкой.....	327
10.8.5. Водосливы практического профиля.....	329
10.8.6. Водосливы с широким порогом	330
10.8.7. Использование водосливов в дорожном строительстве.....	331
11. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ДОРОЖНЫЕ	
ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЙ	335
11.1. Общие сведения	335
11.2. Движение потока через малые мосты и безнапорные трубы	339
11.3. Основы расчета малых мостов	341
11.4. Расчет безнапорных водопропускных труб	344
11.5. Гидравлический расчет труб с затопленным входом	352
11.6. Гидравлический расчет выходных участков малых водопропускных сооружений.....	353
11.7. Определение расчетных расходов дорожных сооружений с учетом аккумуляции стока.....	356
11.8. Сопрягающие и водобойные сооружения	360
11.9. Гашение энергии	363
11.10. Перепады	367
11.11. Быстротоки и консольные сбросы	369
12. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА	
СООРУЖЕНИЙ ДОРОЖНОГО ВОДООТВОДА	373
12.1. Общие сведения	373
12.2. Расчет сооружений поверхностного водоотвода	375
12.3. Движение поверхностных вод и расчета водоотводных лотков и дождеприемников водоотвода закрытого типа	377
12.4. Режимы работы коллекторов и других трубчатых сооружений водоотвода	379
12.5. Схемы отвода подземных вод из насыпей и их расчет	380
13. ОСНОВЫ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ГРУНТОВЫХ ВОД	
АВТОМОБИЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	384
13.1. Основные понятия и определения	384
13.2. Основной закон ламинарной фильтрации. Уравнение равномерного безнапорного движения грунтовых вод	386
13.3. Безнапорное неравномерное плавноизменяющееся движение грунтовых вод	388
13.4. Фильтрация через прямоугольную перемычку и насыпь дороги.....	391
13.5. Турбулентная фильтрация. Расчет фильтрующих осыпей	395
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	399
ПРИЛОЖЕНИЕ	401
Соотношения для перевода единиц измерения из системы МКГСС в систему СИ	401
Наиболее часто применяемые для обозначений буквы греческого алфавита и их названия	401
Условные обозначения, размерность основных характеристик, применяемых при гидрологических расчетах	401
Термины и определения.....	404
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	414

Учебное издание

Волчек Александр Александрович
Шведовский Петр Владимирович
Волчек Анастасия Александровна
Шешко Николай Николаевич

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОЛОГИЯ И ГИДРОМЕТРИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебное пособие

Редактор *И. М. Подоматько*
Компьютерная верстка *К. А. Капустиной*
Корректор *Н. В. Боярова*

Подписано в печать 25.11.2020. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 24,4. Уч.-изд. л. 33,7. Тираж 150 экз. Заказ 92.

Издатель и полиграфическое исполнение:
государственное учреждение образования
«Республиканский институт высшей школы».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/174 от 12.02.2014.

Ул. Московская, 15, 220007, г. Минск.