

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

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

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений образования, обеспечивающих
получение общего высшего образования по специальности
6-05-0811-03 Мелиорация и водное хозяйство*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2026

УДК 556.182(075.8)

ББК 65.45я73

К63

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета
23.12.2024 (протокол № 4)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
26.12.2024 (протокол № 5)*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. С. Кукреш*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. М. Лукашевич*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Д. А. Дрозд*;
старший преподаватель *И. А. Левшунов*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *О. П. Мешик*;
директор ГП «Витебскгипроводхоз» *М. С. Самохвалов*

Комплексное использование водных ресурсов. Практи-
К63 **кум** : учебно-методическое пособие / А. С. Кукреш,
В. М. Лукашевич, Д. А. Дрозд, И. А. Левшунов. – Горки : Бело-
рус. гос. с.-х. акад., 2026. – 122 с.
ISBN 978-985-882-823-3.

Приведены материалы для выполнения практических работ по учебной дисциплине, вопросы для самоконтроля.

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение общего высшего образования по специальности 6-05-0811-03 Мелиорация и водное хозяйство.

УДК 556.182(075.8)

ББК 65.45я73

ISBN 978-985-882-823-3

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Данное издание содержит рекомендации по выполнению практических заданий по дисциплине «Комплексное использование водных ресурсов». В каждом практическом занятии изложены необходимые теоретические понятия и описывается методика выполнения практических заданий.

В конце каждого практического задания приводятся формы таблиц, которые каждому студенту следует вычертить в тетради и заполнить их в процессе выполнения практических заданий. Кроме того, там помещены вопросы для самоконтроля знаний по изучаемому разделу дисциплины.

Цель практических занятий по комплексному использованию водных ресурсов – ознакомить студентов с основными гидрологическими ресурсами Республики Беларусь, с методикой расчетов водохозяйственных балансов, с правилами выполнения водноэнергетических расчетов, правилами подбора гидросилового оборудования для гидроэлектростанций, мероприятиями по охране окружающей среды и экономическими расчетами мероприятий в водохозяйственных комплексах.

Практическое занятие 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Цель практического занятия – изучение основных характеристик рек Республики Беларусь.

Западная Двина

Бассейн реки Западная Двина, площадь которого в пределах Беларуси составляет 33,2 тыс. км², охватывает северные районы страны. Река берет начало на Валдайской возвышенности с озера Корякино Тверской области на высоте 221 м и несет свои воды в Рижский залив Балтийского моря через Россию, Беларусь и Латвию. По общей длине (1 020 км) Западная Двина уступает только Днепру, в пределах Беларуси она протягивается на 328 км. Происхождение названия реки, вероятнее всего, имеет финноязычные корни со смысловым значением «тихая, спокойная».

В бассейне Западной Двины расположены около 12 тыс. больших и малых рек, а также многочисленные озера. Большинство озер связано с Западной Двиной системой рек и проток. Густота эрозионной сети в ее бассейне составляет 450 м/км², что несколько превышает средний по Беларуси показатель.

Западная Двина пересекает Суражскую и Шумилинскую равнины, а затем несет свои воды по обширной полоцкой низменности. Имеет относительно небольшое падение в пределах Беларуси (38 м), однако в некоторых районах характеризуется быстрым течением, из-за молодости рельефа долина реки не выработана, слаборасчлененная, большей частью занята луговой растительностью и пашней. Надпойменные террасы встречаются фрагментарно, выделяется узкая пойма (обычно до 50 м).

Ширина долины, как правило, не превышает 3–4 км, изредка достигая 10 км. По форме долина преимущественно трапецевидная, а возле г. п. Руба – каньонообразная. Долина реки глубоко врезана: от 20–30 м до 40–50 м. Средняя ширина русла постепенно увеличивается от 60–120 м в верхнем течении до 100–140 м (изредка 240 м) на границе с Латвией.

Русло извилистое, с крутыми берегами высотой до 22 м, многочисленными перекатами и островами. Выше Витебска выходы девонских доломитов на дневную поверхность образуют Верховские пороги протяженностью свыше 10 км. В месте впадения Дисны большое количе-

ство валунов образует Дисненские пороги. Есть порожистые участки и возле Верхнедвинска.

Наблюдения за гидрологическим режимом реки проводятся с 1876 г., в настоящее время – на 6 гидрологических постах: в районе городов и городских поселков Сураж, Витебск, Улла, Полоцк, Новополоцк и Верхнедвинск. Среднегодовой расход воды около Витебска – $224 \text{ м}^3/\text{с}$, на границе с Латвией – $468 \text{ м}^3/\text{с}$.

В смешанном питании реки четко выражено преобладание снегового. На период весеннего половодья приходится до 60 % годового стока. Суровый климат и особенности строения долины Западной Двины обусловили наиболее протяженный период с ледовыми явлениями (с 1-й декады декабря по 1-ю декаду апреля) и самый высокий подъем уровня воды во время весеннего половодья, нередко достигающий 9–12 м. Половодье обычно длится 2–2,5 месяца.

Наибольшие уровни воды во время весеннего половодья фиксировались в г. п. Улла 28 апреля 1931 г. – 13,29 м и в г. Верхнедвинске 25 апреля 1956 г. – 13,52 м. Соответственно разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Западной Двине за весь срок наблюдений составляет 13,16 и 13,14 м. Более 12 м она составляет в Витебске и Полоцке. Самыми многоводными годами на Западной Двине являются 1931 и 1956 гг., а самыми маловодными – 1939 и 2002 гг.

Типичными представителями ихтиофауны Западной Двины являются щука, лещ, густера, окунь, плотва, линь, карась, судак, сом и др. Из редких видов, занесенных в Красную книгу, в среднем течении Западной Двины изредка встречаются европейская ряпушка, речная минога. В составе прибрежной и водной растительности в пойме Западной Двины встречаются такие растения краснокнижники, как кубышка малая, водяной орех, касатик сибирский и др.

Средняя температура воды летом – 18–20 °С. Продолжительность купального сезона около 70 дней. На живописных берегах расположены санатории «Летцы», «Нафтан», зоны отдыха «Улла», «Туровля», оздоровительные лагеря, базы отдыха. Организовываются туристические походы на байдарках и надувных лодках, международная теплоходная экскурсия от о. Готланд до Витебска, повторяющая путь «из варяг – в греки». Через реки Улла и Эсса Березинской водной системой Западная Двина соединена с Березиной (система Днепра).

От Витебска до Верхнедвинска река судоходная, однако судоходство затруднено из-за наличия порогов. На Западной Двине находятся такие крупные города, как Витебск (порт), Полоцк и Новополоцк.

В настоящее время на Западной Двине отсутствуют крупные водохранилища и действующие гидроэлектростанции, кроме расположенных на притоках небольших Гомельской и Клястицкой ГЭС.

Особенности строения речной долины и гидрологического режима реки обусловили высокий гидроэнергетический потенциал реки. По результатам эколого-экономической оценки, проведенной в Центральном НИИ комплексного использования водных ресурсов, на Западной Двине и ее притоках возможно строительство 26 гидроэлектростанций, причем ГЭС в районе Витебска может достичь проектной мощности в 50 МВт, в районах Бешенковичей, Полоцка и Верхнедвинска – свыше 20 МВт.

Дисна

Общая длина Дисны составляет 178 км, из них 149 км – в пределах Беларуси. Река протекает по территории Литвы, Браславского, Поставского, Шарковщинского и Миорского районов Витебской области и впадает в Западную Двину в г. Дисна (самом маленьком городе Беларуси).

Дисна – крупнейший по площади водосбора и протяженности левый приток Западной Двины в пределах Беларуси. Нет очевидного толкования происхождения названия реки, находящейся в зоне преобладающей балтийской топонимии. Вероятнее всего, название связано со старославянским «деензя», что означает правая. Дисна берет начало из озера Диснай Игналинского района Литвы, расположенного в месте сочленения Латвийской и Свенцянской гряд на высоте 144 м над уровнем моря.

Дисна образует речной бассейн площадью 6 180 км², в границах Беларуси – 7 730 км². Общее падение реки составляет всего 39,7 м, что значительно меньше, чем у большинства крупных и средних рек страны. Из-за сравнительно небольшой длины средний уклон водной поверхности (0,2 %) соответствует аналогичному показателю многих рек Беларуси.

Водосборный бассейн имеет вытянутую с запада на восток форму. Наиболее характерной его особенностью является высокая озерность, достигающая 3 %. В бассейне расположено около 600 озер, в том числе такие примечательные по площади и глубине, как Дривяты, Ричи, Мядель, Шо, Долгое.

Дисна не имеет крупных притоков, что связано с особенностями рельефа и невыработанностью речных долин. Часто речную систему образуют протоки между озерами. Иногда озера расположены на границе водораздела и питают реки различных бассейнов (например, озеро Дривяты, Обстерновская группа озер).

В верхнем течении Дисна протекает по северо-восточным склонам Свенцянской гряды, а далее – по сильно заболоченной Дисненской низине, являющейся частью обширной озерно-ледниковой Полоцкой низменности. В устье реки при впадении ее в Западную Двину образуются Дисненские пороги, которые делают реку несудоходной и затрудняют судоходство на Западной Двине.

Долина Дисны узкая (преимущественно 400–600 м, реже до 1 500 м), почти на всем протяжении реки имеет трапецевидную форму. Склоны долины с ложбинами стока, оврагами несколько разнообразят плоский рельеф низменности. Пойма обычно двусторонняя, открытая, с луговой растительностью. В верхнем течении реки ширина поймы составляет 200–400 м, затем она расширяется до 1 000 м, а в нижнем течении вновь уменьшается до 500 м.

Русло сильно меандрирует из-за малого уклона водной поверхности. В верхнем течении реки около д. Германовщина Браславского района русло на протяжении около 8 км канализовано в 1977 г. Ширина реки постепенно увеличивается от 20–30 м в верхнем течении до 100 м в нижнем. Берега крутые и обрывистые высотой 2–7 м, в верхнем течении более пологие, местами заболоченные.

Наблюдения за гидрологическим режимом были организованы с 1924 г. на нескольких гидрологических постах, в настоящее время проводятся только в г. п. Шарковщина. В соответствии с гидрологическим районированием бассейн Дисны относится к Западно-Двинскому району. Для реки характерен смешанный тип питания, в котором отчетливо преобладает снеговое. На период весеннего половодья приходится половина годового стока. Среднегодовой расход воды в устье составляет 52,4 м³/с, в зависимости от водности года изменяется от 5 м³/с (1963 г.) до 710 м³/с (1960 г.). С середины декабря по начало апреля река обычно замерзает.

Весеннее половодье длится 1,5–2 месяца. Во время половодья уровень воды поднимается довольно высоко – на 4–6 м. Наибольший уровень воды фиксировался в г. п. Шарковщина 6 апреля 1951 г. и достигал 8,74 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Дисне за весь срок наблюдений составляет почти 9 м.

Самыми многоводными являются 1931 и 1951 гг., а самыми мало-
водными – 1939, 1992 и 2002 гг.

В составе ихтиофауны Дисны типичны щука, лещ, окунь, плотва, налим, елец, укля, густера, язь, пескарь и др. Из редких видов в озерах бассейна Дисны встречается угорь. В составе прибрежной и водной растительности в пойме реки из занесенных в Красную книгу видов – касатик сибирский.

Высокая сельскохозяйственная освоенность бассейна и однообразный рельеф обусловили незначительный рекреационный потенциал Дисны и отсутствие зон отдыха. Природоохранные территории располагаются в пределах речного бассейна на некотором удалении от реки. Среди них Национальный парк «Браславские озера» и ландшафтный заказник республиканского значения «Ельня».

Равнинный рельеф обусловил отсутствие на Дисне водохранилищ, однако по результатам эколого-экономической оценки, проведенной в Центральном НИИ комплексного использования водных ресурсов, на Дисне возможно строительство трех ГЭС в районе г. п. Шарковщина, д. Германовичи и в месте впадения Дисны в Западную Двину.

Неман

Неман – третья река в Беларуси по общей длине после Днепра и Западной Двины. Его общая протяженность составляет 937 км, из них в Беларуси – 459 км. Он берет начало в Узденском районе и несет свои воды в Куршский залив Балтийского моря на границе Литвы и Калининградской области России. Неман образует третий по площади речной бассейн на территории Беларуси (после Днепра и Припяти), который занимает почти 34,6 тыс. км² (без бассейна реки Виляя). Общая площадь водосбора Немана составляет 98,2 тыс. км².

По одной из версий название реки происходит от славянской основы «нем» (немой) – тихий, спокойный. По другой – от славянского отрицания «не» и понятий «мън» – большой. По некоторым версиям название возникло из финского «niemi», что значит ряд холмов, мыс, либо со жмудского «pomėnis» – домашний, обжитой.

Урез реки Неман на границе с Литвой является самой низкой отметкой на территории Беларуси – 81 м. Общее падение реки в пределах страны составляет 98,2 м, что является наибольшим показателем среди крупных рек страны. Благодаря этому у реки большой средний наклон водной поверхности (0,21 ‰) и, как следствие, высокая скорость течения.

По строению речной долины и гидрологическим характеристикам Неман условно можно разделить на три участка: верхний – от истока до устья Западной Березины; средний – между устьями Западной Березины и Щары; нижний – от устья Щары до устья реки Черная Ганьча. Долина Немана на первом участке трапециевидная, часто невыраженная, с пологими склонами, которые чередуются с крутыми обрывами высотой до 50 м (Столбцовский район). На среднем участке река протекает по обширной Неманской низменности, преимущественно покрытой лесом. Долина здесь обычно невыраженная, ниже устья Дитвы имеет ящикообразную форму с крутыми склонами, изрезанными оврагами. На третьем участке долина ящикообразная, а на многих участках V-образная, шириной менее 1 км, с крутыми склонами высотой 10–25 м.

Из-за наличия возвышенностей Белорусской гряды, которые прорезает долина Немана и его притоков, река неоднократно меняет направление своего течения, огибая конечно-моренные возвышенности и моренные равнины. Ниже устья Западной Березины склоны долины густо прорезаны оврагами. В долине выражена двухсторонняя низкая заболоченная пойма со старицами шириной 1–2 км, изредка до 4 км. Местами в районе г. Мосты пойма отсутствует. Речная долина преимущественно покрыта лесом и кустарником.

Ширина реки увеличивается от 35–40 м на Столбцовской равнине до 120–150 м ниже устья Щары. Русло от истоков на протяжении 26 км канализованное, далее сильно извилистое, с большим количеством перекатов, песчаных островов, мелей, кос, порогов, сильно меандрирует.

Глубина реки в верхнем течении достигает 3–4 м, а ниже по течению уменьшается до 1–2 м из-за обилия песчаных наносов. Часто встречаются каменистые пороги.

Наблюдения за гидрологическим режимом Немана проводятся с 1877 г. на четырех постах: в районе городов Столбцы, Мосты, Гродно и деревни Белица. Среднегодовой расход воды возле Столбцов составляет 18,4 м³/с, возле Гродно – 197 м³/с, а на границе с Литвой – 214 м³/с. Характерно смешанное питание реки с преобладанием грунтового. Сток распределяется более равномерно по сезонам года. Весенний сток составляет 41 %, летне-осенняя межень – 38 %, зимняя – 2 %. При этом в последние годы наблюдается тенденция к сглаживанию межсезонных различий. Со второй половины декабря по середину марта река замерзает, и максимальная толщина льда достигает 60 см. В последние годы с мягкими зимами устойчивый ледяной покров на Немане не образуется.

Весеннее половодье обычно проходит несколькими волнами, начинается в середине марта и длится 30–50 суток. Продолжительность половодья одна из наиболее коротких в стране. Во время половодья уровень воды поднимается на 2–4 м. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в Гродно 23 апреля 1958 г. и достигал 8,93 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Немане за весь срок наблюдений составляет от 3,17 м в Столбцах до 8,77 м в Гродно. Самым многоводным на Немане является 1958 г. Из-за малоснежных зим в последние годы подъем уровня воды значительно снизился, и отметки 4 м он достигал только в Гродно в 1982 и 1988 гг.

В пойме Немана и его притоков распространены бобры, выдры, ондатры, американская норка, водоплавающие птицы. Типичные представители ихтиофауны реки – щука, лещ, окунь, плотва, линь, карась, налим, судак, сом, укляя, язь, голавль, жерех, пескарь и др. Из редких видов, занесенных в Красную книгу, в среднем течении Немана изредка встречается речная минога, более широко – форель ручьевая, европейский хариус, усач, обыкновенный рыбец и подуст. В составе прибрежной и водной растительности в пойме Немана встречаются занесенные в Красную книгу виды растений: кувшинка белая, болотно-цветник щитовидный, касатик сибирский и др.

В долине Немана и на прилегающих территориях находится большое количество природоохранных объектов: гидрологический заказник «Миранка», ландшафтные заказники «Налибокский», «Гродненская пуша», «Липичанская пуша», «Озеры», биологический заказник «Докудовский», заказник местного значения «Графская пуша», геологические памятники природы.

Средняя температура воды летом составляет 19–20 °С. Продолжительность купального сезона – 85 дней. На живописных берегах Немана расположены санатории, турбазы, зоны отдыха.

Мелководность реки, наличие порогов и перекатов обусловили отсутствие судоходства на реке. Строение речной долины позволяет возводить ГЭС на Немане и его притоках. В настоящее время функционируют Гезгальская, Волпавская и Войтавицкая гидроэлектростанции, завершается строительство ГЭС в районе Гродно. По результатам эколого-экономической оценки, проведенной Центральным НИИ комплексного использования водных ресурсов, на Немане и Щаре возможно строительство еще трех ГЭС.

Вилия

Вилия – крупнейший по протяженности правый приток Немана, впадающий в него за пределами страны. В Литве Вилию называют Нярис. По одной версии название реки произошло от славянского слова «велья» (большая), по другой – от балтского «vilnis» (волна). Это одна из немногих средних рек Беларуси, образующая в пределах страны самостоятельный и довольно крупный бассейн. Общая длина реки составляет 498 км, из них более половины (264 км) – в Беларуси. Вилия берет начало из небольшого болота в северной части Минской возвышенности в 1 км северо-восточнее д. Великое Поле Докшицкого района на высоте около 220 м и протекает по Нарочанско-Вилейской равнине. Исток реки находится на Черноморско-Балтийском водоразделе.

Несмотря на малую протяженность в пределах страны, Вилия протекает по территории Витебской, Минской и Гродненской областей, пересекает границу с Литвой в 2 км северо-западнее д. Жорнели Островецкого района и впадает в Неман возле г. Каунас. Река образует водосборный бассейн площадью 25,1 тыс. км², в том числе в Беларуси – 11 тыс. км². Общее падение Вилии в пределах страны составляет около 110 м, и по этому показателю она превышает большинство крупных и средних рек Беларуси. Соответственно и средний уклон водной поверхности (0,3 ‰) значительно больше, чем у большинства крупных рек страны. Вилия характеризуется высокой скоростью течения практически на всем протяжении в Беларуси.

Водосборный бассейн вытянут в широтном направлении. На протяжении более 100 км граница водосбора реки является Черноморско-Балтийским водоразделом.

По особенностям строения речной долины и русла Вилия делится на два примерно равных по протяженности участка: верхний – до устья реки Уша и нижний – от устья Уши до границы.

Долина Вилии почти на всем протяжении реки имеет трапециевидную форму и ширину от 1 до 3 км, возле устья Уши сужается до 200–400 м. В нижнем течении долина реки тоже узкая (300–400 м, изредка 1 000 м) и приобретает корытообразную форму. В верхнем течении склоны долины слабо расчлененные, высотой 5–10 м, ниже устья реки Сервечь и в нижнем течении склоны долины становятся более крутыми, густо пронизаны овражной сетью и поднимаются в высоту до 20 м. В долине прослеживаются террасы шириной до 150 м.

Пойма на первом участке от истока реки часто заболочена и имеет ширину от 200 до 400 м. В отличие от большинства рек в нижнем течении пойма сужается до 50–70 м, во многих местах прерывается, но в отдельных районах достигает 600 м.

Русло Вилии сильно меандрирует практически на всем протяжении реки, образуя большое количество небольших песчаных островов. Ширина реки постепенно увеличивается от 2–5 м в верхнем течении и 15–20 м в устье Сервечи до 60–70 м (местами до 100 м) ниже устья Уши. Берега крутые и обрывистые высотой 2–10 м, в верхнем течении более пологие, часто заболоченные. Река преимущественно имеет малые глубины – от 20 до 200 см, у д. Доманово глубины увеличиваются до 4 м. Быстрое течение и малые глубины обусловили наличие в русловой части большого количества песчаных островов, отмелей, осередков, порожистых участков.

Наблюдения за гидрологическим режимом ведутся с 1924 г., в настоящее время функционируют три гидрологических поста: в городе Вилейка (ниже водохранилища), в деревнях Стешицы и Михалишки. Согласно гидрологическому районированию, река относится к Вилейскому гидрологическому району. В структуре смешанного питания незначительно преобладает снеговое. На весенний период приходится 45 % годового стока. Характерной особенностью гидрологического режима Вилии является зарегулированность стока в результате создания крупнейшего в стране Вилейского водохранилища. Среднегодовой расход воды увеличивается от 7,9 м³/с в районе д. Стешицы до 79,6 м³/с на границе с Литвой. С конца декабря по конец марта река обычно замерзает, и толщина льда достигает 50 см.

Весеннее половодье, как правило, начинается в конце марта и длится около 50 дней. Во время половодья уровень воды поднимается довольно высоко – почти до 3 м в верхнем течении и до 8 м – в нижнем. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в д. Михалишки 21 апреля 1958 г. и достигал 7,1 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды в нижнем течении Вилии за весь срок наблюдений превышала 6,5 м. Самыми многоводными на реке являются 1956, 1958 и 1979 гг., а самыми маловодными – 1952, 1976 и 1992 гг. После строительства Вилейского водохранилища подъемы уровня воды в нижнем течении во время весеннего половодья снизились. Летняя межень ежегодно нарушается дождевыми паводками.

Типичными представителями ихтиофауны Вилии являются щука, окунь, плотва, лещ, налим, карась, голавль, густера, язь, пескарь и др.

Речная система Вилии характеризуется богатством редких видов рыб, занесенных в Красную книгу, здесь встречаются форель ручьевая, семга, кумжа, хариус, усач, обыкновенный рыбец, подуст, речная минога. В составе прибрежной и водной растительности в пойме Вилии из занесенных в Красную книгу видов встречается касатик сибирский. В бассейне реки и ее притоков создан ряд природоохранных территорий республиканского значения: биологический заказник «Дубатовское», ландшафтный заказник «Сорочанские озера», гидрологические заказники «Верхневилейский» и «Сервечь». Много здесь и разнообразных памятников природы.

Особенность расположения реки и характер строения речной долины обусловили высокий рекреационный потенциал Вилии, которая активно используется для водных походов. Температура воды летом составляет 18–20 °С, а продолжительность купального сезона превышает 2,5 месяца.

Щара

Щара – второй по протяженности приток Немана после Вилии и первый по длине в пределах Беларуси. Название реки происходит, вероятнее всего, от балтского «saras» (узкий), что связано с особенностями строения речной долины. Щара полностью – от истока до устья – расположена в пределах страны. Общая длина реки составляет 325 км. Она берет начало на Новогрудской возвышенности, вытекая из озера Колдычевское, расположенного в 2 км юго-восточнее д. Колдычево Барановичского района на высоте 185,7 м над уровнем моря. Щара протекает по территории Брестской и Гродненской областей и впадает в Неман возле д. Дэшковцы Мостовского района.

Взяв старт на юго-восточном склоне Новогрудской возвышенности, в верхнем течении река пересекает Барановичскую равнину почти в меридиональном направлении с севера на юг, затем в пределах северной части Припятского Полесья, недалеко от озера Выгонощанское, поворачивает на север и протекает по Верхненеманской низине до впадения в Неман. Таким образом, она огибает Новогрудскую возвышенность и прорезает Белорусскую гряду в районе Слонима. Щара образует речной бассейн площадью 6 990 км². Общее падение реки относительно небольшое и составляет 77,7 м. Соответственно и средний уклон водной поверхности имеет среднее значение – 0,2 ‰.

Водосборный бассейн имеет треугольную форму с широким (более 100 км) основанием в южной части. Эта часть границы водосбора Щары является Черноморско-Балтийским водоразделом.

Щара не имеет крупных притоков, самые протяженные из них – Мышанка и Исса (справа) и Гривда (слева). Общая протяженность речной системы Щары составляет 2 650 км. Многие небольшие реки и ручьи, особенно в южной части бассейна, частично или полностью канализованы. На протяжении около 10 км канализована и Щара – в верховьях и в районах г. Слоним и д. Добромысль Ивацевичского района. Густота речной сети незначительно превосходит средний по республике показатель и составляет 450 м/км². Река относится к Неманскому гидрологическому району.

По гидрологическим характеристикам, строению речной долины и русла Щара делится на два участка: верхний – до устья реки Гривды и нижний – от впадения Гривды до устья.

Долина реки в верхнем течении имеет трапецевидную форму шириной 1,5 км с крутыми склонами высотой 15–20 м. В нижнем течении долина реки расширяется до 3–5 км, но сохраняет трапецевидальную форму с крутыми склонами высотой 10–20 м, а местами до 40 м, и лишь в самом нижнем течении склоны становятся пологими (от 2 до 8 м).

Пойма на всем протяжении заболоченная и кочковатая, с большим количеством осушительных каналов, имеет ширину от 200 м в верхнем течении до 3 км в среднем (в районе устья Огинского канала), а далее вновь сужается до 50–300 м в нижнем течении.

Русло Щары извилистое практически на всем протяжении реки, кроме канализованных участков. Ширина реки постепенно увеличивается и в районе впадения Гривды достигает 15–30 м, местами – до 60 м, а в нижнем течении она составляет 50–60 м. Берега низкие и торфянистые, изредка обрывистые высотой до 2 м.

Наблюдения за гидрологическим режимом проводятся с 1877 г., в настоящее время – на двух гидрологических постах: в д. Великая Воля Мостовского района и г. Слоним. По гидрологическому режиму Щара относится к восточноевропейскому типу со смешанным питанием, в котором преобладает снеговое, доля которого составляет 50 %. Характерной особенностью гидрологического режима и строения речной долины реки является то, что во время весеннего половодья часть ее воды по Огинскому каналу и системе мелиоративных каналов переливается в Выгонощанское озеро, пересекая водораздел. Среднегодовой расход воды в устье Щары составляет 37,7 м³/с.

С конца декабря по начало марта река обычно замерзает. Максимальная толщина льда в наиболее холодные годы может достигать 50–65 см.

По среднему показателю уровня загрязнения поверхностных вод Щара относится к категории относительно чистой (ИЗВ менее 1), однако для отдельных участков речной долины характерен сравнительно небольшой уровень загрязнения цезием-137 (от 10 до 20 кБк/м²).

В составе ихтиофауны Щары типичны щука, лещ, окунь, плотва, жерех, карась, уклея, густера, язь, пескарь, судак и др. Из редких видов, занесенных в Красную книгу, в притоках Щары изредка встречается форель ручьевая. В составе прибрежной и водной растительности в пойме реки из растений-краснокнижников встречаются касатик сибирский, режее – водяной орех (чилиим).

Долина Щары пересекает такие крупные природоохранные территории, как ландшафтные заказники республиканского значения «Выгонощанское» и «Липичанская пуща». В бассейне реки находятся ландшафтный заказник «Стронга», биологический заказник «Слонимский» и ряд других памятников природы. Заболоченность поймы обусловила незначительный рекреационный потенциал Щары.

Весеннее половодье обычно начинается в начале марта и длится 2–2,5 месяца. Во время половодья уровень воды поднимается невысоко – на 2–3 м. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в д. Великая Воля 19–21 апреля 1958 г. и достигал 4,95 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Щаре за весь срок наблюдений незначительно превышала 3 м. Самыми многоводными на реке являются 1931, 1958 и 1986 гг., а самыми маловодными – 1969, 1992 и 1995 гг.

Недалеко от впадения в Щару реки Лохозва построена небольшая Лохозвинская ГЭС. По расчетам специалистов из ЦНИИКИВРа возможно строительство гидроэлектростанции мощностью до 5 МВт. Ранее река интенсивно использовалась для лесосплава и в транспортных целях. Был построен Огинский канал, который соединял реку Щара с рекой Ясельдой, тем самым связывались водные системы Немана и Днепра. Судходство на Щаре возможно только ниже д. Бытень Ивацевичского района, да и то только в годы с повышенной водностью. Довольно интенсивно используется река в качестве водоприемника многочисленных мелиоративных систем, проводится рыбный промысел.

Западный Буг

Средний уклон водной поверхности у Западного Буга довольно большой (0,3 %), поэтому для реки характерна высокая скорость течения. На территории Беларуси находятся только правые притоки Западного Буга, крупнейшими из них являются реки Мухавец и Лесная.

Юго-западные районы Беларуси занимает бассейн Западного Буга, площадь которого в пределах страны составляет около 10,4 тыс. км². Эта река берет начало на западных склонах Подольской возвышенности возле г. Золочча Львовской области, несет свои воды через Украину, далее – по границе Беларуси и Польши и недалеко от Варшавы впадает в Загжинское водохранилище, а затем – в Вислу. Общая длина реки – 772 км, на территории нашей страны – 154 км. При этом на всем протяжении Западный Буг является пограничной рекой с Польшей. В основе названия реки – славянский термин «буг» (извилина, изгиб реки) и сходный термин в немецком «buchtig» (извилистый).

В пределах Беларуси Западный Буг протекает по Малоритской и Прибугской равнинам. В верхнем и нижнем течениях долина реки четко выражена и по ширине не превышает 2–3 км, пойма прерывистая, с многочисленными старицами. На среднем участке долина Западного Буга расширяется до 3–4 км и имеет широкую, низкую, заболоченную пойму. Русло реки на всем ее протяжении извилистое. Оно постепенно расширяется от 10–20 м в верхнем течении до 50–75 м – в нижнем, иногда до 200–300 м. Берега преимущественно пологие и заболоченные, на отдельных участках покрыты лесом.

В настоящее время на Западном Буге действует гидрологический пост в д. Новоселки, а также посты на притоках Мухавец и Лесная. Наблюдения проводятся с 1975 г. Для Западного Буга характерно смешанное питание с преобладанием грунтового, что объясняется малой мощностью снегового покрова и преобладанием легко проницаемых грунтов. Среднегодовой расход воды на границе Украины и Беларуси составляет 50 м³/с, а при выходе за границу страны – 100 м³/с.

Особенностями водного режима Западного Буга являются не выраженное весеннее половодье продолжительностью 1–2 месяца, летне-осенние дождевые и зимние смешанные паводки. В период половодья уровень воды поднимается на 3–5 м. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в д. Новоселки 25 марта 1974 г. и достигал 6,24 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Западном Буге за весь срок наблюдений составляет

от 3,84 м в Бресте до 5,13 м в Новоселках. Самыми многоводными являются 1974 и 1979 гг., а самыми маловодными – 1984, 1990, 1992 и 2002 гг.

Типичные представители ихтиофауны Западного Буга – щука, лещ, густера, укля, окунь, плотва, линь, карась, ерш. Из редких видов, занесенных в Красную книгу, встречаются речная минога, усач обыкновенный и подуст. В составе прибрежной и водной растительности в пойме Западного Буга отмечены краснокнижные растения: сальвиния плавающая, касатик сибирский и др.

Вдоль Западного Буга расположены такие природоохранные территории, как ландшафтный заказник «Прибужское Полесье», имеющий международный статус национального резервата и ключевой ботанической территории, а также заказник местного значения «Бугский». Из-за расположения на границе с Польшей рекреационное значение Западного Буга невелико.

В нижнем течении река судоходна. Через Мухавец, Днепровско-Бугский канал и Пину Западный Буг соединяется с Припятью. Через Нарев, Черную Ганьчу и Августовский канал – с Неманом. В Бресте находится порт.

Днепр

Днепр – третья река в Европе по площади бассейна и общей длине после Волги и Дуная. Он берет начало в небольшом болоте на Валдайской возвышенности в России (Смоленская область) на высоте 236 м и несет свои воды в Днепровский лиман Черного моря в Украине. Общая протяженность Днепра – 2 145 км, из них в Беларуси – 689 км. Название реки имеет иноязычное происхождение, не соответствующее славянским и балтским языкам. В древнегреческих источниках Днепр называется Борисфен, в украинских – Славутич, в древнеримских – Донаприс. Предположительно, название связано с иранским «дон» (река), трансформировавшимся впоследствии в Донаприс и Днепр.

На территории Беларуси Днепр образует самый большой по площади речной бассейн, который занимает почти 63,7 тыс. км² (без бассейна реки Припять). Общая площадь водосбора Днепра составляет 504 тыс. км². Общее падение реки – 236 м, в пределах Беларуси – 54 м, а средний уклон – 0,08 ‰.

Приходя на территорию Беларуси с востока, Днепр в пределах Центрально-Оршанского горста почти под прямым углом поворачивает на

юг в 9 км выше Орши, прорезая гряду девонских известняков и образуя Кобелянецкие пороги длиной около 200 м. Далее он пересекает Оршанско-Могилевскую и Центрально-березинскую равнины, а южнее Рогачева переходит в пределы Белорусского Полесья и Приднепровской низменности.

Правый берег реки обычно значительно выше левого. Примерно до Шклова Днепр течет в узкой долине (0,5–1,5 км) с высокими крутыми берегами. Здесь фиксируется максимальная глубина вреза речной долины, достигающая 70–80 м. Ниже долина постепенно расширяется до 5–10 км, а русло становится извилистым, с многочисленными излучинами, перекатами и мелями, особенно распространенными на участке между устьями Друти и Сожа. В районе впадения в Днепр реки Сож ширина долины местами достигает 50 км. В долине выражена двухуровневая пойма и две надпойменные террасы: первая на высоте 7–15 м, вторая – 18–35 м. Долина реки занята преимущественно луговой растительностью, изредка к руслу реки подходят леса, поэтому в воде часто встречаются затопленные деревья.

Ниже устья реки Друть берега Днепра начинают принимать полесский вид, а в пойме увеличивается количество небольших озер-старич. Местами русло реки раздваивается, образуя обширные острова в пределах поймы. Ширина реки увеличивается от 15–120 м в ее верхнем течении на территории Беларуси до 800–1 500 м на границе с Украиной. Южнее Жлобина русло прорезает плотные отложения, образуя Стрешинские пороги.

Наблюдения за гидрологическим режимом Днепра проводятся с 1876 г. В настоящее время работает семь гидрологических постов: в городах Орша, Шклов, Могилев, Быхов, Жлобин, Речица и городском поселке Лоев. Среднегодовой расход воды возле Орши – $123 \text{ м}^3/\text{с}$, в устье реки – $1\,670 \text{ м}^3/\text{с}$. Характерно смешанное питание Днепра с преобладанием снегового (около 50 %); на долю грунтового приходится около 27 %, дождевого – около 23 %. Весенний сток составляет от 68 % в верховьях до 57 % в нижнем течении. С конца ноября по конец марта река замерзает, и максимальная толщина льда достигает 60–80 см. В последние годы данный период существенно сократился.

Весеннее половодье обычно проходит одной волной, начинается во второй половине марта и длится 2–2,5 месяца. Во время половодья уровень воды поднимается на 4–6 м и более. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в Орше 23 апреля 1931 г. и достигал 9,49 м. Разница между наибольшим и наименьшим

уровнями воды на Днепре за весь срок наблюдений составляет от 4,95 м в Жлобине до 9,41 м в Орше. В Могилеве и городском поселке Лоев она достигает почти 8 м. Самыми многоводными на Днепре являются 1931 и 1956 гг. Из-за малоснежных зим в последние годы подъем уровня воды значительно снизился, однако в Могилеве в 1986, 1994 и 2004 гг. он превышал 6,5 м (в 1986 г. – 6,81 м), значительно поднимался и на других гидропостах.

Средняя температура воды летом – 19–22 °С. Продолжительность купального сезона – 80–90 дней. На живописных берегах размещены курорты «Рогачев» и «Белый Берег», зоны отдыха «Днепровка», «Днепр», «Любуж», «Сидоровичи», «Салтаново» и др., санатории «Дубровенка», «Родник», «Сосны», многочисленные оздоровительные лагеря, санатории-профилактории, базы отдыха и т. д. Организовываются туристические походы на байдарках и надувных лодках 1-й категории сложности, теплоходные экскурсии от Орши до Речицы.

Практически вся река судоходная, на ней много речных пристаней и два порта – в Могилеве и Речице. Равнинный рельеф обусловил отсутствие на Днепре крупных водохранилищ и гидроэлектростанций. По результатам эколого-экономической оценки, проведенной в Центральном НИИ комплексного использования водных ресурсов, на Днепре возможно строительство пяти гидроэлектростанций – в районе Орши, Шклова, Нового Быхова, Жлобина и Речицы. При этом ГЭС в районе Речицы может достичь проектной мощности в 26 МВт.

К сожалению, в результате аварии на ЧАЭС практически вся территория бассейна Днепра находится в зоне загрязнения радионуклидами. Несмотря на значительное снижение уровня загрязнения территории за прошедшее после аварии время, вся долина Днепра ниже Могилева находится в зоне загрязнения цезием-137 от 20 до 185 кБк/м². Самоочищение поймы обусловило уменьшение загрязнения воды в водотоках до уровня, не превышающего ПДК, однако загрязнение донных отложений в старицах практически равно ПДК, а в рыбе, питающейся донными организмами, уровень загрязнения на порядок выше ПДК. По среднему показателю уровня загрязнения поверхностных вод река практически на всем протяжении относится к категории умеренно загрязненной (ИЗВ от 1 до 2,5), а отдельные участки в среднем течении – к категории относительно чистой.

Березина

Березина по длине занимает второе место в Беларуси (613 км), причем она является самой длинной рекой страны, полностью расположенной на ее территории от истока до устья. Исток Березины находится в 1 км юго-западнее города Докшицы Витебской области, а устье – юго-восточнее деревни Горель Речицкого района Гомельской области, где река впадает в Днепр. Площадь ее водосбора – почти 24,5 тыс. км². Происхождение названия реки очевидно – в его основе лежит название древесной породы «береза», с близким звучанием в славянских и балтийских языках.

Густота речной сети в бассейне Березины уступает среднему по республике показателю и составляет 350 м/км². Общее падение реки в пределах Беларуси – 69 м, что значительно больше, чем на Днепре и Западной Двине. Средний уклон – 0,11 ‰.

Березина протекает по Верхнеберезинской низменности и Центральнеберезинской равнине. По гидрологическим характеристикам и строению речной долины она делится на три участка: верхний – до устья Гайны, средний – между устьями Гайны и Свислочи и нижний – ниже устья Свислочи. В верхнем течении долина реки не выражена, пойма шириной 2–3 км заболочена и покрыта лесом. На среднем участке долина реки приобретает трапециевидную форму шириной 2–3 км с узкой, преимущественно левобережной поймой. В нижнем течении долина реки расширяется до 5–8 км и включает заболоченную пойму шириной до 5 км.

Русло на всем протяжении реки извилистое и разветвленное, с большим количеством излучин, заливов, стариц, рукавов. Оно постепенно расширяется от 15–20 м в верхнем течении до 80–130 м – в нижнем. Берега преимущественно пологие, но местами обрывистые, высотой до 15 м. Большая часть речной долины покрыта лесом либо заболочена.

Гидрологический режим Березины изучается с 1676 г. В настоящее время действуют гидрологические посты в городах Борисов, Березино, Бобруйск, Светлогорск и деревне Броды. Для Березины характерно смешанное питание с преобладанием снегового, благодаря чему 46 % годового стока приходится на весну. Среднегодовой расход воды составляет 36,7 м³/с в районе Борисова, а в устье реки – 142 м³/с. Максимальный расход воды на Березине фиксировался в 1931 г. и достигал 2 430 м³/с.

Особенностями водного режима реки являются высокие позднелетние паводки, повторяемость которых в последние годы значительно снизилась. Весеннее половодье длится обычно 1–2 месяца, уровень воды повышается незначительно. Во время половодья уровень воды поднимается на 3–5 м. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в Светлогорске 28 апреля 1931 г. и достигал 8,04 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Березине за весь срок наблюдений составляет 3–5 м, а в Бобруйске в 1931 г. она достигала 5,68 м. Самыми многоводными на Березине являются 1931, 1956 и 1970 гг., а самыми маловодными – 1939, 1959, 1992 и 2002 гг. Из-за малоснежных зим в последние годы подъем уровня воды снизился, однако в Светлогорске в 1999 г. он превышал 7 м, а на остальных постах был значительно выше 3 м.

В верховье реки и на многочисленных притоках широко распространены бобры. Типичными представителями ихтиофауны Березины являются щука, лещ, густера, окунь, плотва, линь, карась, судак, сом. Из редких видов, занесенных в Красную книгу, в нижнем течении Березины встречается стерлядь, в правых притоках верховьев реки – ручьевая форель, а в нижнем течении – усач обыкновенный и подуст. В составе прибрежной и водной растительности в пойме Березины отмечены краснокнижные виды: кувшинка белая, альдрованда пузырчатая, водяной орех плавающий, каулиния малая, наяда большая, касатик сибирский и др.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительная часть территории бассейна Березины оказалась в зоне загрязнения радионуклидами. Несмотря на значительное снижение уровня загрязнения территории за прошедшие после аварии годы, участки долины реки между городами Борисов и Березино, а также ниже Бобруйска находятся в зоне загрязнения цезием-137 от 10 до 185 кБк/м². Следует отметить, что в бассейне Березины находится самая загрязненная река Беларуси – Свислочь, поэтому по качеству воды река в среднем и нижнем течении относится к категории умеренно загрязненной (ИЗВ от 1 до 2,5).

Средняя температура воды летом – 18–20 °С. Продолжительность купального сезона – 80 дней. Вдоль Березины расположены такие особо охраняемые природные территории, как Березинский биосферный заповедник, ландшафтные заказники «Черневичский», «Выдрица» и «Смычок». На живописных берегах размещены курорт «Бобруйск», зоны отдыха «Березино», «Осиповичи», «Приречье», «Дроздино» и др.,

а также два одноименных санатория – «Бережина» (возле Борисова и деревни Гута Березинского района), оздоровительные лагеря, санатории-профилактории, базы отдыха и т. д. Организовываются туристические походы на плотах и надувных лодках разной протяженности и длительности.

Ниже деревни Броды река судоходная, однако большого транспортного значения в настоящее время не имеет. На ней расположена речная пристань в Березино и порт в Бобруйске. Равнинный рельеф обусловил отсутствие на Березине крупных водохранилищ и гидроэлектростанций. По результатам эколого-экономической оценки, проведенной в Центральном НИИ комплексного использования водных ресурсов, в среднем течении Березины возможно строительство трех небольших ГЭС.

Друть

Крупным притоком Днепра, полностью от истока до устья расположенным в Беларуси, является река Друть. Ее общая длина – 295 км. Название, вероятнее всего, имеет балтийское происхождение (литовское «drutas», имеющее смысловое значение большой, широкий). Друть берет начало на Оршанской возвышенности в 1 км западнее деревни Раздольная Толочинского района Витебской области на высоте более 200 м над уровнем моря в месте Черноморско-Балтийского водораздела. Река протекает по территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей и впадает в Днепр на южной окраине Рогачева.

Площадь водосборного бассейна реки Друть невелика – 5 020 км². Общее падение реки больше, чем у многих крупных и средних рек Беларуси, и составляет 105,2 м. Средний уклон водной поверхности, как и у Птичи, – 0,4 ‰, что в несколько раз больше, чем у большинства крупных рек страны. Друть характеризуется высокой скоростью течения, особенно в верхнем течении.

Водосборный бассейн имеет вытянутую форму, протягиваясь с севера на юг узкой полосой шириной 25–30 км между бассейнами Днепра и Березины. Узкий бассейн обусловил отсутствие крупных притоков у реки Друть. В то же время общая протяженность речной сети в ее бассейне составляет около 2 000 км. Густота речной сети несколько меньше среднего по республике показателя и составляет 390 м/км².

Верховья реки Друть находятся на Оршанской возвышенности, а среднее и нижнее течения – в восточной части Центральноберезинской

равнины. Долина реки в верховье не выраженная, ниже почти на всем протяжении – трапециевидной формы шириной от 1,5 до 2,5 км. Склоны изрезаны ложбинами и достигают в высоту 8–30 м. При этом левый склон более пологий, берега до городского поселка Бельнички преимущественно открытые и заняты луговой растительностью, а ниже практически повсеместно залесены.

Пойма обычно двусторонняя и открытая, в нижнем течении местами левобережная, частично затопленная водохранилищами, со старицами и осушительными каналами.

Русло реки на двух участках в верховьях канализировано на протяжении 15,6 км: в районе города Толочин и деревни Друцк. Далее русло сильно меандрирует практически на всем протяжении, образуя большое количество стариц, проток, островов. Ширина реки постепенно увеличивается от 10–20 м в верхнем течении до 30–50 м – в нижнем. Дно в основном песчаное, местами – каменистое. Берега преимущественно крутые и обрывистые высотой 1–2,5 м, кое-где – до 5 м. В нижнем течении берега пологие с песчаными пляжами, местами заболоченные.

Наблюдения за гидрологическим режимом проводятся с 1947 г., в настоящее время – на гидрологическом посту в деревне Городище Бельничского района и на двух постах в районе Чигиринской ГЭС (на водохранилище и на реке Друть).

В структуре смешанного питания реки явно преобладает снеговое. На долю весеннего стока приходится 54 % его годового объема. Характерной особенностью гидрологического режима реки Друть является зарегулированность речного стока двумя крупными водохранилищами: Тетеринским, расположенным ниже городского поселка Круглое, и Чигиринским – на границе Быховского и Кировского районов. По объему воды (60 млн м³) Чигиринское водохранилище входит в пятерку крупнейших русловых водохранилищ Беларуси. Среднегодовой расход воды в устье составляет 31,6 м³/с. С середины декабря по конец марта река обычно замерзает, но в последние годы данный период существенно сократился.

Весеннее половодье менее продолжительное, чем у крупных рек страны. Во время половодья уровень воды поднимается сравнительно невысоко – на 2–2,5 м. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в деревне Городище 31 марта 1986 г. и достигал 3,69 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на реке Друть за весь срок наблюдений составляет 3,23 м. Самыми

многоводными на ней являются 1931, 1986, 1999 и 2004 гг., когда уровень воды поднимался выше 3,5 м от нуля графика.

Из-за заболоченности поймы рекреационный потенциал незначителен. На берегах реки и водохранилищ размещаются зоны отдыха «Чигиринка», «Малина», «Друть», «Лужки». Судоходство возможно только ниже Чигиринской ГЭС в полноводные годы. Большой уклон водной поверхности и строение речной долины обусловили достаточно высокий гидроэнергетический потенциал реки Друть, на которой функционируют Тетеринская и Чигиринская ГЭС, причем последняя входит в тройку крупнейших действующих гидроэлектростанций страны.

Друть характеризуется развитием водной растительности, которая в верхнем течении покрывает практически все русло, а в нижнем – прибрежную часть. Значительные площади занимают растения гидрофиты и в пределах водохранилищ. В составе ихтиофауны типичны щука, лещ, окунь, плотва, налим, карась, уклейка, густера, язь, жерех, сом. В составе прибрежной и водной растительности в пойме реки из занесенных в Красную книгу видов встречается касатик сибирский.

Отсутствие крупных промышленных центров обусловило достаточно хорошее качество воды в реке Друть. По среднему показателю уровня загрязнения она относится к категории относительно чистой (ИЗВ менее 1). Однако вследствие чернобыльской аварии река практически на всем протяжении загрязнена радионуклидами. И хотя уровень загрязнения территории за четверть века заметно снизился, тем не менее практически вся долина реки Друть находится в зоне загрязнения цезием-137 от 10 до 185 кВк/м². Как и у Днепра, в донных отложениях стариц и в живых организмах уровень загрязнения в разной степени превышает ПДК.

Сож

Второй по водности и протяженности приток Днепра – Сож – относится к семерке больших рек по общей длине. Его общая длина составляет 648 км, из них 493 км – в пределах Беларуси. По общей длине из белорусских притоков Днепра Сож уступает только Припяти. Он берет начало на Смоленской возвышенности, в 12 км южнее Смоленска, протекает по территории Смоленской области России, Могилевской и Гомельской областей Беларуси и впадает в Днепр в городском поселке Лоев на границе с Черниговской областью Украины. От-

носителю происхождения названия реки есть несколько версий, среди которых наиболее вероятной является старобелорусский либо древнерусский корень «сожъ» – выжженные участки леса, подготовленные для распашки.

Сож образует довольно большой речной бассейн площадью 42,1 тыс. км², в том числе на территории Беларуси – 21,5 тыс. км². Общее падение реки в два раза меньше, чем у Днепра, и составляет 111,6 м (в пределах Беларуси – только 41 м), а средний уклон водной поверхности – 0,17 ‰ (в 2 раза больше, чем у Днепра). Из-за неотектонических движений в верхнем течении реки выделяются ступенчатые участки с резким падением русла.

Гидрографическая сеть Сожа имеет древовидную форму и включает 3 410 рек и ручьев общей протяженностью 16 220 км. Более 300 из них частично или полностью канализированы. Густота речной сети уступает среднему по республике показателю и составляет 380 м/км². Крупнейшие правые притоки Сожа – Вихра и Проня, левые – Остер, Беседь и Ипуть.

Сож протекает по Горецко-Мстиславской возвышенности, Оршанско-Могилевской равнине и Приднепровской низменности. В соответствии с этим по гидрологическим характеристикам и строению речной долины Сож делится на три участка: верхний – до устья реки Остер, средний – от Кричева до границы с Гомельской областью и нижний – в пределах Гомельского Полесья.

До устья реки Проня долина Сожа узкая (1–3 км), глубоко-коврижная (20–30 м), хорошо выраженная и имеет трапециевидную форму. На среднем участке ширина долины увеличивается до 5–7 км, а в нижнем течении достигает 20 км. Склоны долины в верхнем течении умеренно крутые, густо пронизаны овражно-балочной сетью и местами достигают в высоту до 40 м, чаще – 15–25 м. В среднем и нижнем течении склоны уменьшаются по высоте и становятся более пологими. Правый берег реки обычно открытый, левый – поросший лесом и кустарником.

Типичными представителями ихтиофауны Сожа являются щука, лещ, окунь, плотва, линь, карась, голавль, густера, судак. Из редких видов, занесенных в Красную книгу, в реке изредка встречается стерлядь, более широко – усач, обыкновенный рыбец и подуст. В составе прибрежной и водной растительности в пойме Сожа отмечены краснокнижные виды: водяной орех, наяда большая, касатик сибирский и др.

Почти на всем протяжении долины четко прослеживаются низкая (1,5–2,5 м) и высокая (3–4 м) пойма и две надпойменные террасы. Пойма обычно двусторонняя и открытая, осложненная ложбинами, староречьями, старицами. Чаше на левобережье выделяется первая надпойменная терраса высотой от 3 до 8 м и шириной до 5 км, имеющая преимущественно аккумулятивное происхождение. Вторая надпойменная терраса значительно шире – до 15–18 км – и занимает высоты от 12 до 22 м.

Русло реки сильно извилистое практически на всем протяжении, с большим количеством стариц, луковин и рукавов, особенно в местах пересечения конечно-моренных гряд. Ширина Сожа постепенно увеличивается от 40–80 м в верхнем течении до 100–125 м (реже 230 м) – в нижнем. Дно обычно ровное, песчаное. Берега до устья реки Проня крутые, высотой до 4 м, ниже – более пологие, однако в отдельных местах обрывы достигают в высоту 12–15 м, а в районе деревни Гайшин Славгородского района превышают 35 м. На пологих берегах в нижнем течении нередко песчаные пляжи.

Гидрологический режим Сожа изучается с 1896 г., когда был открыт гидрологический пост в Славгороде, а спустя два года – в Гомеле. В настоящее время на реке действуют четыре гидрологических поста: в Кричеве, Славгороде, Гомеле и деревне Каськово, на границе с Российской Федерацией. По гидрологическому режиму Сож относится к восточно-европейскому типу со смешанным питанием и выраженным преобладанием в нем снегового (более 50 %). Доля весеннего стока составляет 57 % от годового, а на все остальные сезоны приходится не более 43 %. Особенностью водного режима Сожа являются большие колебания стока по годам. Средний многолетний расход воды в районе Гомеля изменяется от 96,9 м³/с в 1925 г. до 407 м³/с в 1933 г. Среднегодовой расход воды в районе Гомеля составляет 200 м³/с. С начала декабря по конец марта река замерзает, и максимальная толщина льда достигает 60–65 см. В последние годы данный период существенно сократился.

Весеннее половодье обычно начинается в третьей декаде марта – начале апреля и длится 1,5–2,5 месяца. Во время половодья уровень воды повышается на 4–5 м и более. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в Гомеле 27 апреля 1931 г. и достигал 8,34 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Соже за весь срок наблюдений составляет от 4 м в Кричеве до 9,39 м в Гомеле. В Черикове и Славгороде – 5,5–6 м. Самыми много-

водными на реке являются 1931, 1956 и 1986 гг., а самыми маловодными – 1939, 1975 и 2002 гг. Из-за малоснежных зим в последние годы подъем уровня воды значительно снизился, однако в Гомеле в 1986, 1994 и 2004 гг. он превышал 6 м.

Характерной особенностью Сожа в верхнем и среднем течении является повышенная мутность воды из-за широкого распространения лессовидных отложений в бассейне реки.

Средняя температура воды летом составляет 19–21 °С. Купальный сезон обычно открывается в начале июня и продолжается до середины августа. На живописных берегах Сожа расположены санатории, зоны и базы отдыха, оздоровительные лагеря. Организовываются теплоходные экскурсии от Гомеля вверх по течению.

На протяжении более чем 370 км – от деревни Борисовичи Климовичского района до устья – Сож судоходен, порт находится в Гомеле. Равнинный рельеф обусловил отсутствие на реке крупных водохранилищ и гидроэлектростанций. Малые колхозные ГЭС ранее функционировали в верховьях реки. По результатам эколого-экономической оценки, проведенной в Центральном НИИ комплексного использования водных ресурсов, на Соже возможно строительство трех ГЭС в районе Черикова, Ветки, а также на участке между Славгородом и Черчерском. При этом ГЭС в районе Ветки может достичь проектной мощности в 17 МВт. Кроме того, возможно строительство еще трех ГЭС на притоках Сожа – реках Беседь и Проня.

В результате аварии на ЧАЭС практически вся территория бассейна Сожа находится в зоне загрязнения радионуклидами. За минувшие годы уровень загрязнения территории значительно снизился, однако вся долина реки ниже Кричева и до Гомеля находится в зоне загрязнения цезием-137 от 20 до 1 480 кБк/м². Как и у Днепра, в донных отложениях стариц и в живых организмах уровень загрязнения в разной степени превышает ПДК.

Отсутствие крупных промышленных центров обусловило достаточно хорошее качество воды в Соже, без учета загрязнения радионуклидами донных отложений. По среднему показателю уровня загрязнения поверхностных вод река практически на всем протяжении относится к категории относительно чистой (ИЗВ менее 1) и только ниже Гомеля – к категории, умеренно загрязненной с ИЗВ от 1 до 2,5.

Припять

Припять образует второй по размерам речной бассейн в пределах Беларуси – 52,7 тыс. км². Река берет начало на западе Украинского Полесья, юго-восточнее д. Голядин Любольского района Волынской области на высоте 168 м и с запада на восток пересекает Полесскую низменность. Общая длина Припяти – 761 км, в пределах Беларуси – 500 км. Она является одной из немногих белорусских рек, которые вытянуты строго в широтном направлении. И верхнее течение Припяти (около 200 км), и нижнее (около 50 км) находятся в Украине, где река впадает в Днепр. Происхождение ее названия связано с распространенным на Полесье славянским термином «припечь», который обозначает песчаный, не покрытый кустарником берег, или пляж.

Припять принимает воды более 800 водотоков общей протяженностью 46,2 тыс. км, поэтому является самым полноводным притоком Днепра. Крупнейшими правыми притоками Припяти являются: Стырь, Горынь, Ствига, Уборть, Словечна, левыми – Пина, Ясельда, Случь, Птичь. Сеть естественных водотоков дополняется мелиоративными каналами и канавами, общая длина которых достигает 12 тыс. км. Густота речной сети в бассейне Припяти составляет 420 м/км², однако на юге бассейна этот показатель значительно ниже.

Общее падение Припяти – 69,5 м, в пределах Беларуси – не многим более 30 м. Небольшой средний уклон водной поверхности (0,09 ‰) обусловил сильное меандрирование и большую извилистость реки.

Припять протекает по Полесской низменности по аллювиальным, озерно-аллювиальным и водно-ледниковым низинам, а в районе Мозыря – вдоль Мозырской гряды. Долина реки очень широкая (70–75 км) и слабо выражена в рельефе с поймой и двумя широкими надпойменными террасами, первая из которых местами достигает в ширину 18 км. В месте пересечения Мозырской гряды долина сужается до 5 км. Пойма реки широкая (8–18 км) и сильно заболоченная, с большим количеством стариц, низких Песчаных островов, староречий. На Мозырской возвышенности пойма сужается до 1–3 км. Местами ширина поймы достигает 30 км. Русло постепенно расширяется от 40–60 м в верховьях до 100–250 м в нижнем течении и даже до 4–5 км в устье (за счет подтопления Киевским водохранилищем).

Благодаря большому количеству стариц и заливов, являющихся хорошими нерестилищами, Припять богата рыбой. Типичными представителями ее ихтиофауны являются щука, лещ, густера, язь, окунь, плотва, линь, карась, судак, сом, голавль. Из редких видов, занесенных

в Красную книгу, в реке встречаются стерлядь и подуст, в нижнем течении – усач и рыбец обыкновенный. В составе прибрежной и водной растительности в пойме Припяти отмечены краснокнижные виды: кувшинка белая, водяной перец, водяной орех плавающий, сальения плавающая, росянка промежуточная, наяда большая, касатик сибирский и др.

Берега Припяти в основном пологие, на излучинах местами обрывистые, а дно преимущественно песчаное. В среднем течении реки вдоль русла сформировались природные береговые валы высотой до 1,5 м. Местами русло обвалованное. В нижнем течении на излучинах обрывистые берега достигают в высоту 8–15 м. В пойме широко распространены луга и низинные болота, на повышенных участках встречаются пойменные дубравы.

Гидрологический режим Припяти изучается с 1838 г. В настоящее время действуют гидрологические посты в городах Пинск, Петриков, Мозырь, Наровля, а также в деревнях Качановичи и Черничи. Для Припяти характерно смешанное питание с преобладанием снегового, благодаря чему 60 % годового стока приходится на весну. Среднегодовой расход воды в Столинском районе составляет $116 \text{ м}^3/\text{с}$, в Мозыре – $383 \text{ м}^3/\text{с}$, а в устье увеличивается до $450 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальный расход воды в Мозыре фиксировался в 1895 г. и достигал $5\,670 \text{ м}^3/\text{с}$, а минимальный – в 1921 г. ($22 \text{ м}^3/\text{с}$).

Особенностями гидрологического режима Припяти является растянутое весеннее половодье, которое длится около трех месяцев из-за равнинного рельефа и наличия южных правых и северных левых притоков с разными сроками подъема уровня воды. Вторая особенность – короткая летняя межень (100–120 дней), часто прерываемая летними и осенними дождевыми паводками. Замерзает Припять в начале декабря, а вскрывается в конце марта. Толщина льда обычно составляет 55–65 см, в отдельные теплые зимы последних лет река не замерзает.

Весной уровень воды поднимается невысоко, обычно на 2–3 м, но затопливается значительная территория. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в Петрикове 3 апреля 1979 г. и достигал 9,33 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Припяти за весь срок наблюдений составляет от 3,01 м возле Пинска до 7,81 м в Петрикове. В Мозыре и Наровле – около 7 м. Самыми многоводными являются 1895, 1958, 1979 и 1999 гг. Несмотря на снижение мощности снежного покрова в последние годы подъем уровня воды на многих гидропостах среднего течения Припяти пре-

вышел отметку в 5 м в 1979, 1981, 1994, 1999 и 2005 гг. (в 1999 г. – 9,01 м в Петрикове).

Средняя температура воды летом – 20–21 °С. Продолжительность купального сезона – 90 дней. Вдоль Припяти расположены такие природоохранные территории, как Национальный парк «Припятский», ландшафтные заказники «ПроСтырь», «Мозырские Овраги», «Стрельский» и самый крупный по площади ландшафтный заказник «Средняя Припять».

Песчаные пляжи и живописные ландшафты предопределили большое рекреационное значение Припяти, но после аварии на ЧАЭС ее хозяйственное значение резко ухудшилось. На берегах реки размещены санаторий «Сосны» (возле Мозыря), ДРОЦ «Сидельники» (Мозырский район), туристский комплекс «Лясковичи», санаторий-профилакторий Мозырского государственного педагогического университета и т. д. Организовываются туристические теплоходные экскурсии.

Припять, как и Днепр, в наибольшей степени пострадала от аварии на Чернобыльской АЭС. В зоне загрязнения радионуклидами оказалась вся река, несмотря на то, что к настоящему времени уровень загрязнения территории значительно снизился, Припять практически на всем протяжении остается в зоне загрязнения цезием-137 от 10 до 185 кБк/м². Нижнее течение реки на границе с Украиной находится в пределах Полесского радиационно-экологического заповедника – в 30-километровой зоне отселения с уровнем загрязнения от 185 кБк/м² до 1 480 кБк/м². Самоочищение поймы способствовало снижению загрязнения воды в водотоках до уровня, не превышающего ПДК, однако загрязнение донных отложений в старицах нередко превышает ПДК, а в рыбе, питающейся донными организмами, уровень загрязнения на порядок выше ПДК.

Отсутствие крупных промышленных центров обусловило сравнительно хорошее качество воды на всем протяжении Припяти. По качеству воды река относится к категории относительно чистой (ИЗВ менее 1). Река судоходна на всем протяжении в пределах Беларуси и имеет большое транспортное значение. Днепроовско-Бугским каналом Припять связана с Западным Бугом, а Огинским каналом – со Щарой (система Немана). По Микашевичскому каналу, а далее по Припяти осуществляется транспортировка щебня с Микашевичского месторождения. На Припяти расположены речные порты в Пинске и Мозыре, пристани в Турове, Петрикове, Наровле. Равнинный рельеф обусловил отсутствие на реке крупных водохранилищ и гидроэлектростанций.

Птичь

Второй по протяженности приток Припяти после Горыни и первый по длине в пределах Беларуси – Птичь. Это одна из немногих крупных рек Беларуси, полностью, от истока до устья, расположенная в пределах страны. Ее общая длина – 421 км. Птичь берет начало на Минской возвышенности на 1 км западнее деревни Нарейки Дзержинского района на высоте 295 м над уровнем моря, недалеко от высшей точки Беларуси. Она протекает по территории Минской, Могилевской и Гомельской областей и впадает в Припять возле деревни Вадимовичи Петриковского района. Название реки, очевидно, произошло от славянского слова «птица» либо от балтского «putytls» (птенец).

В составе ихтиофауны Птичи типичны щука, лещ, окунь, плотва, налим, карась, уклейка, густера, язь, пескарь. Из редких видов, занесенных в Красную книгу Беларуси, в верхнем течении реки изредка встречается форель ручьевая, в нижнем – обыкновенный подуст. В составе прибрежной и водной растительности в пойме Птичи из краснокнижных видов отмечен касатик сибирский.

Птичь образует речной бассейн площадью 9 470 км². Общее падение реки составляет 176 м, что значительно больше, чем у остальных крупных и средних рек Беларуси. Соответственно и средний уклон водной поверхности – 0,4 ‰, что в несколько раз больше, чем у большинства крупных рек страны. Птичь характеризуется высокой скоростью течения, особенно в пределах Минской возвышенности.

Водосборный бассейн имеет грушевидную форму: в пределах верхнего течения его ширина не превышает 20 км, и он как бы вклинивается между бассейнами Немана и Свислочи, а далее расширяется почти до 100 км в нижнем течении реки. На довольно большом протяжении граница водосбора Птичи является Черноморско-Балтийским водоразделом. Птичь не имеет крупных притоков кроме реки Оресса, впадающей в нее справа в Октябрьском районе Гомельской области. Многие небольшие реки и ручьи в пределах бассейна частично или полностью канализированы. В то же время густота речной сети превосходит средний по Беларуси показатель и составляет 480 м/км².

Река протекает по Минской возвышенности, далее по западной части Центральноберезинской равнины и Полесской низменности. По гидрологическим характеристикам, строению речной долины и русла Птичь делится на два примерно равных по протяженности участка: верхний – до д. Дараганово Осиповичского района и нижний – от д. Дараганово до устья.

Преимущественно сельскохозяйственное использование территории речной долины, отсутствие крупных промышленных центров обусловило достаточно хорошее качество воды в Птичи. По среднему показателю уровня загрязнения поверхностных вод река относится к категории относительно чистой (ИЗВ менее 1).

Долина реки почти на всем протяжении трапецевидной формы шириной от 1,5 до 5,5 км, за исключением Минской возвышенности, где она в основном не превышает 100–200 м. В нижнем течении долины несколько расширяется и становится слабо выраженной в рельефе.

Пойма обычно двусторонняя и открытая, осложненная старицами в нижнем течении. На первом участке от истока реки пойма узкая, шириной от 60 до 300 м, а в нижнем течении она увеличивается до 1–3 км, достигая местами 5 км (около д. Песчанка Осиповичского района).

Русло реки сильно меандрирует практически на всем протяжении, образуя большое количество стариц, рукавов, островов. Ширина Птичи постепенно увеличивается от 5–10 м в верхнем течении выше устья реки Осачанка до 45–70 м – в нижнем. Берега крутые и обрывистые высотой до 1,5 м, в нижнем течении более пологие с песчаными пляжами, местами заболоченные.

Наблюдения за гидрологическим режимом организованы с 1894 г., в настоящее время они проводятся на двух гидрологических постах в деревнях Дараганово и Лучицы. По гидрологическому режиму река относится к восточноевропейскому типу со смешанным питанием, в котором незначительно преобладает снеговое. Характерной особенностью гидрологического режима и строения речной долины Птичи является то, что во время половодья часть ее воды через реки Титовка и Тремля переливается в Свислочь. Средний многолетний расход воды сильно изменяется по годам, например в районе гидропоста Лучицы – от 5,76 м³/с в 1915 г. до 800 м³/с в 1931 г. Среднегодовой расход воды составляет около 50 м³/с. С середины декабря до середины марта река обычно замерзает.

Весеннее половодье начинается в конце марта и длится от 1,5 месяцев в верхнем течении до 2,5 месяцев – в нижнем. Во время половодья уровень воды поднимается сравнительно невысоко – на 2–3 м. Наибольший уровень воды во время весеннего половодья фиксировался в деревне Лучицы 11 марта 1999 г. и достигал 3,95 м. Разница между наибольшим и наименьшим уровнями воды на Птичи за весь срок наблюдений не превышала 3 м. Самыми многоводными на реке явля-

ются 1931, 1956 и 1999 гг., а самыми маловодными – 1951, 1963 и 1992 гг.

Заболоченность поймы обусловила незначительный рекреационный потенциал реки, однако на живописных берегах размещаются зоны отдыха «Птичь», «Чаровница», «Оресса», «Городок» и др. Организовываются преимущественно пешеходные, реже лодочные маршруты. Из природоохранных территорий следует отметить биологические заказники республиканского значения «Омельнянский», «Фаличский Мох», «Октябрьский» и ландшафтный заказник «Тресковщина» в районе истока реки.

Из-за равнинного рельефа в среднем и нижнем течениях Птичи отсутствуют крупные водохранилища, за исключением расположенного в верховье Волчковичского с воднолыжной базой. По результатам изучения необходимо заполнить табл. 1.1.

Таблица 1.1. Гидрологические характеристики реки

Река	Площадь бассейна, тыс. км ²	Общая длина реки, км	Ширина долины, км	Средняя ширина русла, м	Среднегодовой расход воды, м ³ /с	Наибольший уровень воды, м

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите самую крупную реку Республики Беларусь.
2. Охарактеризуйте реки по площади бассейна.
3. Охарактеризуйте реки по ширине долины и русла.
4. Дайте характеристику рек по среднегодовому расходу и уровню воды.
5. Назовите реку, на которой расположено больше всего гидроэлектростанций.

Практическое занятие 2. СОСТАВЛЕНИЕ ПРИРОДНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАСЕЙНА РЕКИ

Цель практического занятия – освоение методики составления природно-экономической характеристики бассейна реки, выданной по заданию.

В природно-экономической характеристике приводятся данные о местоположении участка реки, основные климатические показатели, сведения о земельном фонде и его распределении, основные водопотребители и их особенности, имеющиеся водные ресурсы.

При водопотреблении воду изымают из водных объектов, часть которой после использования возвращается в этот же или другой водный объект (например, при испарении), а часть теряется безвозвратно, так как входит в состав вырабатываемой продукции.

Основными водопотребителями являются промышленность, коммунальное водоснабжение и сельскохозяйственное орошение. Последнее потребляет около половины воды, используемой в народном хозяйстве. Возвратные воды имеют, как правило, иной качественный состав, и для возможности дальнейшей биологической очистки и использования этих вод их необходимо разбавлять.

При составлении природно-экономической характеристики бассейна реки используются исходные данные задания, географические карты, справочные материалы [4, 5, 6], а также данные табл. 2.1, 2.2.

Таблица 2.1. **Природно-экономическая характеристика бассейна реки**

Показатели	Единица измерения	Расчетный створ
1. Валовая площадь бассейна реки (площадь водосбора) В том числе:	тыс. га	
1.1. Сельхозугодья	% / тыс. га	
1.2. Лес	% / тыс. га	
1.3. Кустарник	% / тыс. га	
1.4. Прочие земли	% / тыс. га	
2. Фонд переувлажненных земель (от п. 1)	% / тыс. га	
3. Мелиорированные земли (от п. 1.1)		
3.1. Осушаемые	% / тыс. га	
3.2. Орошаемые	% / тыс. га	
4. Земли, требующие противозерозионных мероприятий (от п. 1):		
4.1. Лесозащитных	% / тыс. га	
4.2. Закрепления песков и оврагов	% / тыс. га	

Примечания: 1. В прочие земли входят площади, занимаемые населенными пунктами, карьерами, торфоразработками, дорогами и т. п.

2. Процентное соотношение выдается по варианту.

Далее определяются располагаемые расчетные водные ресурсы табл. 2.3. Они определяются для заданных расчетных обеспеченностей.

Таблица 2.2. Технико-экономическая характеристика бассейна реки

Показатели	Единица измерения	Расчетный створ
1. Площадь водосбора	тыс. га	
2. Численность населения, всего	чел/га / тыс. чел.	
В том числе:	чел/га / тыс. чел.	
2.1. Сельское	чел/га / тыс. чел.	
2.2. Городское	% / тыс. чел.	
3. Общественные места (от п. 2):		
3.1. Школы	% / тыс. чел.	
3.2. Больницы	% / тыс. чел.	
3.3. Бани	% / тыс. чел.	
3.4. Общежития	% / тыс. чел.	
4. Животноводческий сектор	гол/га / тыс. гол.	
4.1. КРС	гол/га / тыс. гол.	
4.2. Свиньи	гол/га / тыс. гол.	
5. Машинно-тракторный парк	ед/га / тыс. ед.	
5.1. Автомшины	ед/га / тыс. ед.	
5.2. Тракторы	ед/га / тыс. ед.	

Примечания: 1. Табл. 2.2 заполняется по данным прил. 1 и 2.

2. В п. 4 и 5 показатели принимаются от площади сельхозугодий.

Под расчетной обеспеченностью подразумевают вероятное число лет в процентах от общего числа лет всего расчетного периода, когда обеспечена гарантированная водоотдача. Расчетная обеспеченность является одной из главных исходных величин при разработке водохозяйственных балансов. Чем выше ее значение, тем устойчивее и надежнее функционирование водохозяйственного комплекса.

От расчетной обеспеченности зависят высота плотин, расход насосных станций, мощность гидростанций, размеры поперечного сечения крупных каналов и т. п. Соответственно росту масштаба намечаемых водохозяйственных мероприятий увеличивается и их стоимость. Вместе с тем снижение расчетной обеспеченности приводит к ограничению или перебоям подачи воды или энергии соответствующим предприятиям, что сопровождается ростом материального ущерба.

Расчетная обеспеченность определяется в условиях неопределенности с учетом экономической оценки народно-хозяйственного ущерба, вызываемого сокращением подачи воды.

Типовое распределение стока по зонам Республики Беларусь в процентах от годового приведено в табл. 2.4.

Таблица 2.3. Располагаемые ($P = 75$ и $P = 95$ %) расчетные водные ресурсы бассейна реки _____ на 20__ г.

Расчетный створ	Площадь водосбора, F , тыс. га	Обеспеченность, P , %	Годовой слой стока, W , млн m^3	Распределение стока по месяцам, млн m^3											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Примечание. Годовой слой стока принимается из задания.

Расчет годового объема стока W (млн m^3) производится по формуле

$$W = F \cdot h \cdot 10^{-2}, \quad (2.1)$$

где F – площадь водосбора, тыс. га;

h – годовой слой стока, мм.

Таблица 2.4. Типовое распределение стока по месяцам в процентах от годового стока

Зона	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Северная	1,8	1,6	3,4	49,5	20,7	4,5	2,3	1,8	1,3	3,9	6,1	3,1
Северо-западная	2,7	2,3	8,6	47,7	16,5	4,2	2,4	1,8	1,9	3,4	4,6	3,9
Западная	5,0	4,1	16,8	27,8	10,4	6,8	4,7	3,2	3,6	6,0	4,9	6,7
Южная	5,4	2,6	39,3	21,3	10,4	3,4	1,6	1,3	1,0	1,2	2,5	10,0
Восточная	3,0	2,2	4,8	42,1	22,8	5,3	1,4	1,3	3,3	4,5	6,0	3,3

Вопросы для самоконтроля

1. Каким образом находится валовая площадь бассейна реки?
2. Каким образом определяется численность населения и посетителей общественных мест?
3. По какой зависимости определяется годового объем стока?
4. Приведите определение расчетной обеспеченности.

Практическое занятие 3. СОВРЕМЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ИХ САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

Цель практического занятия – овладеть методикой расчетов водопотребления и водоотведения участниками водохозяйственного комплекса.

Водопотребление и водоотведение. Определение объемов потребления воды различными участниками ВХК проводится по их техническим показателям и нормам удельного водопотребления (прил. 3 и 4). При этом учитываются неравномерность потребления воды в отдельных отраслях в течение года (орошение), применение водосберегающих и экологически чистых систем, технологии и ряд других факторов.

Годовые объемы водопотребления и данные о его распределении по месяцам заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Водопотребление участников ВХК бассейна реки _____
в створе на расчетный 20__ г., тыс. м³

Водопотребители	Водопотребление по месяцам					За год
	1	2	3	и т. д.	12	
1. Коммунально-бытовое водоснабжение						
1.1. Городское						
1.2. Сельское						
1.3. Общественные места						
Итого ...						
2. Орошение						
3. Животноводческий сектор						
3.1. КРС						
3.2. Свиньи						
Итого ...						
4. Машинно-тракторный парк						
4.1. Автомашин						
4.2. Тракторы						
Итого ...						
5. Предприятия						
5.1. Молокозавод						
5.2. Маслозавод						
5.3. Хлебозавод						
5.4. Свеклосахарный завод						
5.5. Кирпичный завод						
5.6. ЖБИ						
Итого ...						
Всего п. 1...5						

Коммунально-бытовой сектор. Объемы воды для коммунально-бытового водоснабжения населения определяются по заданной численности сельского (N_c) и городского (N_r) населения, по нормам водопотребления на одного жителя $q_{к. б.}$, зависящим от степени благоустроенности района жилой застройки. Годовой объем (тыс. м³) определяется по формуле

$$W_{к. б. г} = t \cdot q_{к. б.} \cdot N_i \cdot k \cdot 10^{-3}, \quad (3.1)$$

где t – число дней в году;

$q_{к. б.}$, N_i – соответственно норма водопотребления и численность сельского и городского населения, л/сут и тыс. чел.;

k – коэффициент, учитывающий культурно-бытовые расходы воды населенных пунктов (столовые, душевые, орошение газонов, уборка улиц и т. д.) и принимаемый равным 1,1...1,15.

Следовательно, месячный объем потребляемой воды, тыс. м³,

$$W_{к. б. м} = W_{к. б. г} / 12. \quad (3.2)$$

Потребление воды в общественных местах (школах, больницах, банях и пр.) (тыс. м³) определяется по формуле (3.1).

В дальнейших расчетах объемы потребления воды в общественных местах можно суммировать.

Сельскохозяйственное водоснабжение. Сельскохозяйственное водоснабжение включает хозяйственно-бытовые потребности в воде сельских населенных пунктов, животноводческих ферм и комплексов, машинно-тракторного парка.

Годовая потребность в воде определенного вида сельскохозяйственных животных, птиц, рыб ($W_{ж}$, тыс. м³) определяется по формуле

$$W_{ж} = t \cdot q_{ж} \cdot N_i \cdot k \cdot 10^{-3}, \quad (3.3)$$

где $q_{ж}$ – норма водопотребления i -го вида, л/сут на 1 ед.;

N_i – численность животных, тыс. гол.;

k – коэффициент, принимаемый равным 1,1...1,2.

Потребность в воде на содержание, обслуживание или ремонт тракторного, автомобильного парков, ремонтных мастерских ($W_{мт}$, тыс. м³) рассчитывают по формуле

$$W_{мт} = t \cdot q_{мт} \cdot N_i \cdot k \cdot 10^{-3}, \quad (3.4)$$

где $q_{мт}$ – норма водопотребления на единицу, л/сут;

N_i – количество мест на стоянке или в мастерских, тыс. шт.;

k – коэффициент, принимаемый равным 1,15...1,20.

Месячная потребность в воде на орошение (W_i , тыс. м³) определяется по заданной площади $F_{ор}$ (тыс. га) и ординатам графика гидромодуля q (л/с на 1 га) с учетом КПД (η) оросительной системы

$$W_i = (t \cdot q_i \cdot F_{ор} / \eta) \cdot 10^{-3}, \quad (3.5)$$

где t – количество секунд в месяце ($t = 2,63 \cdot 10^6$), с;

$\eta = 0,85...0,90$ – для оросительных систем дождевания.

Водоснабжение местной промышленности. К местной промышленности относятся предприятия по переработке сельскохозяйственного сырья (мяса, молока, зерна, овощей, шерсти и т. д.) или по выпуску строительных изделий из песка, гравия, глины, и других местных строительных материалов (железобетон, кирпич, шифер и т. д.).

Объем потребляемой воды в местной промышленности

$$W_{пр} = t \cdot q_{пр} \cdot B_{пр} \cdot k \cdot 10^{-6}, \quad (3.6)$$

где $W_{пр}$ – годовое потребление воды i -го вида промышленности, тыс. м³;

t – количество расчетных периодов в году (365, 12, 1);

$q_{пр}$ – норма водопотребления, л/сут на единицу продукции;

$B_{пр}$ – программа промышленного предприятия (т, м³ и т. д.) за расчетный период (сут, мес., год);

k – коэффициент, принимаемый равным 1,10...1,15.

Водоотведение. Объем возвратных вод (тыс. м³) в расчетном стоке определяется исходя из объема водопотребления отраслью ($W_{потр}$), места размещения водозабора, сброса сточных вод и с учетом их безвозвратных потерь по формуле

$$W_{воз} = \alpha_i \cdot W_{потр}, \quad (3.7)$$

где α_i – коэффициент возврата, который может быть ориентировочно принят для коммунально-бытового водоснабжения 0,80...0,85, сельскохозяйственного (исключая орошение) – 0,75...0,85, орошения – 0,15...0,18, промышленности – 0,85...0,90.

Результаты расчетов водоотведения сводятся в табл. 3.2.

Таблица 3.2. **Водоотведение участников ВХК бассейна реки _____**
в створе на расчетный 20__ г., тыс. м³

Водопотребители	Водоотведение по месяцам					За год
	1	2	3	и т. д.	12	
1. Коммунально-бытовое водоснабжение						
2. Орошение						
3. Животноводческий сектор						
4. Машино-тракторный парк						
5. Предприятия						
5.1. Молокозавод						
5.2. Маслозавод						
5.3. Хлебозавод						
5.4. Свеклосахарный завод						
5.5. Кирпичный завод						
5.6. ЖБИ						
Итого ...						
Всего п. 1...5						

Санитарно-техническое состояние водных ресурсов. При оценке санитарно-технического состояния водных ресурсов учитываются:

- 1) причины, источники, виды и степень загрязнения водотоков и водоемов;
- 2) воздействие вод на окружающую среду;
- 3) влияние мелиоративного и водохозяйственного строительства на гидрологический режим водотока и интересы отдельных водопотребителей и водопользователей;
- 4) степень загрязнения возвратных вод (по данным задания);
- 5) присутствие в зоне используемых водоемов (водоисточников) потенциальных источников загрязнения (промышленных предприятий, животноводческих ферм и др.).

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «водопотребление».
2. Раскройте сущность понятия «водоотведение».
3. Что такое норма водопотребления, от чего она зависит и как определяется?
4. Как рассчитать месячную потребность воды на орошение?

Практическое занятие 4. СОВРЕМЕННЫЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС И ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Цель практического занятия – освоение методики расчета водохозяйственного баланса и анализа его результатов.

Водохозяйственным балансом (ВХБ) называют соотношение между наличием водных ресурсов и их потреблением в пределах одного или нескольких речных бассейнов. Водохозяйственный баланс закладывается в основу разработки комплексных водохозяйственных систем, позволяет оценивать эффективность отдельных решений проблемы, увязывать и корректировать эти решения для достижения оптимального использования водных ресурсов.

С ростом водопотребления растет и роль водохозяйственных балансов речных бассейнов, экономических регионов и др. В настоящее время в водном хозяйстве различают четыре вида ВХБ: отчетные, оперативные, на ближайший прогноз (плановые) и дальний прогноз (перспективные).

Отчетные ВХБ отражают уже достигнутую степень использования водных ресурсов. Они раскрывают зависимость между поступлением и расходом воды за отчетный период и служат для анализа роста водопотребления в отдельных районах страны, условий его обеспечения, эффективности работы существующих водохозяйственных систем, целесообразности использования водных ресурсов и выявления возможностей более рационального расходования воды.

Оперативные ВХБ разрабатывают на текущий год или предстоящий сезон для особенно напряженных по водопотреблению речных бассейнов или их частей в целях наиболее эффективного распределения ожидаемых водных ресурсов между отдельными объектами или отраслями народного хозяйства.

Водохозяйственные балансы на ближайший прогноз (плановые) разрабатывают с учетом государственных прогнозов развития народного хозяйства. Они включают перечень и объем водохозяйственных мероприятий, необходимых для выполнения прогнозов (планов) развития народного хозяйства.

Водохозяйственные балансы на дальние прогнозы (перспективные) составляют на перспективу развития народного хозяйства для правильного учета и оценки влияния водного фактора на размещение и развитие производительных сил, определения видов, характера и объема опережающих мероприятий, необходимых для водообеспечения народ-

ного хозяйства в отдаленном будущем и обоснования долгосрочных планов научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ. Все виды ВХБ включают оценку прихода и расхода воды; сопоставление этих частей баланса между собой и получение его результирующей части; анализ результирующей части и разработку необходимых рекомендаций.

В состав приходной части ВХБ включают речные воды (с выявлением регулирующей роли водохранилищ); подземные воды, использование которых не ведет к снижению речного стока; возвратные воды, поступающие в реку выше исследуемых створов (коллекторно-дренажные, шахтные, сточные и др.).

В состав расходной части ВХБ включают последовательно вдоль водотока все потребности в воде населения, промышленности, сельского и рыбного хозяйств, гидроэнергетики, водного транспорта, все расходы, необходимые для сохранения рек как элементов природного ландшафта, поддержания в них благоприятного гидрохимического и гидробиологического режимов и др.

При составлении ВХБ учитывают физико-географические условия района, взаимосвязи между поверхностными и подземными водами и их нестабильность, качество воды по отдельным участкам, антропогенное влияние на водные ресурсы и экономические особенности района или речного бассейна, предъявляющие свои специфические требования к методам оценки водных ресурсов и потребностей в воде. Поэтому правильное составление ВХБ – весьма сложная работа, требующая обобщения гидрологических, водохозяйственных и технико-экономических исследований и расчетов.

Водохозяйственные балансы составляют для каждого экономического района или речного бассейна. При этом решаются следующие вопросы:

- оцениваются количественная и качественная стороны поверхностных и подземных источников;
- выявляются требования различных водопользователей и устанавливаются безвозвратные потери воды;
- определяются объемы воды, которые могут быть предоставлены водопользователям в естественных условиях, а также при проведении дополнительных мероприятий по регулированию стока;
- устанавливаются свободные объемы стока, остающиеся в реке, для использования их за пределами рассматриваемой территории.

В связи с тем что речной сток претерпевает стихийные колебания по сезонам и годам, каждый водохозяйственный расчет производят

с известной степенью приближенности. При этом каждый этап использования водных ресурсов в пределах данного района должен рассматриваться в зависимости от среднегодового стока реки, путем сопоставления ряда вариантов. Большое значение при разработке водохозяйственных балансов имеет учет хозяйственной деятельности человека.

Водохозяйственные балансы составляют обычно для рек или их участков, в пределах которых предполагается возведение водохозяйственных комплексов. На всем протяжении реки происходит перераспределение воды между отдельными водопользователями, поэтому расположенный ниже по реке водопользователь использует сток, перераспределенный верхними водохранилищами, а также воду из притоков, впадающих ниже этих водохранилищ. В связи с этим исходные гидрологические данные должны базироваться на общем для всех водопользователей периоде времени и быть представленными в виде гидрографов приточности в каждый из бьефов рассматриваемой водохозяйственной системы. Следует увязать между собой гидрологические и гидравлические характеристики на участке реки, для которого составляется водохозяйственный баланс.

Вопросы регулирования стока водохранилищами и объемами воды, используемыми в различных целях, решаются на основе вероятностных методов, учитывающих сочетание лет различной водности.

В водохозяйственных балансах не выделяют подземные воды в самостоятельную категорию, способную удовлетворить соответствующие отрасли народного хозяйства. Это связано с тем, чтобы не переоценить возможности использования водных ресурсов в данном районе. Как правило, подземные воды являются источником питания речного стока. Их можно учитывать в верховьях некоторых бассейнов, где еще не наблюдается их выходов в речные русла.

В отдельных случаях при наличии мощных водоносных горизонтов их нужно рассматривать отдельно, учитывая в первую очередь удовлетворение потребностей питьевого водоснабжения. Необходимость этого определяется постоянством режима и высоким качеством подземных вод. Все эти резервы при разработке водохозяйственных балансов должны рассматриваться самостоятельно.

Водохозяйственные балансы связываются с прогнозами размещения производительных сил, в особенности в маловодных районах. При дефиците воды заменяют участников водохозяйственного комплекса (например, вместо выработки энергии на гидростанциях переходят к тепловым или атомным электростанциям, водный транспорт заменяют железнодорожным или автомобильным, сильно благо-

любивые культуры – менее влаголюбивыми). При оценке эффективности использования воды устанавливаются не только размеры водопотребления и безвозвратных потерь, но и данные о степени влияния на них различных видов водопользования.

Сточные воды сбрасываются в водоемы и водотоки после требуемой очистки, с тем чтобы поддерживать источники в надлежащем санитарном состоянии. При этом сточные воды, не поддающиеся необходимой очистке, должны отводиться в особые, безопасные для населения места либо соответствующим образом разбавляться свежей водой. В случае невозможности повторного использования их включают в объем безвозвратных потерь.

При разработке ВХБ предусматриваются все возможные меры к сокращению безвозвратных потерь воды (внедрение систем оборотного и последовательного использования воды, экономия воды, сокращение оросительных норм и др.). В случае дефицита воды рекомендуется исключать отдельные участки водохозяйственного комплекса и размещать их в районах, богатых водными ресурсами.

Анализ ВХБ позволяет оценить возможности района или речного бассейна в отношении водоснабжения как в течение ближайшего года, так в перспективе.

Водохозяйственные балансы на дальние прогнозы. Методические основы составления ВХБ. Водохозяйственные балансы на дальние прогнозы составляют из условия развития народного хозяйства с учетом влияния водного фактора на размещение и развитие производительных сил и обоснования долгосрочных планов на проектно-изыскательские работы. Расходные составляющие водохозяйственного баланса для экономического района показаны на рис. 4.1.

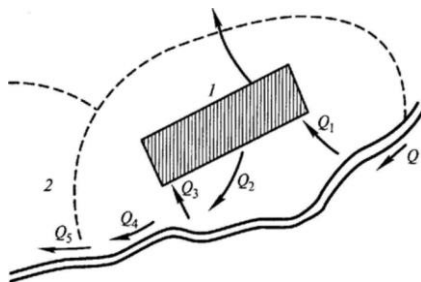


Рис. 4.1. Составляющие водохозяйственного баланса:
1, 2 – районы, для которых разрабатываются водохозяйственные балансы,
 $Q-Q_5$ – расходы

Для упрощения рассмотрим составляющие к правобережной части территории:

- общий расход воды Q_1 , потребляемой отраслями народного хозяйства;

- общий возвратный расход воды Q_2 , сбрасываемой в реку после использования;

- часть возвратного расхода воды Q_3 , которая могла быть использована повторно в районе 1; этот расход представляется как

$$Q_3 = \alpha Q_2, \quad (4.1)$$

где $\alpha = 0,1-0,5$;

- наименьший допустимый расход Q_4 в реке по требованиям санитарных норм, судоходства, отдыха и для разбавления сточных вод;

- требуемый минимальный расход воды Q_5 на рассматриваемом участке реки в маловодный год с обеспеченностью 95 %:

$$Q_5 = Q_1 - Q_3 + Q_4. \quad (4.2)$$

Тогда общие потери воды на речном участке в пределах района 1 составят

$$Q_6 = Q_1 - Q_2. \quad (4.3)$$

Приходная часть водохозяйственного баланса (водные ресурсы) в пределах рассматриваемого района состоит из ряда составляющих.

Поступление воды V_1 на данную территорию определяется по следующей формуле:

$$V_1 = V_1' - V_1'' + V_1''' + V_1''', \quad (4.4)$$

где V_1' – естественный приток поверхностных и подземных вод с соседних водосборов;

V_1'' – возвратные воды с вышерасположенных участков;

V_1''' – поверхностный и подземный стоки, формируемые в границах собственного водосбора;

V_1'''' – переброска воды из соседних речных бассейнов.

При прогнозировании использования водных ресурсов учитывается их регулирование за счет использования объема водохранилищ, расположенных в границах рассматриваемого района V_2 :

$$V_2 = V_2' - V_2'' + V_2''', \quad (4.5)$$

где V_2' – «сработка» водохранилищ;
 V_2'' – наполнение водохранилищ;
 V_2''' – потери воды на фильтрацию и испарение.

Общий объем зарегулированного стока, который может быть предоставлен всем водопользователям данного района V_3 , составляет:

$$V_3 = V_1 - Q_2. \quad (4.6)$$

Расход воды в русле реки, который будет поступать в нижерасположенный район 2 V_4 , равен

$$V_4 = V_3 - Q_6. \quad (4.7)$$

Избыток располагаемого стока сверхнаименьшего допускаемого расхода в реке (исходя из вышеизложенных требований) V_5 составляет

$$V_5 = V_4 - Q_4. \quad (4.8)$$

Рассмотрим составление водохозяйственного баланса для района, расположенного в бассейне одной из рек. Основными водопользователями в нем являются водоснабжение промышленности и населения, тепловые электростанции, орошение, судоходство, здравоохранение. Водные ресурсы речного бассейна достаточны для удовлетворения внутренних нужд водопользователей без переброски воды из бассейнов соседних рек.

Расчеты выполнены для маловодного года (с обеспеченностью 95 %), при этом расходная и приходная части водохозяйственного баланса представлены в миллионах кубических метров за каждый месяц. Все составляющие водохозяйственного баланса соответствуют принятым обозначениям.

В осенне-зимние месяцы избыток стока, который можно использовать в дальнейшем для различных хозяйственных нужд, крайне незначителен. Поэтому в перспективе потребуется перераспределение стока, что можно осуществить за счет создания дополнительных водохранилищ.

Водохозяйственный балансовый анализ производится на трех уровнях: в целом по стране (по обобщенным показателям); по отдельным водопотребителям и водопользователям (орошение, водоснабжение, гидроэнергетика и т. п.); по отдельным водохозяйственным районам.

Анализ выявляет требования к количеству, качеству и срокам использования воды. Для определения этих показателей в рамках рассматриваемого региона устанавливаются состав водопотребителей и их раз-

мещение на территории бассейна, масштабы развития водопотребителей, нормы водопотребления и ожидаемые тенденции их изменения. Водохозяйственные балансы составляются отдельно по подземным и поверхностным водам.

Положительный баланс достигается при условии

$$Q_3 - Q_n > 0, \quad (4.9)$$

где Q_3 – эксплуатационные запасы или естественные ресурсы подземных вод;

Q_n – суммарный отбор подземных вод.

При отрицательном балансе рассматривают возможности компенсации недостающего объема их за счет увеличения забора поверхностных вод, искусственного восполнения и обогащения подземных вод. Водохозяйственные балансы по подземным водам составляют на несколько лет.

Водохозяйственный баланс поверхностных вод составляют для каждого участка реки при 50%-ной обеспеченности, а также за год, месяц и сезон для средnezасушливых (75, 80, 85%-ной обеспеченности) и остроzасушливых (95%-ной обеспеченности) лет при заданных уровнях развития народного хозяйства.

Водохозяйственный баланс поверхностных вод B равен

$$B = C - \Delta C - \psi - C_t + \Delta V, \quad (4.10)$$

где C – сток с рассматриваемой территории;

ΔC – сток, формирующийся на участке;

ψ – потребление воды на участке;

C_t – требуемый транзитный сток в замыкающем участке створа в соответствии с требованиями санитарных норм, судоходства, отдыха, рыбного хозяйства и разбавления сточных вод;

ΔV – наполнение (–) или сработка (+) водохранилищ.

$$\psi = Q_p - \Delta Q_p - q, \quad (4.11)$$

где Q_p – суммарный отбор воды из реки для водопотребителей и подача на другие участки территории;

ΔQ_p – уменьшение речного стока за счет отбора подземных вод;

q – промышленные, коммунально-бытовые, дренажные и другие сточные воды, которые поступают в реку на участке и могут быть использованы повторно.

Графическая интерпретация водохозяйственного баланса поверхностных вод представлена на рис. 4.2.

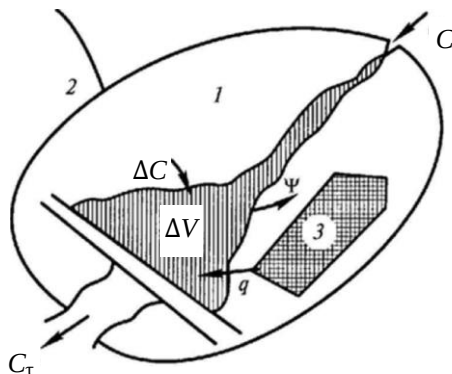


Рис. 4.2. Графическая интерпретация водохозяйственного баланса:
 1, 2 – районы водохозяйственного баланса; 3 – отрасли народного хозяйства;
 С – сток с рассматриваемой территории; ΔC – сток, формирующийся на участке;
 ψ – потребление воды на участке; q – промышленные, коммунально-бытовые, дренажные и другие сточные воды, которые поступают в реку на участке и могут быть использованы повторно; $C_{\text{т}}$ – требуемый транзитный сток в замыкающем участке створа в соответствии с требованиями санитарных норм, судоходства, отдыха, рыбного хозяйства и разбавления сточных вод; ΔV – наполнение (–) или сработка (+) водохранилищ

Ресурсы поверхностных вод в водохозяйственном балансе учитывают, как объем годового стока и его внутригодовое распределение. Приходная часть представляет собой естественные водные ресурсы, использование которых экономически целесообразно на данном этапе развития производительных сил общества. Расходная часть включает потребности в воде всех водопотребителей (использующих водные ресурсы с изъятием воды из источников) и водопользователей (без изъятия воды из источников). Соотношение между приходной и расходной частями водных ресурсов представляет результат баланса.

В практической деятельности возможны различные соотношения между расходной и приходной частями водных ресурсов. Водные ресурсы достаточны в том случае, когда их распределение во времени во всех точках территории может обеспечить водопотребление с учетом необходимых транзитных пусков, т. е. $B > 0$. В этом случае нет дефицита воды и возможно развитие потенциала народного хозяйства в данном регионе.

При $B < 0$ отмечается дефицит ресурсов воды, который можно устранить путем регулирования стока или его перераспределением.

Если баланс отрицателен (для 95%-ной обеспеченности по поверхностному стоку), то в некоторых случаях допускается сокращение подачи воды менее ответственным потребителям. В этом случае потребление воды на участке составляет

$$\psi' = k_1 Q_p - \Delta Q_p - k_2 q; \quad (4.12)$$

$$C' = k_3 C_{\tau}, \quad (4.13)$$

где k_1, k_2, k_3 – понижающие коэффициенты, равные 0,8–1.

Ограничения разрешается вводить для систем водяного орошения сельскохозяйственных культур, речного транспорта, гидроэнергетики и рыбного хозяйства. При этом необходимо технико-экономическое обоснование с учетом ущерба от сокращения подачи воды.

Для водных балансов используют результаты натурных наблюдений за атмосферными осадками, речным и подземным стоками, испарением и транспирацией.

Сопоставление потребностей народного хозяйства в воде с ресурсами речного стока показывает, что в целом по стране водные ресурсы превышают водопотребление с учетом сохранения в реках минимального стока, необходимого для обеспечения требования охраны водных ресурсов, запросов рыбного хозяйства, судоходства и других водопользователей.

В ряде случаев водохозяйственные балансы составляют с учетом качества воды. Обеспечение участников водохозяйственного комплекса водой требуемого качества и в достаточном количестве представляет большие трудности, поскольку требования различных отраслей хозяйства к качеству воды различны и нередко противоречивы.

Отчетные водохозяйственные балансы. Методические основы составления ВХБ. Водохозяйственные балансы, оценивающие наличие и степень использования водных ресурсов, предназначены для научно обоснованного прогнозирования использования и распределения вод. Их применяют при разработке схем комплексного использования и охраны вод и в текущей деятельности по регулированию использования и охране вод.

Отчетные водохозяйственные балансы (ОВХБ) разрабатывают в целях анализа фактического использования водных ресурсов, контроля за ходом выполнения прогнозов развития водного хозяйства и для получения материалов, необходимых для выбора площадок под строи-

тельство новых объектов, выдачи лицензий на специальное водопользование, корректировки графиков проведения мероприятий по регулированию, рациональному использованию и охране вод в процессе текущей водохозяйственной деятельности. Отчетные ВХБ составляются по данным за прошедший период, учитывающий исходную информацию и время для ее обработки.

Особенностью отчетных водохозяйственных балансов является возможность разработки нескольких вариантов в представлении расходной и приходной частей.

Отчетные водохозяйственные балансы составляются для варианта В_I, оценивающего соотношения между естественными ресурсами заданной обеспеченности и фактическими потребностями в воде, для варианта В_{II}, оценивающего соотношения между фактическими ресурсами данного года и фактическими потребностями в воде. При этом наряду с количественными характеристиками определяются показатели качественного состояния воды, ее пригодность для водопользования.

Выводы анализа ОВХБ должны учитываться при подготовке и корректировке строительных, проектно-изыскательских и научно-исследовательских планов и программ в области водного хозяйства рассматриваемой территории. Эти материалы используют при освещении состояния водного хозяйства в прогнозных проектных документах. При составлении балансов учитывают утвержденные схемы комплексного использования и охраны вод.

Расчетные створы и участки для составления балансов рассматривают в границах речных бассейнов последовательно «сверху вниз». Результаты баланса по верхнему участку используются для составления баланса для нижерасположенного участка. Балансы в границах административных и экономических районов устанавливаются сводкой или выборкой данных по балансам, входящих в эти районы (или включающих их) речных бассейнов.

При анализе ОВХБ по стране в целом рассматривают бассейны только крупных рек. При анализе ОВХБ по экономическим районам – бассейны средних рек (притоков крупных рек или самостоятельно впадающих в море рек) и участки крупных рек.

Расчетные створы (разделение речных бассейнов и их частей на участки) для составления ОВХБ принимают в соответствии с перечнем расчетных створов, участков и подучастков речных бассейнов, принятых кадастровой информацией, и данных по учету вод и их использованию. Дополнительные створы выбирают с учетом сложившегося харак-

тера использования водных ресурсов, размещения основных водопотребителей, расположения водохранилищ, створов впадения крупных притоков, пересечения административных границ, пунктов гидрометрических наблюдений, зон природного формирования речного стока и других факторов. Балансовые участки нумеруют последовательно вдоль главной реки, включая участки по выделяемым ее притокам. Разделение речных бассейнов на участки показывают на мелкомасштабных картах или в виде схематической диаграммы, иллюстрирующей взаимосвязь по речному потоку между отдельными участками (рис. 4.3).

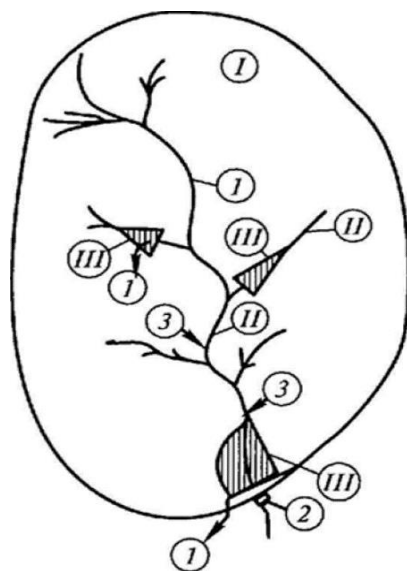


Рис. 4.3. Система управления ВХК бассейна:

I – система формирования стока (водосборная площадь); II – система транспортировки стока (русло водостоков, каналы); III – система регулирования стока (водохранилища); 1 – объекты недопотребления; 2 – объекты водопользования; 3 – объекты водоотведения

Следует отметить, что превышение отбора подземных вод их эксплуатационных запасов допускается в тех случаях, когда имеется надлежащее обоснование восполняемости ресурсов в последующие периоды.

Состояние баланса по поверхностным водам рассчитывается следующим образом:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 - \Delta Q_7 - \Delta Q_8 - Q_9 - T \geq 0, \quad (4.14)$$

где Q_1 – объем поверхностных вод, поступающих на участок с выше-расположенных балансовых участков;

Q_2 – объем поверхностных вод, формирующихся на участке (с учетом особенностей природного круговорота воды и влияния хозяйственной деятельности на водосборе);

Q_3 – «сработка» (+) или наполнение (–) за интервал имеющихся на участке прудов и водохранилищ;

Q_4 – отбор поверхностных вод на участке;

Q_5 – поступление воды на участок извне по искусственным каналам или трубопроводам;

Q_6 – сточные, возвратные, шахтные и другие воды, образующиеся на участке и поступающие в его пределах в речную сеть;

ΔQ_7 – уменьшение речного стока, вызванное отбором подземных вод;

Q_8 – потери на дополнительное испарение с поверхности прудов и водохранилищ;

Q_9 – переброска воды за пределы участка;

T – требуемый попуск (транзитный сток) в конце участка.

Анализ совместной обеспеченности поверхностными и подземными водами имеет вид

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 - \Delta Q_8 - \Delta Q_9 - Q_{10} - Q_{11} - T \geq 0, \quad (4.15)$$

где Q_{10} – объем подземных вод, отбираемых из недр за интервал (гидравлически независимых от поверхностных), $0 < Q_{10} < Q_{12}$;

Q_{11} – суммарный отбор воды на участке, равный

$$Q_{11} = Q_4 + Q_{12}. \quad (4.16)$$

Результаты расчетов по формулам (4.14) и (4.15) должны давать одну и ту же оценку состояния балансов по поверхностным водам.

Объем речных вод через нижний для участка створ равен

$$Q_{12} = Q_1 + Q_2 \pm Q_3 - Q_4 + Q_5 + Q_6 - \Delta Q_8 - Q_9 \geq 0 \quad (4.17)$$

или

$$Q_{12} = Q_1 + Q_2 \pm Q_3 + Q_5 + Q_6 - \Delta Q_8 - Q_9 + Q_{10} - Q_{11} \geq 0. \quad (4.18)$$

Безвозвратные потери воды по отношению к поверхностным водам составляют

$$P = Q_{11} - Q_6 + \Delta Q_8 + Q_9 - Q_{10}. \quad (4.19)$$

В зависимости от сочетаний приходной и расходной статей могут быть составлены и проанализированы четыре варианта ОВХБ. Наличие и степень использования водных ресурсов оцениваются сравнением расчетных ресурсов речных вод $Q(P)$ и фактического использования воды, т. е. используется баланс вида $B_1 = Q(P) - R^\Phi$. Если имеет место повышенное фактическое использование водных ресурсов, обусловленное их обилием, баланс вида B_1 не позволяет выявить полностью резервы водообеспечения или же преувеличивает размеры дефицита воды. Напротив, если в маловодный год имело место фактическое ограничение использования воды, баланс вида B_1 преувеличивает размеры избытка воды или же преуменьшает расчетный ее дефицит. Поэтому следует составлять ОВХБ еще для следующих случаев:

$$B_{II} = Q^\Phi - R^\Phi; \quad (4.20)$$

$$B_{III} = Q(P) - R^{пл}; \quad (4.21)$$

$$B_{IV} = Q^\Phi - R^{пл}, \quad (4.22)$$

где $R^{пл}$ – расходная статья баланса по прогнозированным на отчетный год элементам;

Q – приходная статья баланса по фактическим данным.

Разрешение на новое водопользование и для текущего регулирования использования и охраны вод выдается с учетом значений первого варианта отчетного водохозяйственного баланса. Система ОВХБ дает достаточно полную картину соотношений между ресурсами и использованием воды, позволяющую выявлять различные ситуации водохозяйственной деятельности.

Определение элементов приходной части ОВХБ. Сток обеспеченности $Q_2(P)$, формирующийся на каждом балансовом участке, определяется научно-исследовательскими организациями. По мере накопления новых данных следует их уточнять.

Ресурсы, формирующиеся на рассматриваемой территории, учитывают поправки $\pm \Delta Q_2$, характеризующие влияние хозяйственной деятельности на речной сток. В числе основных факторов следующие:

- рост урожайности в богарном земледелии;
- осушение земель;

- сокращение площадей дикой влаголюбивой растительности;
- уменьшение поверхности затопления пойм вследствие регулирования стока;
- урбанизация территорий;
- изменение местного влагооборота;
- изменение степени лесистости и распаханности территории.

Виды хозяйственной деятельности (орошение, безвозвратное водопотребление, регулирование стока и т. д.) входят непосредственно в ОВХБ. При определении $Q_i(P)$ по участкам речных бассейнов учитывают несовпадение колебаний водности рек по территории и используются гидрографы календарного года, водность которого в основных створах близка к требуемой. Сведения о ресурсах подземных вод принимают по данным оценки их апробируемых эксплуатационных запасов.

Степень взаимосвязи подземных вод с поверхностными определяют в соответствии с материалами оценки эксплуатационных запасов подземных вод. Объемы отбираемых из недр подземных вод, гидравлически не связанных с речным стоком, определяют как часть из всего объема используемых подземных вод, так как являются не только исходными данными, но и расходными характеристиками:

$$Q_{10} = (1 - S)Q_{12}, \quad (4.23)$$

где $0 \leq S \leq 1$ – степень взаимосвязи подземных вод с поверхностными.

Показатели работы водохранилищ $\pm Q_2$ определяют в зависимости от характера регулирования стока (многолетнее или сезонное), назначения водохранилищ (энергетическое, ирригационное, для целей водоснабжения и т. д.). Работу крупных водохранилищ оценивают с учетом данных гидрометеобсерваторий, составляющих ежемесячные и ежегодные водные балансы водохранилищ. Для крупных в хозяйственном отношении водохранилищ используют также графики их работы, согласованные всеми водопользователями. Суммарный (полный и полезный) объем водохранилищ и прудов, расположенных на участке $\sum V$, определяют с выделением (если это представляется возможным) многолетней составляющей. Годовой сток (ресурсы поверхностных вод) на участке равен

$$Q_r(P) \geq \sum_{j=1}^m \{Q_j(P) + Q(P)\}. \quad (4.24)$$

Аналогичным образом может быть оценена их норма Q , коэффициент относительного суммарного объема водохранилищ и прудов β , зарегулированная отдача α . По этим данным может быть вычислен прирост к годовому стоку, получаемый за счет многолетнего регулирования:

$$Q_3^M(P) = \alpha(P, \beta)Q_r - Q_r(P) \geq 0. \quad (4.25)$$

Для крупных водохранилищ (с малонарушенным притоком) составляющая α задается. При вычислении баланса величину $Q_3^M(P)$ принимают в качестве начального наполнения при расчете объема водохранилищ и прудов на участке (перед первым расчетным интервалом года), который можно использовать в целях удовлетворения потребностей в воде. Дополнительно к нему используют сезонный составляющий объем $(\sum V - V^M)$, наполнение и сработку которого определяют балансовым расчетом с использованием итерации следующим образом. Расчет баланса начинается при $Q_3 = 0, j = 1, \dots, m$, т. е. без учета работы водохранилищ. При положительном значении баланса во все интервалы года расчет на этом заканчивается. При наличии дефицита воды в отдельные интервалы находят режим сработки, сводящий дефицит воды к возможному минимуму.

Процесс этот может быть автоматизирован по правилу управления работой водохранилищ «по водотоку». Все избытки воды идут на заполнение водохранилищ (с проверкой на переполнение), все дефициты воды покрываются за счет водохранилищ (с проверкой на опорожнение). Символически правило работы водохранилищ «по водотоку» в принятых выше обозначениях записывают следующим образом:

при отрицательном балансе

$$Q_3^M(P) = \begin{cases} B, & \text{если } V_n - B \leq 0; \\ V_n, & \text{если } V_n - B < 0; \end{cases} \quad (4.26)$$

при положительном балансе

$$Q_3^M(P) = \begin{cases} B, & \text{если } V_n + B \geq V_p; \\ V_n, & \text{если } V_n + B > V_p, \end{cases} \quad (4.27)$$

где V_n – полезный объем водохранилищ на начало интервала;

V_p – суммарный располагаемый регулирующий объем в данный маловодный год.

$$V_p = \sum V + V_M + Q_3^M. \quad (4.28)$$

Определение элементов расходной части ОВХБ. Расходную часть ОВХБ находят на основе гидрометрических наблюдений и измерений, а также оценочных расчетов. Фактические значения Q_4 и Q_6 определяют на основании материалов государственного учета. Аналогично устанавливают показатели ΔQ_7 и Q_{10} . Дополнительное испарение ΔQ_8 вычисляют как разность между испарением с поверхности воды $Q_{8п}$ и суши $Q_{8с}$ площади $(A_{вдхр} - A_p)$, где $(A_{вдхр} - A_p)$ – приращение площади водного зеркала за счет создания водохранилища.

Требуемый попуск в нижнем створе определяют с учетом потребления воды всеми участниками водного хозяйства (гидроэнергетики, водного транспорта, речного рыбного хозяйства, охраны рек от истощения и загрязнения). Этот показатель не нормируется, а назначается в зависимости от конкретных условий и согласовывается с заинтересованными учреждениями. Потребности в воде гидроэлектростанций определяются с учетом интересов других отраслей народного хозяйства, а также с соблюдением требований комплексного использования вод. Поддержание нормируемых глубин для водного транспорта, как правило, производится не только за счет пусков, но и путем землечерпания или шлюзования. Заявки на рыбохозяйственные пуски принимаются с использованием накопленных научных данных.

Если на одной и той же реке имеется несколько водопользователей, то требования к величине расходов воды для каждого из них должны устанавливаться отдельно.

Показатели качества воды при составлении ОВХБ учитываются с целью оценки качественного состояния водных ресурсов, которое изменяется под воздействием разных природных и антропогенных факторов. Для этой цели используют фактические данные о качестве речных вод и совместно анализируют все имеющиеся данные наблюдений по сезонам отчетного года – летнему и зимнему. Если имеется не более трех измерений, то в расчет принимают худшее значение. Если же за каждый сезон имеется значительное число наблюдений, то фактические показатели качества определяют по кривым обеспеченности. Эмпирическую обеспеченность расчетных (худших) показателей качества речных вод принимают 10–30 % при ухудшении качества с ростом показателей, в противном случае – 70–90 %. Полученные показатели, относимые к летнему и зимнему сезонам отчетного года, обозначают через $K_{лет}^ф$ и $K_{зим}^ф$. Для суждения о состоянии качества речной воды

фактические показатели качества этой воды $K_{\text{лет}}^{\Phi}$ и $K_{\text{зим}}^{\Phi}$ сравнивают с допустимыми.

Для промышленных предприятий, расположенных в населенных пунктах, под требованиями промышленности к качеству речной воды следует понимать требования коммунально-бытового водопользования. Если к качеству речной воды другие участники водного хозяйства требования не предъявляют, то под требованиями к качеству речной воды принимают минимальные требования, удовлетворение которых имеет целью не допустить необратимых процессов в гидробиологическом режиме рек и сохранить способность к самоочищению от поступающих загрязнений. Указанные нормативы по большинству показателей примерно соответствуют качеству сточных вод, прошедших полную биологическую очистку, и удовлетворяют требованиям орошения.

Если в данном створе предъявляется несколько требований к качеству речной воды, за основные требования принимают наиболее жесткие из них. Расчетные требования к качеству речной воды в створе имеют обозначение [K]. В случае обнаруженного загрязнения речной воды отношение

$$\frac{K^{\Phi}[K]}{[K]} 100 \% \quad (4.29)$$

характеризует фактическую степень перегрузки реки загрязнениями. В таких случаях необходимо фиксировать материалы по экономическим и иным последствиям фактического загрязнения речной воды. Для оценки резервов качества речной воды показатели $K_{\text{лет}}^{\Phi}$ и $K_{\text{зим}}^{\Phi}$ могут пересчитываться к условиям водности реки обеспеченностью 95 %. Пересчет учитывает характер изменения естественных (фоновых) показателей качества речных вод в зависимости от водности года, а также изменения способности рек в различные по водности годы разбавлять фиксированные (фактические) объемы загрязнений, поступающих на балансовые участки. Фоновые показатели качества речных вод $K_{\text{фон}}$ получают на основе данных фоновых гидрохимических наблюдений. Естественный гидрохимический режим может быть связан с гидрологическим режимом или быть независимым от него. В первом случае устанавливают связи (графические или аналитические) между водностью рек и гидрохимическими показателями. По этим связям находят показатели качества, соответствующие водности в отчетном году $K_{\text{фон}}$, к расчетной водности обеспеченностью 95 %. При отсутствии связей

показателей гидрохимического режима с водностью рек в расчет принимают среднее значение фоновый показатель качества речной воды. При этом сравнения производят по сезонам года отдельно.

Пересчет следует выполнять по отношению к нижним створам, замыкающим балансовые участки. За расчетные показатели водности реки в этих створах принимают показатели Q_n , минимальные за летний и зимний сезоны с обеспеченностью $Q_n^\Phi = 95\%$. Пересчет производят из условия баланса веществ в створе

$$Q_n^\Phi (K^\Phi - K_{\text{полн}}^\Phi) = Q_n^P (K^P - K_{\text{полн}}^P). \quad (4.30)$$

Если обозначить отношение фактической и расчетной водности через h , то формула пересчета будет иметь вид

$$K^P = h(K^\Phi - K_{\text{полн}}^\Phi) + K_{\text{фон}}^P. \quad (4.31)$$

На практике возможны ситуации, когда фоновые показатели качества речной воды хуже допустимых (по содержанию железа, кислорода, БПК и др.). Такие показатели не могут приниматься за лимитирующие, так как в данных условиях необходима разработка региональных мероприятий.

Иногда необходимо оценивать качество подземных вод. Их ресурсы (естественные ресурсы, эксплуатационные запасы и т. д.) определяют на основании не только количественных, но и качественных характеристик воды (она должна быть пресной, надлежащей чистоты и т. д.). Эти характеристики могут быть дополнены показателями фактического состояния отбираемых подземных вод по данным анализов проб.

Для решения этой задачи необходимо знать водохозяйственный баланс с учетом качества воды и превращения веществ в водотоках, водоемах, а также требования водопользователей к качеству воды. Действующими нормами лимитируется концентрация веществ загрязнений в водном объекте при критических гидрологических ситуациях.

Составление водохозяйственного баланса (ВХБ) заключается в сопоставлении имеющихся водных ресурсов (приходной части) с объемами потребления воды различными отраслями народного хозяйства (расходной части). Водохозяйственный баланс составляется для речных бассейнов, их части или административно-экономических районов для лет различной обеспеченности водными ресурсами: среднего года ($P = 50\%$), среднемаловодного ($P = 75\%$) и маловодного ($P = 95\%$). При проектировании водохозяйственных комплексов обычно в каче-

стве расчетного используют маловодный год обеспеченностью 95 %. Приходная часть ВХБ (располагаемые водные ресурсы) устанавливается по материалам гидрологических наблюдений, обобщенных материалов по стоку. При этом необходимо учитывать антропогенные воздействия на величину стока. Расходная часть ВХБ определяется возможным забором воды на коммунально-бытовые нужды, сельскохозяйственное, промышленное водоснабжение и водообеспечение других потребителей [1].

При составлении ВХБ необходимо учитывать потери воды на испарение и фильтрацию (при наличии водохранилищ), объемы возвратных вод и объемы на их разбавление. Потери воды на испарение и фильтрацию зависят от климатических, геологических, гидрогеологических и других факторов. Приблизительно в расчетах можно принять потери на фильтрацию и испарение в пределах 4...6 % объема водохранилища. Объемы возвратных вод принимаются по вышеизложенной методике и зависят от степени их очистки. В среднем рекомендуется принимать разбавление возвратных вод чистыми в соотношении 1:10. Однако если степень загрязнения возвратных вод составляет больше 10 ПДК, то соотношение разбавления принимается равным числу фактического превышения. Расчеты приводятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Расчетные объемы стока на разбавление возвратных вод (вод водоотведения) в створе бассейна реки _____, тыс. м³

Водопотребители	Распределение по месяцам					За год
	1	2	3	и т. д.	12	
1. Молокозавод						
2. Маслозавод						
3. Хлебозавод						
4. Свеклосахарный завод						
5. Кирпичный завод						
6. ЖБИ						
Итого...						

В целях охраны водоисточника от истощения и загрязнения в водобалансовые расчеты включается минимально допустимый санитарный расход. Это значит, что в любой период маловодного ($P = 95 \%$) года в водотоке должен быть расход воды не менее минимального среднемесячного за период вегетации. За расчетный принимается летний 30-дневный период (месяц) с минимальными расходами [1]. В этом случае в водобалансовые расчеты включается больший из двух расходов – санитарно-допустимый или расход на разбавление.

Водобалансовые расчеты, как правило, ведутся в табличной форме (табл. 4.2).

При анализе результатов расчета водохозяйственного баланса учитывается ряд факторов.

1. Баланс за все расчетные периоды и за год положительный. Водопотребители могут самостоятельно или на договорных началах организовывать водопотребление. Однако неперенным условием остается рациональное использование и охрана водных ресурсов от истощения и загрязнения, что должно быть отражено в предлагаемых технических, агромелиоративных и других решениях.

Таблица 4.2. Современный водохозяйственный баланс поверхностных вод бассейна реки _____ в расчетном створе на исходный 20__ г., тыс. м³

Статьи водохозяйственного баланса	Распределение по месяцам					За год
	1	2	3	и т. д.	12	
1. Располагаемые водные ресурсы (табл. 2.3)						
2. Водопотребление (табл. 3.1, всего)						
3. Водоотведение (табл. 3.2, всего)						
4. Разбавление возвратных вод (табл. 4.1, итого)						
5. Минимально допустимый санитарный сток (при $P = 95\%$)						
6. Баланс: $(1 + 3) - (2 + 4 \text{ или } 5)$						

Примечание. В водобалансовых расчетах считается, что если статья стока на разбавление больше минимально допустимой, то обеспечиваются допустимые санитарные нормы, а если статья 5 больше статьи 4 – обеспечиваются требования разбавления возвратных вод. Поэтому в баланс включается большее из значений статьи 4 или 5.

2. Баланс в отдельные расчетные периоды отрицательный, а в целом за год – положительный. В этом случае на рассмотрение выносятся ряд вариантов:

а) производится увязка баланса за счет урезки норм водопотребления менее требовательным и малоснижающим экономическую эффективность отраслям народного хозяйства [1];

б) предусматривается перераспределение внутри годового стока с помощью прудов и водохранилищ;

в) для отдельных водопотребителей изыскиваются другие источники воды (коммунально-бытовое водоснабжение, подземные воды и т. д.).

3. Годовой баланс отрицательный, а вышеприведенные мероприятия положительных результатов не дают. В связи с этим возможны следующие варианты:

а) разрабатываются схемы переброски стока с более водообеспеченных речных бассейнов с необходимым экологическим и технико-экономическим обоснованием;

б) планируется ликвидация отдельных водоемких предприятий и перенос их в более водообеспеченные районы, или на основании технико-экономических расчетов принимается решение о выходе их из ВХК и переходе на другие схемы (водный транспорт – железнодорожный транспорт, открытый водозабор – артезианские скважины и т. д.).

Водохозяйственный баланс будет увязан в случае его положительного результата при $P = 95\%$ для более ответственных водопотребителей (питьевое водоснабжение, водоснабжение пищевой промышленности, животноводческий сектор) и при $P = 75\%$ – для менее требовательных (орошение, местная промышленность).

Современное и перспективное состояние водного хозяйства характеризуется многоотраслевым характером водохозяйственных мероприятий, которые могут вносить существенные изменения в природные условия, экономику и жизнь населения. Эта специфика требует особого подхода к проектированию комплексного использования и охраны водных ресурсов.

Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов определяют целесообразность, характер, масштабы, очередность, а также экономичность осуществления основных водохозяйственных, гидротехнических и других мероприятий в соответствии с требованиями народного хозяйства.

В зависимости от назначения различаются генеральные, бассейновые и локальные схемы комплексного использования водных ресурсов.

Генеральные схемы разрабатываются для всей страны. Они выявляют основные направления мероприятий по обеспечению потребности в воде и решают задачи в масштабе страны в целом.

Бассейновые схемы разрабатываются по речным бассейнам или отдельным частям. Они уточняют поверхностные и подземные водные ресурсы территорий и районов, материалы для перспективного народно-хозяйственного использования, обосновывают меры по предотвращению эрозии почв, борьбе с наводнениями и другими проявлениями вредного воздействия вод.

Локальные схемы, или схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов отдельных водотоков (рек), на основе технических исследований и экономического анализа определяют характер, масштабы и очередность гидротехнического строительства на реке, обеспечивающего водоснабжение, развитие орошения, использование энергетического потенциала, развитие рыбоводства, водного транспорта, проведение мероприятий по охране природы, защиту от вредных воздействий воды и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое водохозяйственный баланс?
2. Какие виды водохозяйственных балансов вы знаете?
3. Что предусматривает отчетный водохозяйственный баланс?
4. Что предусматривает оперативный водохозяйственный баланс?
5. Что предусматривает плановый водохозяйственный баланс?
6. Что предусматривает перспективный водохозяйственный баланс?
7. Как производится анализ результатов водохозяйственного баланса?

Практическое занятие 5. ПЕРСПЕКТИВА НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАССЕЙНА РЕКИ. ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС

Цель практического занятия – овладение методикой расчета перспективного водохозяйственного баланса.

Перспективные планы использования водных ресурсов составляются с учетом планов развития народного хозяйства. Это позволяет оценить и учесть влияние водного фактора на размещение и развитие производительных сил данного региона. При положительном исходном водохозяйственном балансе ставится цель использовать избытки воды для выработки электроэнергии и развития других отраслей народного хозяйства.

Однако при расчете располагаемых водных ресурсов и водопотребления в перспективе необходимо учитывать их изменение под влиянием хозяйственной деятельности человека. С одной стороны, вырубка лесов, осушение болот, интенсификация сельскохозяйственного производства, отбор подземных вод и ряд других факторов приводят к изменению гидрологического режима и уменьшению объема стока

поверхностных вод. С другой стороны, в ряде случаев повышается водопотребление. Поэтому в перспективных водобалансовых расчетах необходимо учесть уменьшение располагаемых водных ресурсов и увеличение водопотребления. В предварительных расчетах можно принять изменение перспективного водохозяйственного баланса на 8...10 % в сторону уменьшения (см. ст. 6 табл. 4.2).

Результаты расчета перспективного водохозяйственного баланса заносятся в табл. 5.1.

По результатам водобалансовых расчетов с учетом природно-климатических условий и топографического плана заданного участка реки намечаются возможные варианты водохозяйственного комплекса, включающего в свой состав, кроме заданных отраслей, гидроэнергетику, рыбхоз, осушительно-увлажнительные системы, и даются соображения по выбору створа гидроузла.

Таблица 5.1. Перспективный водохозяйственный баланс поверхностных вод бассейна реки _____ в расчетном створе на исходный 20__ г., тыс. м³

Обеспеченность P , %	Годовой объем стока W , тыс. м ³	Распределение по месяцам				
		1	2	3	и т. д.	12

В гидроузле плотинного типа с помощью плотины создается водохранилище, достаточное для годичного регулирования стока, повышающее водообеспеченность участников ВХК. Здание ГЭС располагается в составе водонапорного фронта. Потребность в воде других участников ВХК удовлетворяется строительством самостоятельных водозаборов в верхнем бьефе гидроузла.

Принятая схема гидроузла изображается на топографическом плане. В записке приводится описание намеченной схемы с указанием состава общих и отраслевых сооружений.

Помимо рекомендуемой схемы размещения гидроузла еще могут использоваться деривационная, каскадная и безнапорная схемы.

Вопросы для самоконтроля

1. Сущность перспективных планов использования водных ресурсов.
2. Какие возможности дает расчет перспективного водохозяйственного баланса?
3. Приведите последовательность расчета перспективного водохозяйственного баланса.

Практическое занятие 6. ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Цель практического занятия – освоение методики выполнения водноэнергетических расчетов.

Задачей водноэнергетических расчетов является определение основных параметров ГЭС:

- установленной мощности и выработки электроэнергии;
- расчетных параметров ГЭС и смежных водопотребителей и водопользователей;
- колебаний уровней воды в бьефах и диапазона измерения напоров, а также их конкретных значений (максимального, минимального, средневзвешенного, расчетного) [1].

Водноэнергетические расчеты следует выполнять после водохозяйственных расчетов.

Исходными данными для проведения водноэнергетических расчетов являются:

- полный объем водохранилища ($W_{\text{вх}}$), который может быть принят при соответствующих топографических и геологических условиях как годовой объем избыточного стока из перспективного водобалансового расчета ($W_{\text{г. изб}}$);
- глубина в верхнем бьефе (H_1) и отметка НПУ, которые определяются по $W_{\text{вх}}$ и графику связи объемов и уровней верхнего бьефа (топографическая характеристика верхнего бьефа);
- полезный объем ($W_{\text{пол}}$), который устанавливается по интегральной кривой избыточного стока при полном годичном регулировании его или по оптимальной глубине сработки ($h_{\text{ср}}$) при неполном годичном регулировании;
- мертвый объем ($W_{\text{м. о}}$), который устанавливается как разность полного и полезного.

Определение вида годичного регулирования стока (полное или неполное). Вид годичного регулирования определяется исходя из условий получения максимальной выработки электрической энергии на ГЭС. Максимальной выработке электроэнергии на ГЭС соответствует оптимальная величина сработки водохранилища (м), которая находится в пределах

$$h_{\text{ср. опт}} = (0,15 \dots 0,25)H_1, \quad (6.1)$$

где H_1 – максимальная глубина верхнего бьефа, м.

Фактическая величина сработки $h_{\text{ср. ф}}$ определяется по полезной емкости водохранилища. Для определения полезной емкости водохранилища на миллиметровке вычерчивается интегральная кривая притока воды (избыточного стока) к ГЭС [7]. Подсчет координат интегральной кривой избыточного стока ведется в табличной форме (табл. 6.1). Объем избыточного стока по периодам W_i берется из таблицы перспективного водохозяйственного баланса (табл. 5.1) при обеспеченности $P = 95 \%$.

Таблица 6.1. Подсчет координат интегральной кривой избыточного стока

Месяцы	Избыточный объем стока W_i , тыс. м ³	Расход за период Q_m , м ³ /с	Сумма объемов с нарастающим итогом $\sum W_i$, тыс. м ³

Соединяя начальную и конечную точки интегральной кривой притока, получают интегральную прямую равномерного потребления воды при постоянном зарегулированном расходе $Q_{\text{зар}}$. Вертикальное расстояние между двумя касательными к верхней и нижней точкам интегральной кривой притока, проведенными параллельно интегральной прямой потребления, дает величину полезного объема водохранилища годового регулирования стока ($W_{\text{пол}}$).

По величине полезного объема и топографической характеристике верхнего бьефа определяются $h_{\text{ср. ф}}$ и величина мертвого объема $W_{\text{м. о}}$. Если $h_{\text{ср. ф}} < h_{\text{ср. опт}}$, то делается вывод о целесообразности осуществления полного годовичного регулирования стока, если $h_{\text{ср. ф}} > h_{\text{ср. опт}}$, то принимается неполное годовичное регулирование стока. В этом случае за полезный принимается объем водохранилища, соответствующий оптимальной величине сработки $h_{\text{ср. опт}}$.

Определение зарегулированного расхода и расчетного напора при полном (неполном) годовичном регулировании стока. Величина зарегулированного расхода (м³/с) при полном годовичном регулировании стока равна среднегодовому расходу избыточного стока:

$$Q_{\text{зар}} = W_{\text{г. изб}} / T, \quad (6.2)$$

где $W_{\text{г. изб}}$ – суммарный избыточный годовой сток, м³;
 T – число секунд в году ($T = 31,536 \cdot 10^6$ с).

Вертикальные отрезки между нижней касательной и интегральной кривой притока характеризуют полезные объемы воды в водохранилище в данный момент времени, т. е. режим работы водохранилища.

Для определения возможных напоров ГЭС строится график колебаний уровней воды в верхнем и нижнем бьефах (график напоров). Положение уровней воды в верхнем бьефе ($W_{вб}$) определяется по топографической характеристике в соответствии с объемами воды в водохранилище на конец каждого расчетного периода, объем воды в водохранилище за каждый расчетный период ($W_{вх}$) – как сумма мертвого объема ($W_{м.о.}$) и избыточного за соответствующий расчетный период ($W_{изб. i}$).

При полном годичном регулировании стока уровень воды в нижнем бьефе ($\nabla H_{нб}$) будет постоянным в течение всего года. Он определяется по расходу нижнего бьефа (m^3/c):

$$Q_{нб} = Q_{зар} + Q_{с. п}, \quad (6.3)$$

где $Q_{с. п}$ – санитарные пуски, или расход на разбавление возвратных вод (большая величина).

Разность уровней бьефов дает напор за соответствующий расчетный период.

Все расчеты выполняются в табличной форме (табл. 6.2) и изображаются графически [7].

Таблица 6.2. **Определение возможных напоров ГЭС**

Расчетные периоды	Объем воды в водохранилище ($W_{вх} = W_{м.о} + W_i$), тыс. m^3	Уровень ВБ, м	Расход НБ, m^3/c	Уровень НБ, м	Напор, H_i , м
1...12					

За расчетный принимается средневзвешенный напор (м):

$$H_p = H_{ср. вэв} = \Sigma H_i / 12. \quad (6.4)$$

Определение располагаемых мощностей ГЭС и среднесуточной обеспеченной мощности ГЭС. Располагаемые мощности (кВт) определяются по формуле

$$N = 9,81 \cdot Q_{зар} \cdot H_i \cdot \eta_a, \quad (6.5)$$

где η_a – КПД агрегата ($\eta_a = \eta_t \cdot \eta_r$).

Коэффициент полезного действия турбины (η_T) можно принять равным 0,80...0,85, генератора (η_r) – 0,90...0,92. Расчеты по определению располагаемых мощностей ГЭС сводятся в табл. 6.3.

Расчет обеспеченности (P_i , %) мощностей (графа 5) можно провести по упрощенной формуле

$$P_i = \frac{m_i - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100, \quad (6.6)$$

где m_i – порядковый номер ряда;

n – число членов ряда.

Таблица 6.3. Подсчет располагаемых мощностей ГЭС

Расчет- ные периоды	Напор за период H_p , м	Зарегулиро- ванный расход $Q_{зар}$, м ³ /с	Мощность за период N_p , кВт	Мощность в убывающем порядке, кВт	Обеспе- ченность, %
1	2	3	4	5	6
1...12					

По данным табл. 6.3 (графы 5 и 6) строится график обеспеченности (продолжительности) среднесуточных мощностей ГЭС [7], по которому выбирается среднесуточная обеспеченная мощность ГЭС ($N_{ср.сут}^p$). Для малых ГЭС $N_{ср.сут}^p$ рекомендуется принимать при $P = 70...80$ %.

Определение обеспеченной пиковой мощности ГЭС и расчетного расхода. Поскольку предусматривается годовое регулирование стока, то существует возможность осуществления также и неограниченного суточного его регулирования. При этом полагают, что в энергосистеме других регулирующих электростанций нет, поэтому для проектируемой ГЭС предоставляют верхнюю часть графика нагрузки энергосистемы. В этом случае необходимо отыскать на графике нагрузки энергосистемы такую часть площади, которой в принятом масштабе соответствовала бы суточная выработка электроэнергии (кВт·ч):

$$\mathcal{E}_{сут} = 24 N_{ср.сут}^p \cdot \quad (6.7)$$

Наиболее просто эта задача решается с помощью анализирующей кривой графика нагрузки энергосистемы. Расчеты по определению ее координат проводят в табличной форме (табл. 6.4), предварительно построив график суточной нагрузки энергосистемы [7]. График суточной нагрузки энергосистемы изменяется по часам в зависимости от потребляемой электроэнергии. Для его построения можно использовать следующее выражение по определению нагрузки на энергосистему (кВт):

$$P_i = k_i \cdot N_{\text{ср.сут}}^{\text{р}}, \quad (6.8)$$

где k_i – коэффициенты, принимаемые по заданию;

$N_{\text{ср.сут}}^{\text{р}}$ – среднесуточная мощность ГЭС расчетной обеспеченности.

Таблица 6.4. Подсчет координат анализирующей кривой графика нагрузки энергосистемы

Номер слоя (полосы)	Мощность полосы ΔP_i , кВт	Продолжительность полосы t_i , ч	Энергия полосы $\Delta \mathcal{E} = \Delta P_i \cdot t_i$, кВт·ч	Суммарная энергия $\sum \mathcal{E}_i$, кВт·ч
1	2	3	4	5

По данным табл. 6.4 на графике суточной нагрузки энергосистемы строится его анализирующая кривая. Если отложить $\mathcal{E}_{\text{сут}}$ от вершины анализирующей кривой и опустить вертикаль до пересечения с ней, то получим точку, определяющую нижнюю границу графика нагрузки проектируемой ГЭС. Его максимальная ордината определяет величину обеспеченной пиковой мощности ГЭС ($N_{\text{ср.сут}}^{\text{р}}$). Тогда установленная рабочая гарантированная мощность ГЭС (кВт) будет равна

$$N_{\text{уст}} = N_{\text{пик}}^{\text{р}} + N_{\text{баз}} + N_{\text{рез}}, \quad (6.9)$$

где $N_{\text{пик}}^{\text{р}}$ – пиковая обеспеченная мощность, которая обеспечивается за счет зарегулированного избыточного стока, кВт;

$N_{\text{баз}}$ – базисная мощность, которая обеспечивается расходом санитарных попусков, кВт;

$N_{\text{рез}}$ – резервная мощность, которая принимается равной 10 % от максимальной суточной нагрузки, кВт.

Величина пиковой обеспеченной мощности складывается из двух частей:

$$N_{\text{пик}}^p = N_{\text{ср.сут}}^p + N_{\text{пик}}, \quad (6.10)$$

где $N_{\text{ср.сут}}^p$ – среднесуточная обеспеченная мощность, которая обеспечивается среднесуточным зарегулированным расходом, кВт;

$N_{\text{пик}}$ – пиковая мощность, которая обеспечивается за счет суточного регулирования стока, кВт.

Величина базисной мощности определяется по формуле

$$N_{\text{баз}} = 9,81 \cdot Q_{\text{с.п}} \cdot H_p \cdot \eta_a, \quad (6.11)$$

где $Q_{\text{с.п}}$ – расход санитарных попусков или стока разбавления, м³/с;

H_p – расчетный напор, м;

η_a – КПД агрегата ($\eta_a = 0,75 \dots 0,85$).

Для расчета резервной мощности применяется формула

$$N_{\text{рез}} = 0,1 \cdot P_{\text{max}}, \quad (6.12)$$

где P_{max} – максимальная ордината графика нагрузки энергосистемы, кВт.

Расчетный расход ГЭС (м³/с) определяется из формулы мощности

$$Q_{\text{ГЭС}} = Q_p = N_{\text{уст}} / (9,81 \cdot H_p \cdot \eta_a). \quad (6.13)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Как определить вид годичного регулирования стока?
2. Как определить зарегулированный расход?
3. Как определить расчетный напор при полном (неполном) годичном регулировании стока?
4. Как найти располагаемую мощность ГЭС и среднесуточную обеспеченную мощность ГЭС?
5. Каким образом определить обеспеченную пиковую мощность ГЭС и расчетный расход?

Практическое занятие 7. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОАГРЕГАТОВ МАЛЫХ ГЭС

Цель практического занятия – изучение перспективных гидроагрегатов, применяемых в устройстве малых гидроэлектростанций.

В настоящее время нет общепринятого для всех стран понятия малой гидроэлектростанции (МГЭС), однако во многих странах в качестве основной характеристики такой ГЭС принята ее установленная мощность. Наиболее часто к МГЭС относят гидроэнергетические установки, мощность которых не превышает 5 МВт (в Австрии, Германии, Польше, Испании и др.). В некоторых странах, например, в Латвии и Швеции, малыми называют ГЭС мощностью до 2 МВт, в иных – ГЭС мощностью до 10 МВт (в Греции, Ирландии, Португалии). При этом иногда происходит изменение принятой классификации. Так, в США, где были приняты меры стимулирования развития малой гидроэнергетики, в частности путем упрощения лицензионной процедуры оформления проектов сооружения МГЭС, первоначально к малым относили ГЭС мощностью до 5 МВт, затем верхний предел был увеличен до 15 МВт, а в 1980 г. их максимальная мощность была ограничена 30 МВт. В СССР к малым были отнесены ГЭС, установленная мощность которых не превышала 30 МВт при диаметре рабочего колеса турбины до 3 м.

Нижним пределом мощности МГЭС принято считать 0,1 МВт: гидроэнергетические установки с меньшей мощностью относятся к категории микроГЭС.

С учетом опыта многих стран по отнесению ГЭС к малым представляется возможным рекомендовать считать их таковыми в условиях Беларуси, если установленная мощность гидроэлектростанции находится в пределах 0,1–5,0 МВт.

Современная гидроэнергетика по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии. Малая гидроэнергетика идет в этом направлении еще дальше. Небольшие электростанции позволяют сохранять природный ландшафт, окружающую среду не только на этапе эксплуатации, но и в процессе строительства. При последующей эксплуатации отсутствует отрицательное влияние на качество воды: она полностью сохраняет первоначальные природные свойства. В реках сохраняется рыба, вода может использо-

ваться для водоснабжения населения. В отличие от других экологически безопасных возобновляемых источников электроэнергии, таких как солнце, ветер, малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю. Еще одно преимущество малой энергетики – экономичность. В условиях, когда природные источники энергии (нефть, уголь, газ) истощаются, постоянно дорожают, использование дешевой, доступной, возобновляемой энергии рек, особенно малых, позволяет вырабатывать дешевую электроэнергию. К тому же сооружение объектов малой гидроэнергетики является низко затратным и быстро окупается.

Энергоэкономическая и общественная эффективность освоения в условиях Беларуси располагаемых гидроэнергетических ресурсов определяется следующими преимуществами ГЭС по сравнению с альтернативными им тепловыми электростанциями:

- отсутствием выбросов вредных веществ в атмосферу при функционировании ГЭС;

- относительно низкой себестоимостью вырабатываемой на ГЭС электроэнергии;

- высокой маневренностью ГЭС в процессе обеспечения потребителей электроэнергией, что позволяет вырабатывать более дорогую пиковую электроэнергию, тарифы на которую в несколько раз превышают тарифы на базовую электроэнергию;

- возобновляемостью (неистощимостью) энергоресурсов рек и их повсеместной распространенностью;

- возможностью улучшения многоцелевого (комплексного) водопользования вследствие создания водохранилищ ГЭС.

Учитывая, что стоимость оборудования для малых ГЭС может достигать половины и даже более общей стоимости, очень важными являются подбор оптимальных его вариантов и оптимизация компоновки самого сооружения – подводящих и отводящих устройств.

Рядом зарубежных фирм уже накоплен значительный опыт разработки и изготовления оборудования для малых ГЭС, отечественный же опыт пока не восстановлен. На рис. 7.1 показана компоновка прямо-точной поворотнолопастной горизонтальной гидротурбины с четырехлопастным рабочим колесом, с вынесенным генератором и S-образной отсасывающей трубой, разработанной чехословацким объединением «ЧКД – Бланско» [8].

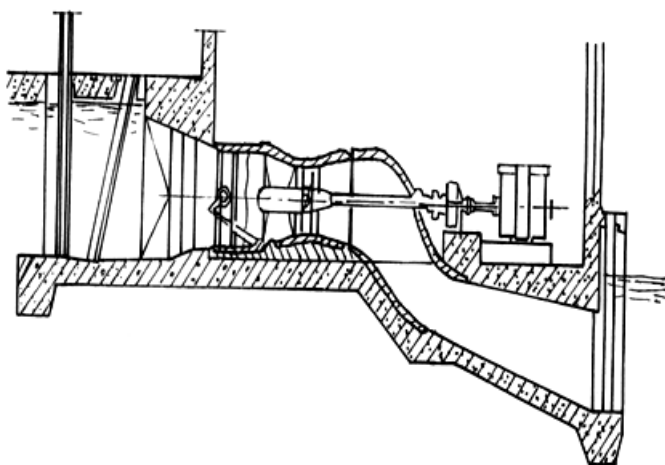


Рис. 7.1. Гидроагрегат с прямоточной горизонтальной гидротурбиной с вынесенным генератором и S-образной отсасывающей трубой

Область применения этих турбин дана в прил. 5. Гидроагрегат с такой гидротурбиной работает в автоматическом режиме как на энергосистему, так и на индивидуальную нагрузку.

Ряд типов гидроагрегатов для малых ГЭС разработан в Японии (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Гидротурбины для малых ГЭС фирмы «Фуджи» (Япония)

Гидротурбина	Напор, м	Мощность, кВт	Диаметр рабочего колеса, см	Частота вращения, об/мин	Расход через турбину, м ³ /с
Прямоточная горизонтальная с S-образной отсасывающей трубой	3...8	500...5 000	80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250	120...750	1,5...40
Компактная горизонтальная капсульная	5...18	150...3 500	125, 140, 160, 180, 200	187,5...500	4,5...25
Прямоточная вертикальная	5...18	100...2 000	80, 90, 100, 112, 140, 160	300...750	2...20

Наибольшее распространение в мире получили погружные гидросиловые установки шведской фирмы «Флюгт» (Flygt). Они представляют собой агрегат, состоящий из полуповоротной лопастной турбины, трехфазного асинхронного генератора и при необходимости планетарного редуктора с большим сроком службы.

Эти компактные закрытые турбоагрегаты работают в полностью погруженном состоянии в диапазоне расходов от 0,7 до 12 м³/с и в пределах напоров от 2,5 до 20 м для выработки номинальной мощности от 40 до 710 кВт.

Основные характеристики поворотно-лопастных гидротурбин с четырехлопастным рабочим колесом для работы при напорах до 26 м и область их применения представлены в прил. 6.

Для напора до 5 м рекомендуется горизонтальная компоновка (рис. 7.2).

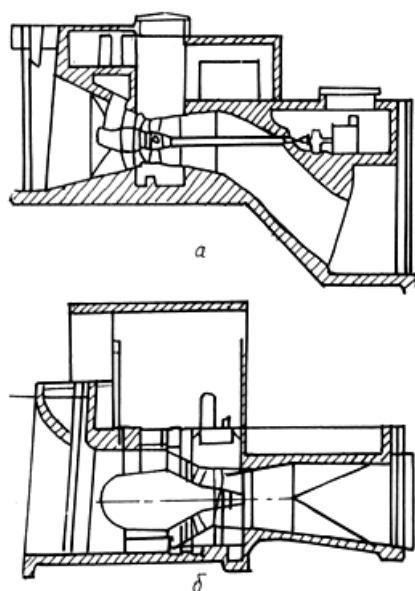


Рис. 7.2. Типовые компоновки агрегатных блоков низконапорных малых ГЭС:
a – прямоточный трубный гидроагрегат с вынесенным генератором ($N = 0,5 \dots 10$ кВт, $H = 4 \dots 25$ м); *б* – капсульный гидроагрегат ($N = 10 \dots 30$ кВт, $H = 7 \dots 20$ м)

Для напоров выше 5 м – вертикальная с изогнутой или прямоосной отсасывающей трубой (рис. 7.3, 7.4).

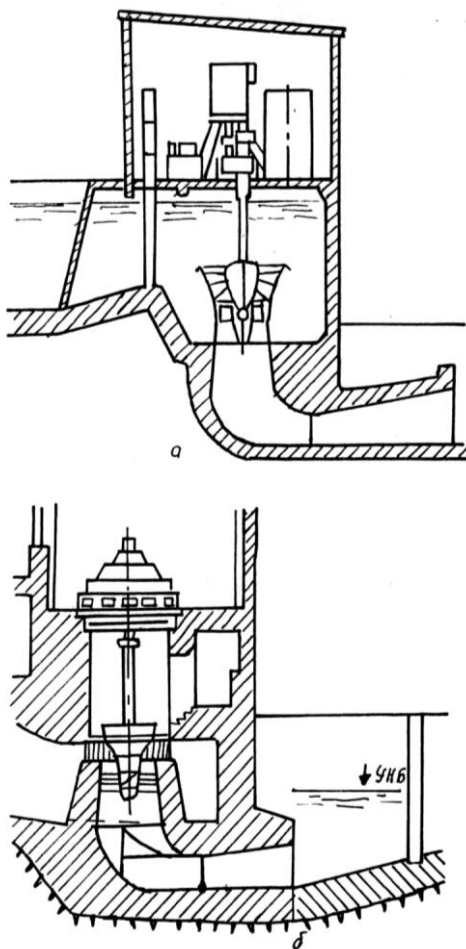


Рис. 7.3. Типовые компоновки агрегатных блоков низконапорных малых ГЭС:
 а – вертикальная с открытой турбинной камерой ($N = 0,5 \dots 5,0$ тыс. кВт, $H = 4 \dots 10$ м);
 б – вертикальная с бетонной спиральной камерой

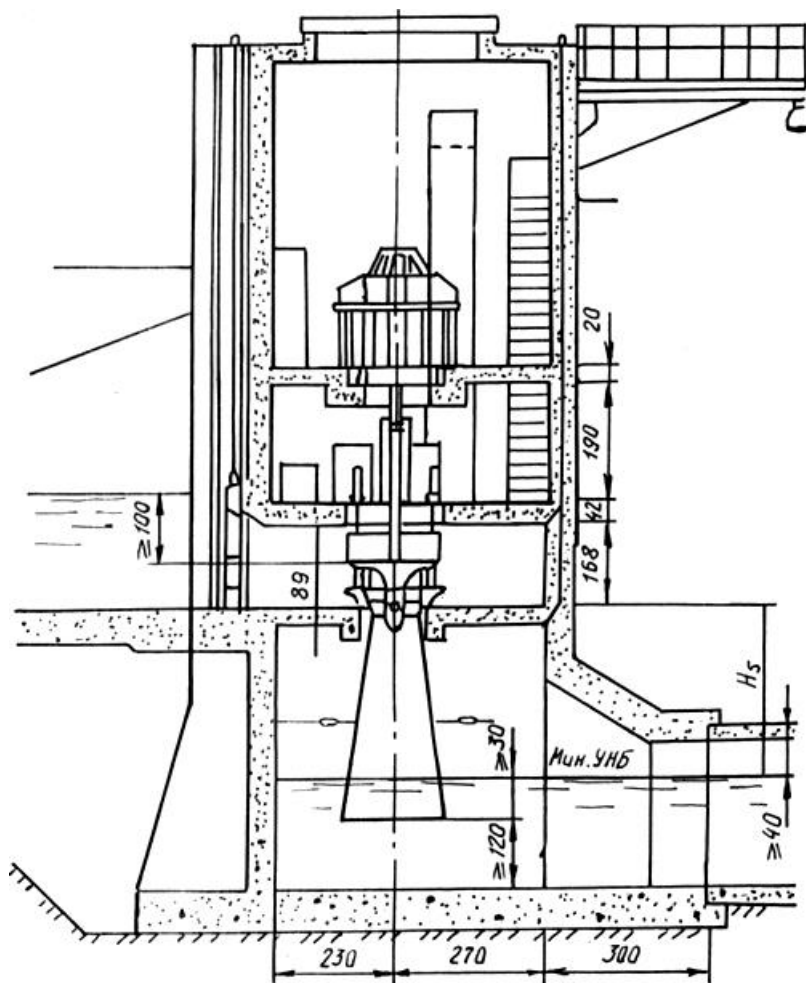


Рис. 7.4. Компонировка здания малой ГЭС с вертикальной осевой гидротурбиной с забором воды непосредственно в турбинную камеру

Характеристика радиально-осевых гидротурбин на напоры до 50 м с горизонтальной или вертикальной компоновкой приведена в прил. 7.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие гидроэлектростанции относятся к малым?
2. Назовите преимущества малой гидроэнергетики.
3. Как производится компоновка поворотно-лопастной турбины?
4. Дайте характеристику радиально-осевых турбин.

Практическое занятие 8. ПОДБОР ОСНОВНОГО ГИДРОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС

Цель практического занятия – освоение методики расчетов и подбора гидросилового оборудования для гидроэлектростанций.

К гидросиловому оборудованию ГЭС относятся турбины и генераторы. Гидравлические турбины преобразуют энергию движущейся воды в механическую энергию вращения рабочего колеса. В зависимости от принципа преобразования энергии турбины подразделяют на активные и реактивные.

Активные турбины используют кинетическую часть энергии потока (скоростной напор). Эти турбины называют также свободноструйными.

Реактивные турбины используют преимущественно потенциальную энергию потока (энергию давления).

Другим важным показателем гидротурбин является их быстроходность, которая наряду с напором определяет частоту вращения турбин. В равных условиях более быстроходная турбина вращается быстрее. Это дает возможность обеспечить приемлемую частоту вращения генератора. Поэтому при больших напорах следует применять тихоходные турбины, при малых – быстроходные.

Коэффициент быстроходности современных турбин n_s изменяется от 2 до 1 200. Наибольшей быстроходностью обладают реактивные турбины, наименьшей – активные.

Быстроходность определяет еще один важный показатель – размеры турбины и генератора. В равных условиях более быстроходная турбина дает меньшие габариты агрегата. Сравнение габаритов рабочих колес гидротурбин разной быстроходности, подобранных для одних и тех же условий, показано на рис. 8.1.

Схема установки с активной турбиной показана на рис. 8.2. Ее рабочее колесо, выполненное в виде диска с насаженными на нем лопастями, располагается в воздушном пространстве над уровнем воды в нижнем бьефе. Вода к рабочему колесу подводится напорным трубопроводом, заканчивающимся соплом с регулирующей иглой. Поток поступает на лопасти в виде свободной струи под атмосферным давлением и располагает только кинетической энергией.

Наиболее распространенной активной турбиной является ковшовая (рис. 8.2). Ее лопасти напоминают ковши, разделенные перегородкой с острой кромкой (ножом) на две части. Нож, плавно разрезая струю, исключает потери энергии на удар (обеспечивает безударный вход потока), чем повышает КПД турбины. Коэффициент быстроходности ковшовой турбины изменяется от 2 до 40 за счет изменения диаметра рабочего колеса. Если к одному рабочему колесу подвести несколько сопл, то быстроходность турбины возрастет в корень квадратный из числа сопл. Как самые тихоходные эти турбины используют при высоких напорах $H = 50\text{--}2\,000$ м.

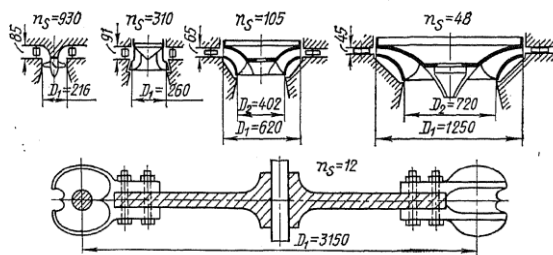


Рис. 8.1. Основные размеры рабочих колес гидротурбин разной быстроходности при $N = 1$ кВт и $H = 1$ м (размеры даны в см)

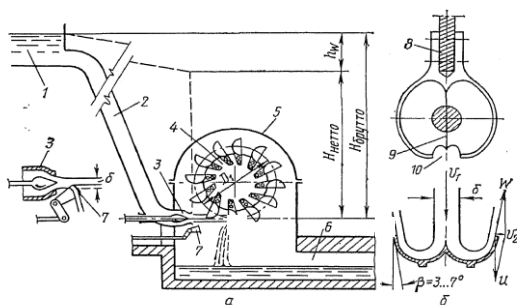


Рис. 8.2. Схема установки с активной (ковшовой) турбиной:
 а – схема установки; б – схема лопасти (ковша); 1 – напорный бассейн;
 2 – турбинный трубопровод; 3 – сопло с регулирующей иглой; 4 – рабочее колесо;
 5 – защитный кожух; 6 – отводящий канал; 7 – отклонитель струи;
 8 – диск рабочего колеса; 9 – нож ковша; 10 – вырез в ковше для пропуска
 струи через ковш, находящийся в неблагоприятном положении к струе

Реактивные турбины – более сложные машины. Их основными элементами являются: рабочее колесо, направляющий аппарат, турбинная камера и отсасывающая труба. Рабочее колесо этих турбин полностью погружено в воду. Вращение колеса обеспечивается в основном за счет разности давления на рабочую и тыльную стороны лопастей.

Реактивные турбины подразделяются на несколько основных типов.

1. Радиально-осевые турбины (РО). Эти турбины имеют коэффициент быстроходности от 70 до 350 и используются при напорах от 15 (при малых размерах) до 500 м. Воду к этим турбинам обычно подводят напорным трубопроводом, который заканчивается спиральной турбинной камерой, откуда вода через направляющий аппарат поступает на лопасти рабочего колеса в радиальном направлении, сходит же с него в осевом. Отсюда следует название турбины. В нижний бьеф вода выходит через отсасывающую трубу. Схема установки с тихоходной РО турбиной показана на рис. 8.3. Радиально-осевые турбины установлены на многих электростанциях с напорами более 50 м.

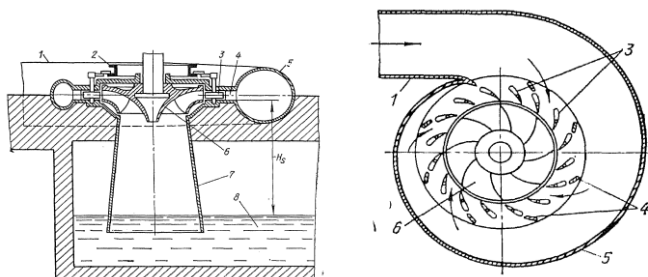


Рис. 8.3. Схема установки с радиально-осевой турбиной: 1 – трубопровод; 2 – поворотное кольцо привода лопаток направляющего аппарата; 3 – лопатки направляющего аппарата; 4 – статорные колонны; 5 – спиральная турбинная камера; 6 – рабочее колесо турбины; 7 – отсасывающая труба; 8 – отводящий канал

2. Пропеллерные турбины (Пр). Эти турбины (рис. 8.4) быстроходны ($n_s = 350\text{--}800$), применяют их при малых напорах (3–20 м). Рабочее колесо турбины напоминает пропеллер (рис. 8.5, а). Поток проходит по рабочему колесу в осевом направлении, поэтому их называют еще осевыми. Число лопастей принимают от 4 до 6. Недосток таких турбин – резкое падение КПД при снижении нагрузки. Высокий КПД наблюдается в очень узком диапазоне мощностей (рис. 8.5, а). Поэтому пропеллерные турбины применяют редко. Использование их целе-

сообразно лишь при мало изменяющейся нагрузке или при большом числе агрегатов.

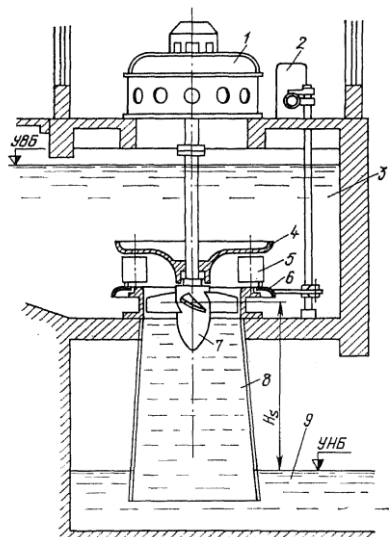


Рис. 8.4. Схема установки с пропеллерной турбиной в открытой турбинной камере:

- 1 – генератор; 2 – автоматический регулятор частоты вращения турбины;
- 3 – турбинная камера; 4 – крышка турбины; 5 – лопатки направляющего аппарата;
- 6 – поворотное кольцо привода лопаток направляющего аппарата;
- 7 – втулка рабочего колеса; 8 – отсасывающая труба; 9 – отводящий канал

3. Поворотно-лопастные турбины (ПЛ). Эти турбины внешне напоминают пропеллерные, но в отличие от последних лопасти ПЛ турбин в процессе работы могут поворачиваться вокруг своих осей (рис. 8.5, б). Поворотом лопастей турбина приспособляется к новому режиму, обеспечивая безударный вход потока на лопасти, благодаря чему сохраняет высокий КПД при любой нагрузке. Ее рабочая характеристика представляет огибающую характеристик пропеллерных режимов (рис. 8.5, б). Число лопастей изменяется от 4 до 8. С увеличением числа лопастей быстроходность турбины снижается. Поворотно-лопастные турбины имеют самую высокую быстроходность ($n_s = 350\text{--}1\,200$), и применяют их при напорах от 4 до 60 м.

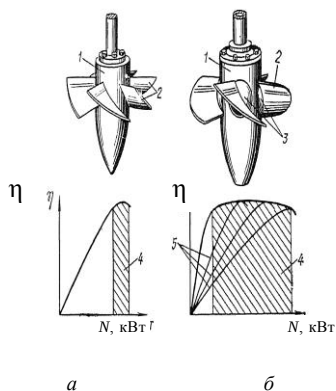


Рис. 8.5. Рабочие колеса и рабочие характеристики пропеллерной (а) и поворотно-лопастной (б) турбин: 1 – втулка рабочего колеса; 2 – лопасти турбины; 3 – поворотная втулка лопастей; 4 – зоны высоких КПД турбины; 5 – характеристики пропеллерных режимов турбины при различных углах установки лопастей

Элементы реактивных турбин. Для создания благоприятного направления потока на лопасти рабочего колеса и регулирования расхода турбины в соответствии с заданной мощностью предназначен направляющий аппарат. У активных турбин направляющим аппаратом является сопло с регулирующей иглой (см. рис. 8.4). У реактивных турбин направляющий аппарат состоит из поворотных лопаток обтекаемой формы, расположенных между опорными кольцами. Поворот лопаток осуществляется с помощью регулирующего кольца 2, приводимого в движение на крупных ГЭС двумя сервомоторами (цилиндрами с поршнями, в которые подается масло под давлением). При развороте лопаток просвет между ними изменяется, чем осуществляется регулирование расхода турбины. Этот просвет α_0 , измеряемый в миллиметрах, называется открытием направляющего аппарата. Для того чтобы лопатки направляющего аппарата не были зажаты между опорными кольцами, устанавливают второй, более редкий ряд неподвижных лопаток 5, называемых статорными колоннами.

Турбинные камеры служат для подвода воды к направляющему аппарату. В малых установках с напорами до 8–10 м используют наиболее простые открытые турбинные камеры прямоугольной формы в плане.

Для крупных гидротурбин (при $D_1 \geq 1,6$ м) используют закрытые турбинные камеры. При напорах до 35–40 м их делают бетонными,

спиральными, с углом охвата $\beta = 135\text{--}225^\circ$. Сечение спирали – тавровое. По конструктивным соображениям оно может быть вытянуто вверх или вниз.

При больших напорах ($H \geq 40\text{--}50$ м) турбинные камеры делают металлическими (см. рис. 8.4). Выполняют их также спиральными, но поперечное сечение улитки круглое. На крупных станциях турбинные камеры заделывают в бетон.

Отсасывающая труба является неотъемлемой частью реактивных турбин и играет очень важную роль в использовании энергии водотока. В реактивных турбинах вода сходит с рабочего колеса еще с достаточно большой скоростью (до 10 м/с) и, следовательно, несет значительное количество неиспользованной кинетической энергии. На низконапорных ГЭС она может составлять 50 % энергии подведенного потока. Для использования этой энергии отсасывающую трубу делают расширяющейся к выходу, благодаря чему давление под рабочим колесом снижается на разность скоростных напоров во входном и выходном сечениях, что равносильно увеличению напора на эту величину.

Подбор оборудования ГЭС производится на основе водноэнергетических расчетов по $N_{\text{уст}}$, H_p и Q_p . Для этого первоначально выбирается число агрегатов с учетом неравномерности графика нагрузки ГЭС, ее мощности и технико-экономических соображений. Следует иметь в виду, что на ГЭС устанавливаются обычно однотипные агрегаты. Число агрегатов обосновывается технико-экономическими расчетами для нескольких вариантов.

В ходе расчетов для каждого варианта определяются размеры турбин и генераторов, габариты здания ГЭС, объемы работ, капитальные вложения и ежегодные издержки, выработка электроэнергии, вытесняемая мощность. Наиболее выгодное число агрегатов принимается по сроку окупаемости дополнительных (по сравнению с заменяющим вариантом) капитальных вложений или по минимуму приведенных затрат.

При относительно небольшой неравномерности графика нагрузки ГЭС и небольшой мощности станции число агрегатов (z) рекомендуется принимать от 2 до 4.

Мощность одного агрегата

$$N_a = N_{\text{уст}} / z, \quad (8.1)$$

а мощность турбины (кВт) при КПД генератора $\eta_r = 0,90\text{--}0,92$

$$N_r = N_a / \eta_r. \quad (8.2)$$

Расход гидротурбины

$$Q_t = Q_p / z, \quad (8.3)$$

где Q_p – расчетный расход ГЭС, $\text{м}^3/\text{с}$.

Используя прил. 5, 6, 7, подбираем 2...3 типа гидротурбин и определяем их основные параметры: D_1, h_s, n_1 .

При окончательном выборе гидротурбины необходимо сделать сравнение по диаметру рабочего колеса, частоте вращения, КПД и высоте отсасывания. При этом необходимо учитывать, что более быстроходные турбины позволяют уменьшить размеры здания ГЭС, но при этом увеличивается высота отсасывания, что ведет к удорожанию строительства и эксплуатации ГЭС.

Допустимая высота отсасывания (м) определяется из выражения

$$H_s \leq h_s - (\nabla/900), \quad (8.4)$$

где h_s – величина, взятая из графиков для конкретной гидротурбины, м;

∇ – высота расположения рабочего колеса гидротурбины, м.

Приведенный расчетный расход ($\text{м}^3/\text{с}$), соответствующий линии 5%-ного запаса мощности на главной универсальной характеристике турбины, определяется по формуле

$$Q'_i = \frac{Q_t}{D_1^2 \cdot \sqrt{H_p}}, \quad (8.5)$$

где Q_t – расход гидротурбины, $\text{м}^3/\text{с}$;

D_1 – номинальный диаметр рабочего колеса, м;

H_p – расчетный напор, м.

Расчетное число приведенных оборотов (n'_i об/мин), соответствующее центральной части главной универсальной характеристики турбины, определяется по формуле

$$n'_i = \frac{n \cdot D_1}{\sqrt{H_p}}, \quad (8.6)$$

где n – частота вращения рабочего колеса гидротурбины, об/мин.

С использованием универсальных характеристик гидротурбин (прил. 8, 9, 10, 11, 12) определяется марка гидротурбины.

Основная характеристика, которая носит название главной универсальной характеристики (рис. 8.6), строится в координатах Q_n . По оси абсцисс откладывают Q_i , а ординат – n_i . На поле универсальной характеристики наносят линии равных КПД модели η , линии равных кавитационных коэффициентов σ , линии равных открытий направляющего аппарата α_0 . Для поворотно-лопастной турбины даются углы φ поворота лопастей; для радиально-осевой турбины – линия ограничения мощности

$$N = 0,95N_{\max}$$

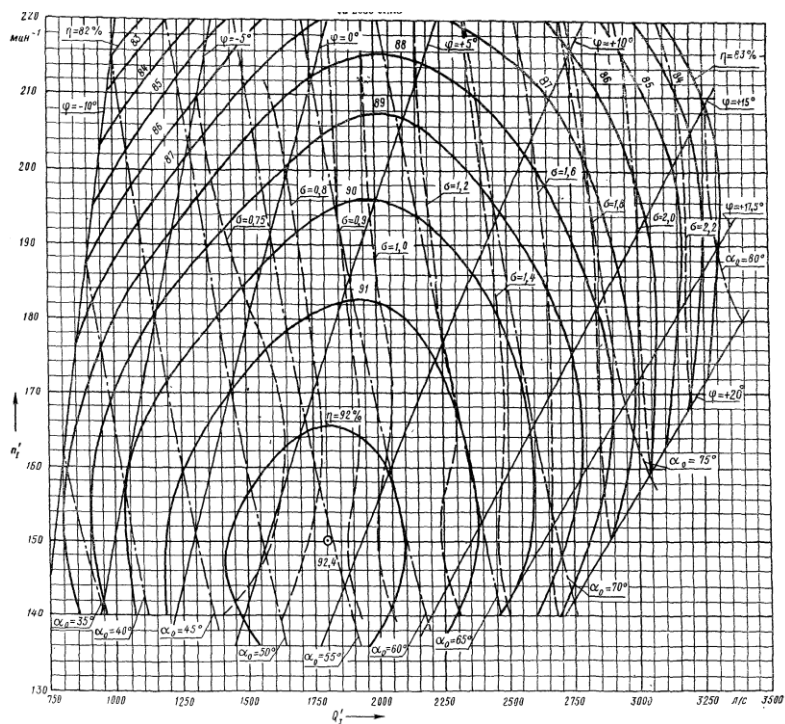


Рис. 8.6. Универсальная энергетическая характеристика гидротурбины типа ПЛ

Таким образом, универсальная характеристика является как бы паспортом испытанной модели. По характеристике можно определить диаметр турбин D , частоту вращения n и предельные высоты отсасывания H_s .

Так как у турбины частота вращения n принимается постоянной, то разная приведенная частота вращения на модели соответствует разным напорам натурной турбины. Увеличение приведенной частоты вращения соответствует уменьшению напора натурной турбины.

Универсальная характеристика турбины строится на основе модельных испытаний.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте характеристику активным турбинам.
2. Охарактеризуйте реактивные турбины.
3. Каким образом рассчитывается расход турбины?
4. Что такое допустимая высота отсасывания?
5. Что такое универсальная характеристика турбины, и какие параметры по ней можно определить?

Практическое занятие 9. КОМПОНОВКА ГИДРОТУРБИННОГО БЛОКА МАЛОЙ ГЭС

Цель выполнения практического занятия – овладение правилами компоновки гидротурбинного блока малой гидроэлектростанции.

При строительстве ГЭС на малых водотоках гидротурбинный блок наряду с плотиной из местных материалов и русловым водосбросом входит, как правило, в состав водоподпорного фронта. В этом случае он состоит из открытого водоприемника, турбинной камеры (может быть совмещена с водоприемником), направляющего аппарата, в котором размещается гидротурбина, и отсасывающей прямоосной или изогнутой трубы [7].

Для низких напоров ($H < 10$ м) и расходов ($5 \dots 10 \text{ м}^3/\text{с}$) целесообразна компоновка малой ГЭС с пропеллерной гидротурбиной в прямоугольной турбинной камере. Для напоров от 10 до 20 м в названном диапазоне расходов наиболее экономичной является компоновка с горизонтальной осевой гидротурбиной и вынесенным в машинный зал генератором. Зона напоров от 20 м и выше перекрывается малыми ГЭС с радиально-осевыми гидротурбинами. Компоновка и габариты агрегатного блока с вертикальными реактивными гидротурбинами определяются в основном размерами проточной части гидротурбин.

Турбинные камеры. Для напоров $H \leq 6 \dots 10$ м и $D_1 \leq 1,6$ м применяются, как правило, открытые прямоугольные в плане турбинные камеры с шириной $B = A = (3 \dots 4) D_1$ (рис. 9.1).

При напорах $H = 6 \dots 10$ м для уменьшения длины вала гидротурбины и высоты затвора применяют закрытые турбинные камеры. Они выполняются также прямоугольными по габаритам открытых, лишь верхнее перекрытие становится напорным.

При напорах $H = 4 \dots 10$ м и $D_1 \geq 1,6$ м устраиваются бетонные спиральные камеры для вертикальных реактивных гидротурбин, а при $H \geq 50$ м – металлические спиральные [7, 9].

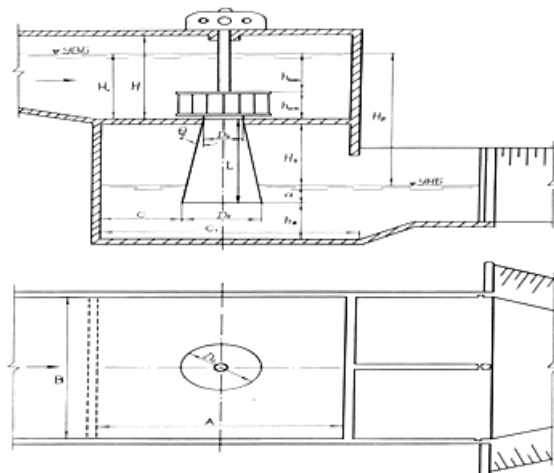


Рис. 9.1. Общая схема компоновки здания малой ГЭС с вертикальной гидротурбиной и прямоосной конической отсасывающей трубой

Высота открытой турбинной камеры H зависит от глубины воды в ней, $H_1 = h_{\min} + h_{н. а.}$, где $h_{\min}$ – минимальное заглубление направляющего аппарата, $h_{\min} \geq (0,9 \dots 1,0)D_1$, $h_{н. а.} = (0,6 \dots 0,75)D_1$. Глубину воды в турбинной камере H_1 можно определить расчетом исходя из следующих соображений. Для квадратной в плане турбинной камеры $B \times A$ определяют площадь входной части (m^2):

$$F_{вх} = \frac{Q_r}{V_d}, \quad (9.1)$$

где $V_d = 1,0 \dots 1,2$ м/с – допустимая средняя скорость на входе в турбинную камеру [7].

Приняв $B = 3D_1$, получаем глубину входа (м) в турбинную камеру

$$H_1 = \frac{Q_{\tau}}{3D_1V_d} \cdot \quad (9.2)$$

Окончательно принимаем большее значение глубины воды H_1 .

Отсасывающие трубы. При открытых турбинных камерах применяются прямоосные конические отсасывающие трубы. Они могут использоваться как для вертикальных, так и для горизонтальных капсульных гидротурбин. Прямоосные конические трубы применяются для радиально-осевых гидротурбин (РО) с $D_1 < 2,0$ м, пропеллерных (Пр) и поворотно-лопастных (ПЛ) с $D_1 < 1,6$ м.

Прямоосные конические отсасывающие трубы применяются при положительной высоте отсасывания $H_s \geq 0$, тогда длина отсасывающей трубы $L \leq H_s + 0,5$.

Конструктивно длина прямоосной конической отсасывающей трубы принимается в пределах $L = (3,0...4,0)D_1$, для радиально-осевых гидротурбин, пропеллерных (Пр) и поворотно-лопастных (ПЛ) $L = (2,0...2,5)D_1$.

Диаметр входного сечения и угол конусности отсасывающей трубы принимается в пределах соответственно $D_3 = (1,1...1,2) D_1$, $\Theta = 8...12^\circ$.

Заглубление нижней кромки вертикальной прямоосной отсасывающей трубы или верха прямоосной горизонтальной или изогнутой под уровень нижнего бьефа должно быть следующим: $a = 0,3$ м – для радиально-осевых гидротурбин, $a = 0,5$ м – для пропеллерных и поворотно-лопастных гидротурбин.

Диаметр выходного сечения (м) определяется по формуле

$$D_5 = \sqrt{\frac{4Q_{\tau}}{\pi V_5}}, \quad (9.3)$$

где V_5 – допустимая скорость на выходе отсасывающей трубы (м/с), при которой потери кинетической энергии не превышают 0,5...2,5 % напора, т. е.

$$h_{ws} = (\alpha_5 \cdot V_5)/2g \leq (0,005...0,025)H_p, \quad (9.4)$$

где α_5 – коэффициент, принимаемый равным 1,1.

Отсюда

$$V_5 \leq \sqrt{\frac{(0,005...0,025)H_p \cdot 2g}{\alpha_5}}. \quad (9.5)$$

Более подробные расчеты по компоновке гидротурбинного блока малой ГЭС приводятся в источнике [7].

Отводящие камеры. Применение вертикальных отсасывающих труб обуславливает необходимость устройства отводящей камеры прямоугольной в плане $B_1 \times C_1$. Параметры камеры следующие: ширина $B_1 = (2,0 \dots 2,4)D_3 + D_5$, длина $C_1 = 0,85B_1$. Глубина воды от дна до кромки отсасывающей трубы $h_b \geq (1,5 \dots 2,0)D_3$. Расстояние от кромки отсасывающей трубы до стенки отводящей камеры принимается в пределах $C = (1,0 \dots 1,5)D_5$.

Привязка турбинного гидроагрегата к уровням нижнего и верхнего бьефов проводится по допустимой высоте отсасывания (H_s) и расчетному напору (H). Допустимая высота отсасывания для пропеллерных и поворотно-лопастных турбин исчисляется от середины (оси поворота) лопастей, для радиально-осевых – от середины направляющего аппарата. При этом « $+H_s$ » откладывается вниз, « $-H_s$ » – вверх, а заглубление нижней кромки вертикальной прямоосной отсасывающей трубы или верха прямоосной горизонтальной или изогнутой должно быть больше либо равно $0,3 \dots 0,5$ м. Примеры компоновки и привязки малых ГЭС приведены на рис. 9.2 и 9.3.

Для S-образной отсасывающей трубы диаметр входного сечения рабочего колеса (м) определяется по формуле

$$D_3 = (1,1 \dots 1,2)D_1. \quad (9.6)$$

Диаметр входа (м) в турбинную камеру

$$D_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{вх}}}{\pi}}, \quad (9.7)$$

где $F_{\text{вх}}$ – площадь входа (м^2), определяемая по формуле (9.1).

Диаметр выходного сечения определяется по формуле (9.3).

Длина отсасывающей трубы определяется по формуле

$$L = \frac{D_5 - D_3}{2 \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2}}, \quad (9.8)$$

где $\Theta = 8 \dots 12^\circ$ – угол конусности отсасывающей трубы.

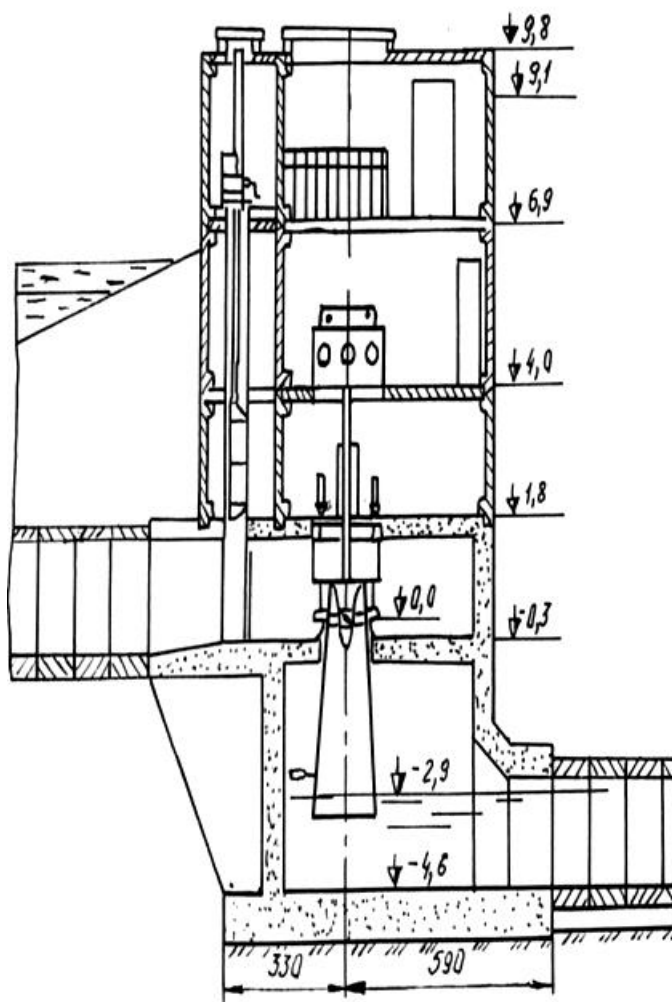


Рис. 9.2. Компонировка зданий малой ГЭС с применением сборного железобетона (вариант конструкции)

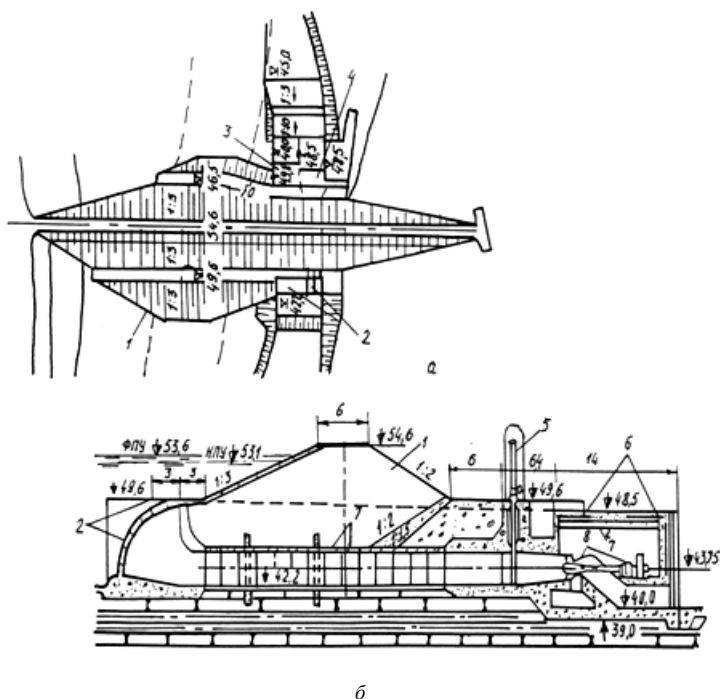


Рис. 9.3. Компоновка основных сооружений плотинной малой ГЭС:

- а* – план гидроузла; *б* – разрез по напорному тракту;
 1 – глухая плотина; 2 – водоприемник водосброса и ГЭС; 3 – водосброс;
 4 – здание ГЭС; 5 – винтовой подъемник; 6 – съемные крышки;
 7 – сборные железобетонные трубы; 8 – прямоточная турбина с S-образной
 отсасывающей трубой и вынесенным горизонтальным генератором

В состав сооружений деривационной ГЭС с безнапорной деривацией входят головной водозаборный узел, деривация и станционный узел сооружений, включающий напорный бассейн, турбинный трубопровод, холостой водосброс, здание станции и отводящий канал. В него может входить также бассейн суточного регулирования стока (БСР).

Головной узел сооружений, как правило, включает невысокую перегородающую плотину с паводковым водосбросом и боковой водозабор с отстойным бассейном.

Деривацию чаще выполняют в виде открытого канала – земляного или облицованного. Трудные по рельефным условиям участки проходят лотками, акведуками или дюкерами, а в горных условиях – без-

напорными или напорными туннелями. В качестве напорной деривации часто используют трубопроводы, лучше железобетонные.

Напорный бассейн – сооружение, связывающее безнапорную деривацию с напорными водоводами (трубопроводом или шахтой). В оросительно-энергетических системах напорные бассейны выполняют роль вододелителей, распределяющих воду между гидроэлектростанцией и оросительным или обводнительным каналом.

Турбинные трубопроводы подводят воду непосредственно к турбинам. Они могут быть стальными, железобетонными и деревянными. Железобетонные монолитные и деревянные трубопроводы используют при напорах до 40–50 м и пологих трассах с углом наклона до 20°. Сборные железобетонные трубопроводы с предварительно напряженной арматурой можно применять при напорах до 150 м. Стальные трубопроводы устанавливают на крутых склонах и практически неограниченных напорах.

Число ниток трубопровода определяется технико-экономическими соображениями. По условиям эксплуатации предпочтительнее раздельное питание турбин с подводом воды к каждой турбине своим трубопроводом. Однако деление трубопровода на большое число ниток повышает его стоимость. Поэтому экономически, особенно при длинных трубопроводах, более целесообразно групповое или объединенное питание турбин (рис. 9.4).

Подвод трубопровода к зданию может быть фронтальным (рис. 9.4, *а, в, г*) и продольным (рис. 9.4, *б, д, е*). Фронтальный подвод лучше в гидравлическом и конструктивном отношении, но в случае разрыва трубопровода поток будет угрожать целостности здания станции.

Диаметр трубопровода обосновывается экономическими расчетами.

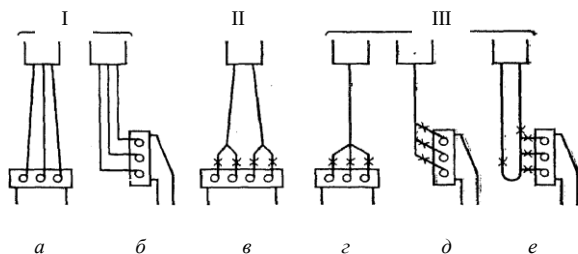
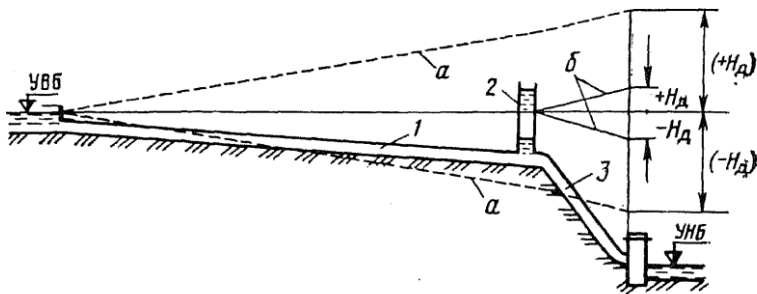


Рис. 9.4. Способы питания турбин при различном подводе трубопроводов к зданию станции: I – раздельное; II – групповое; III – объединенное; *а, в, г* – фронтальный подвод; *б, д, е* – продольный подвод

Стальные трубопроводы проектируют разрезными с температурными компенсаторами. Повороты закрепляют в анкерных опорах. Между анкерными опорами трубопровод поддерживают промежуточные опоры, обычно катковые, обеспечивающие осевые температурные перемещения с минимальным трением.

Верхний, наиболее длинный участок (деривационный водовод) с обоих концов открыт, поэтому в нем гидравлический удар не возникает. Нижний, более короткий участок (турбинный водовод) подвержен гидравлическому удару, но величина его не будет большой из-за короткой трассы.



a – при отсутствии уравнительного резервуара; *б* – при его наличии;
1 – деривационный трубопровод; 2 – уравнительный резервуар;
3 – турбинный трубопровод

При проектировании уравнильных резервуаров необходимо решить вопрос о колебаниях в них уровней воды, обеспечить отсутствие выплесков воды через верх резервуаров и оголение подведенных водоводов. Уравнильные резервуары, как и напорные бассейны, могут служить вододелителями.

Вопросы для самоконтроля

1. Для каких целей используются отсасывающие трубы?
2. Из чего состоит деривационная гидроэлектростанция?
3. Какие сооружения входят в состав деривационной гидроэлектростанции?

Практическое занятие 10. РАСЧЕТ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Цель занятия – рассмотреть основные антропогенные факторы, вызывающие эвтрофикацию, оценить степень влияния каждого из них на водоем и предложить возможные водоохранные мероприятия.

Определить содержание N, P, K в поверхностном стоке. Исходные данные по вариантам задания представлены в табл. 10.1 и 10.2.

Таблица 10.1. Исходные данные по пашне (размещение и удобрение культур)

№ варианта	Культуры	Дозы удобрений, кг/га			Уровень технологий	Водность года	Удаленность от водоема
		Азот	Фосфор	Калий			
1	Озимая пшеница	80	70	90	Средний	Маловодный	300
	Лен	60	60	80			850
	Овес	80	70	90			1 100
2	Ячмень	80	70	90	Низкий	Средний	700
	Клевер	40	60	110			150
	Картофель	80	80	90			720
3	Ячмень	70	60	80	Высокий	Средний	250
	Клевер	40	60	90			1 050
	Люцерна	40	60	90			800

Таблица 10.2. Характеристика объекта животноводства и населенного пункта

Показатели	Варианты		
	1	2	3
Площадь водосбора, га	700	550	900
Количество голов КРС	450	600	870
Способ очистки животного-водческих стоков	Механическая очистка	Отстаивание	Механическая очистка
Площадь хозяйственных застроек, га	25	42	57
Число жителей, не обеспеченных очистными сооружениями, чел.	250	410	302
Способ очистки хозяйственных стоков	Биоочистка	Биоочистка и фильтрация	Биоочистка

1. *Определение общего выноса веществ с пашни.* Вынос основных элементов питания с пашни в водные системы устанавливается по формуле:

$$n = W_{n1} + W_{n2} + W_{n3}, \quad (10.1)$$

где W_{n1} , W_{n2} , W_{n3} – вынос вещества с конкретного поля, кг.

$$W_n(1, 2, 3) = D(NPK \cdot P^* \cdot S \cdot R), \quad (10.2)$$

где $D(NPK)$ – доза удобрения, внесенная под культуру, кг/га;

P^* – коэффициент технологических потерь для удобрения (табл. 10.3);

S – площадь посева культуры, га;

R – коэффициент, характеризующий поступление элемента в водный объект в зависимости от расстояния (табл. 10.4).

Таблица 10.3. Коэффициент выноса питательных веществ поверхностным стоком при различных уровнях технологии применения удобрений

Вид удобрений	Уровень технологии		
	высокий	средний	низкий
Органические	0,05	0,1	0,2
Минеральные	0,02	0,04	0,06

Таблица 10.4. Коэффициент поступления биогенных веществ в водные объекты в зависимости от расстояния

Водность года	Расстояние, м			
	0–500	500–1 000	1 000–2 000	2 000–3 000
Многоводный	1,0	1,0	0,9	0,8
Средний	1,0	0,9	0,8	0,6
Маловодный	0,9	0,8	0,6	0,4

Выполненные расчеты необходимо отразить в табл. 10.5.

Таблица 10.5. Поступление биогенных веществ в водные объекты с пашни

Культура	Площадь посева S	Дозы удобрений			P*	R	W, кг		
		N	P	K			N	P	K
						Всего			

2. *Определение общего поступления биогенных веществ от животноводческого объекта.* Поступление биогенных веществ от животноводческих объектов рассчитывается по формуле

$$W_{\text{ж}} = W_{\text{ж1}} + W_{\text{ж2}}, \quad (10.3)$$

где $W_{\text{ж1}}$ – вынос биогенных веществ из жидкой фракции с полей фильтрации и участков, где готовятся компосты:

$$W_{\text{ж1}} = S_i \cdot \omega \cdot n \cdot L \cdot t, \quad (10.4)$$

$W_{\text{ж2}}$ – поступление биогенного вещества в водоемы при натуральном содержании скота в загонах, на пастбищах:

$$W_{\text{ж1}} = S_i \cdot \omega \cdot n \cdot t, \quad (10.5)$$

где S_i – доля элемента, выносимая поверхностными и внутренними стоками с полей, для азота – 0,2, для фосфора и калия – 0,05;
 ω – удельное содержание вещества в отходах в расчете на 1 голову скота, кг/сут (табл. 10.6);
 n – количество голов скота;

L – коэффициент, учитывающий долю вещества, оставшегося в жидкой фракции после отстаивания или механического разделения (табл. 10.7);

t – расчетный период, сутки (стойловый период – 200 дней, пастбищный период – 165 дней).

Таблица 10.6. Содержание биогенных веществ в отходах животноводства в расчете на 1 голову скота (кг/сут)

Вид скота	Азот	Фосфор	Калий
КРС	0,14–0,18	0,045–0,087	0,19
Свины	0,03–0,38	0,09–0,016	0,05

Таблица 10.7. Доля биогенных веществ, остающаяся в жидкой фракции после предварительной обработки сточных вод

Способ обработки	Азот	Фосфор	Калий
Отстаивание	0,5	0,85	0,5
Механическая очистка	0,87	0,75	0,77

3. *Определение поступления биогенных веществ от населенного пункта (расчеты проводятся только по азоту и фосфору).* Поступление азота и фосфора от населенного пункта рассчитывается по формуле

$$W_{\text{н}} = (W_{\text{н1}} + W_{\text{н2}} + W_{\text{н3}}) / 1\,000, \quad (10.6)$$

где $W_{\text{н1}}$ – поступление биогенных веществ со стоками, не проходящими через очистные сооружения:

$$W_{\text{н1}} = 1 \cdot n \cdot t, \quad (10.7)$$

$W_{\text{н2}}$ – поступление биогенных веществ со стоками, проходящими через очистные сооружения:

$$W_{\text{н2}} = \omega_1 \cdot n \cdot (1 - P_i) \cdot t, \quad (10.8)$$

$W_{\text{н3}}$ – поступление биогенных веществ со стоками с хозяйственных дворов населенных пунктов, которые образуются в период дождей и снеготаяния:

$$W_{\text{н3}} = \omega_2 \cdot S \cdot t, \quad (10.9)$$

где ω_1 – удельное поступление вещества с хозяйственными стоками без очистки, г/чел/сут (табл. 10.8);

ω_2 – удельное поступление вещества с 1 га застроенной территории, г/чел/сут (табл. 10.8);

t – расчетный период, сутки (для определения W_{n1} и W_{n2} – 365, W_{n3} – 60);

S – площадь под хозяйственными застройками, га (табл. 10.2);

n – число жителей (табл. 10.2);

P_i – эффективность очистки стоков от конкретного вещества (табл. 10.9);

Таблица 10.8. **Вероятный вынос биогенных веществ в водоемы с населенных территорий**

Источники выноса	Азот	Фосфор
Хозяйственно-бытовые стоки, г/чел/сут	2,62	0,76
Хозяйственные застройки г/га/сут	16,44	8,22

Таблица 10.9. **Коэффициент эффективности способов очистки хозяйственных стоков от биогенных веществ**

Способ очистки	Удаление	
	Азота	Фосфора
Без очистки	0	0
Механическая очистка	0	0
Полная биологическая очистка	0,5	0,3
Полная биологическая очистка и песчаный фильтр	0,5	0,3

4. *Общее поступление биогенных веществ с водосборной площади.* Общее поступление веществ (отдельно для НРК) в водные объекты с водосборной площади определяется по формуле

$$W_o = W_{\Pi} + W_{ж} + W_{н}, \quad (10.10)$$

где W_o – общий вынос вещества в водосборные объекты с водосборной площади, кг;

W_{Π} – общий вынос вещества с пашни, кг;

$W_{ж}$ – общее поступление вещества с животноводческих объектов, кг;

$W_{н}$ – общее поступление вещества от населенного пункта, кг.

5. *Содержание биогенных элементов в поверхностном стоке.* Содержание биогенных элементов (отдельно для НРК) в поверхностном стоке определяется по формуле

$$C_{\text{НРК}} = \frac{W_o(\text{НРК}) \cdot \Phi \cdot 10^3}{S_{\text{водосбора}} \cdot 200}, \quad (10.11)$$

где $W_o(\text{НРК})$ – общее поступление элемента в водные объекты с водосборной площади;

Φ – модульный коэффициент для перехода от среднегодовых концентраций к максимальным для рассматриваемого периода (0,92);

$S_{\text{водосбора}}$ – площадь водосбора, га (табл. 10.2);

200 – объем поверхностного стока по среднегодовым данным, $\text{м}^3/\text{га}$.

На основе полученных результатов и приведенных ниже нормативов дать оценку состояния водоема. ПДК биогенных веществ в воде: азот – 45 мг/л, фосфор – 20 мг/л, калий – 50 мг/л. Оптимальный рост водорослей происходит при концентрации в воде фосфора 0,09 – 1,8 мг/л, нитратного азота – 0,9–3,5 мг/л. Предложить мероприятия по снижению загрязнения поверхностного стока биогенными элементами.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое биогенный элемент и чем он вреден для экологии?
2. Как определить вынос основных элементов?
3. Как определить поступление веществ с водосборной площади?
4. Что такое ПДК и область ее применения?

Практическое занятие 11. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВЕДЕНИЮ ГОСУДАРСТВЕННОГО ВОДНОГО КАДАСТРА (ГВК)

Цель практического занятия: 1) изучить положение о порядке ведения государственного водного кадастра; 2) заполнить Государственный акт на право обособленного водопользования.

Положение о порядке ведения государственного водного кадастра и использования его данных включает следующие пункты:

1. Настоящим Положением, разработанным в соответствии с п. 3 ст. 58 Водного кодекса Республики Беларусь, устанавливается порядок ведения государственного водного кадастра и использования его данных.

2. Ведение государственного водного кадастра осуществляется в целях: информационного обеспечения комплексного использования водных ресурсов; обеспечения реализации основных направлений государственной политики, в том числе научно-технической, экономической и инвестиционной, в области охраны и использования вод; выполнения обязательств Республики Беларусь, принятых в соответствии с Конвенцией по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер от 17 марта 1992 г. (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2003 г., № 113, 3/890).

3. Государственный водный кадастр формируется на основании официальной статистической информации об использовании вод, а также данных: гидрологических наблюдений государственной сети гидрометеорологических наблюдений, в том числе на трансграничных участках поверхностных водных объектов; мониторинга поверхностных вод по гидробиологическим, гидрохимическим и гидроморфологическим показателям, экологического состояния (статуса) поверхностных водных объектов; мониторинга подземных вод по гидрогеологическим и гидрохимическим показателям, прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов пресных и минеральных подземных вод; социально-гигиенического мониторинга качества воды водных объектов, пригодных для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового (рекреационного) использования; разрешений на специальное водопользование, комплексных природоохранных разрешений.

4. Ведение государственного водного кадастра осуществляется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды (далее – Минприроды) совместно с Министерством здравоохранения.

5. Государственный водный кадастр содержит следующие разделы: «Реестр поверхностных водных объектов Республики Беларусь», «Подземные воды», «Водопользование» и «Характеристика гидротехнических сооружений и устройств». Формирование названных разделов государственного водного кадастра осуществляется по административно-территориальным единицам (областям, районам, городам областного подчинения и г. Минску), речным бассейнам и видам экономической деятельности. Требования к составлению и оформлению разделов государственного водного кадастра устанавливаются Минприроды.

6. Раздел «Реестр поверхностных водных объектов Республики Беларусь» государственного водного кадастра отражает сведения о поверхностных водных объектах (их количестве, местоположении, площади поверхности воды, площади водосборов, протяженности водотоков с учетом их классификации); границах внутренних водных путей Республики Беларусь, открытых для судоходства; присвоенном поверхностным водным объектам классе экологического состояния (статуса) по результатам исследований в пунктах наблюдений государственной сети наблюдений за состоянием поверхностных вод (по гидробиологическим, гидрохимическим и гидроморфологическим показателям); гидрометеорологических условиях; гидрологических характеристиках поверхностных водных объектов и речном стоке, а также целях пользования поверхностными водными объектами.

6.1 . Раздел «Подземные воды» государственного водного кадастра отражает сведения о состоянии подземных вод в пунктах наблюдений государственной сети наблюдений за состоянием подземных вод (по гидрогеологическим и гидрохимическим показателям); прогнозных ресурсах и эксплуатационных запасах пресных и минеральных подземных вод.

7. В раздел «Водопользование» государственного водного кадастра включаются сведения: об использовании водных ресурсов в соответствии с целями водопользования, объемах добычи (изъятия) вод и сброса сточных вод в окружающую среду, а также удельном водопотреблении и водоотведении, расходах воды в системах оборотного, повторного (последовательного) водоснабжения и потерях воды; о водопользователях, осуществляющих использование вод на праве специального, обособленного водопользования поверхностными водными объектами (их частями) для хозяйственно-питьевых, гидроэнергетических нужд и нужд обеспечения обороны или праве аренды для рыбоводства (в соответствии с видами и целями водопользования); об учете добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду; о качестве сбрасываемых сточных вод в поверхностные водные объекты по среднегодовым результатам аналитического (лабораторного) контроля в области охраны окружающей среды, в том числе в рамках ведомственного и производственного контроля в области охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, осуществляемого водопользователями, а также Минприроды, его территориальными органами и уполномоченной им подчиненной организацией, имеющей в сво-

ем составе аккредитованные испытательные лаборатории (центры); нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод.

8. В раздел «Характеристика гидротехнических сооружений и устройств» государственного водного кадастра включаются сведения о водохозяйственных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях и устройствах.

9. Разделы государственного водного кадастра могут состоять из подразделов, обеспечивающих систематизацию сведений.

10. Министерство здравоохранения при ведении государственного водного кадастра обеспечивает сбор, обобщение, систематизацию и хранение данных о качестве воды водных объектов, пригодных для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового (рекреационного) использования.

11. Республиканские органы государственного управления, местные исполнительные и распорядительные органы до 1 июня года, следующего за отчетным, представляют в Минприроды на безвозмездной основе следующую информацию, необходимую для ведения государственного водного кадастра: Министерство здравоохранения – о качестве воды водных объектов, пригодных для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового (рекреационного) использования; Министерство транспорта и коммуникаций – о границах внутренних водных путей Республики Беларусь, открытых для судоходства; облисполкомы и Минский горисполком – о водопользователях, осуществляющих использование вод на праве обособленного водопользования поверхностными водными объектами (их частями) для хозяйственно-питьевых, гидроэнергетических нужд и нужд обеспечения обороны или праве аренды для рыбоводства.

12. Состав информации, указанной в п. 11 настоящего Положения, и формы ее представления определяются Минприроды.

13. Минприроды при ведении государственного водного кадастра осуществляет: сбор информации от государственных органов и других организаций; анализ и систематизацию собранной информации в соответствии со структурой государственного водного кадастра; формирование и актуализацию баз данных государственного водного кадастра, являющихся государственными информационными ресурсами; подготовку публикаций и издание данных государственного водного кадастра.

14. Данные государственного водного кадастра обновляются Минприроды ежегодно до 30 ноября года, следующего за отчетным.

15. Ведение государственного водного кадастра осуществляется за счет средств республиканского бюджета.

16. Данные государственного водного кадастра используются при разработке государственных и иных программ и региональных мероприятий в области охраны и использования вод, планов управления речными бассейнами, в иных целях, предусмотренных другими законодательными актами.

17. Данные государственного водного кадастра, подлежащие длительному хранению, включаются в установленном законодательством порядке в государственный фонд данных о состоянии окружающей среды и воздействиях на нее и государственный гидрометеорологический фонд.

18. Данные государственного водного кадастра носят открытый характер, за исключением данных, отнесенных законодательством к государственным секретам, а также информации, которая подлежит ограниченному предоставлению или распространению в соответствии с законодательством.

19. Информационное взаимодействие государственного водного кадастра с другими государственными кадастрами осуществляется в соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 26 мая 2009 г. № 673 «О некоторых мерах по реализации Закона Республики Беларусь «Об информации, информатизации и защите информации» и о признании утратившими силу некоторых постановлений Совета Министров Республики Беларусь» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2009 г., № 134, 5/29836).

УТВЕРЖДЕНО
Постановлением Совета Министров
Республики Беларусь

02.03.2015 № 152
Форма

Государственный акт на право обособленного водопользования _____
(номер государственного акта)

Государственный акт выдан _____
(название местного исполнительного и распорядительного органа)

(полное наименование юридического лица в соответствии с уставом,

основной вид деятельности по Общегосударственному классификатору Республики Беларусь «Виды экономической деятельности»,

место осуществления деятельности)

в том, что ему предоставляется в обособленное водопользование

на срок до _____ поверхностный водный объект (его часть)

(наименование и местоположение поверхностного водного объекта)

(его части), протяженность участка водотока, площадь поверхности водоема, гектаров)

Поверхностный водный объект (его часть) предоставлен в обособленное водопользование на основании _____

(решение местного исполнительного и распорядительного органа, дата и номер)

При условии _____

(указать условия, при которых осуществляется обособленное водопользование,

наличие ограничений общего водопользования)

для

(указать цель водопользования согласно подп. 1.1 п. 1 ст. 31 Водного кодекса Республики Беларусь)

Настоящий государственный акт составлен в двух экземплярах, один из которых выдан юридическому лицу, второй хранится в местном исполнительном и распорядительном органе, предоставившем поверхностный водный объект (его часть) в обособленное водопользование. Копия государственного акта направляется в Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. К настоящему государственному акту прилагаются: копия плана местоположения поверхностного водного объекта (его части); план мероприятий по предотвращению загрязнения, засорения вод. Юридические лица, которым поверхностные водные объекты (их части) предоставлены в обособленное водопользование, обязаны устанавливать информационные знаки, содержащие сведения о режиме осуществления хозяйственной и иной деятельности на таких водных объектах (их частях).

Руководитель местного исполнительного
и распорядительного органа _____

(подпись)

(инициалы, фамилия)

М.П. _____
(дата)

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое водный кадастр?
2. На основании, каких документов формируется Государственный водный кадастр?
3. Как производится составление Государственного акта на право обособленного водопользования?
4. Какими документами регламентируется ведение Государственного водного кадастра?

Практическое занятие 12. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Цель практического занятия – овладение методикой технико-экономических расчетов при обосновании проектирования водохозяйственного комплекса.

При проектировании водохозяйственных систем технико-экономические расчеты проводят для определения состава участников ВХК, обоснования параметров объектов ВХК, распределения затрат между отраслями-участниками ВХК, обоснования эффективности водоохраных мероприятий [1]. В данном проекте необходимо определить общую экономическую эффективность ВХК и провести распределение затрат между его участниками. Для этого необходимо знать капитальные вложения (K) и издержки (C) как по отраслям, так и по ВХК в целом, а также ежегодную прибыль (Π), которая определяется как разность валового дохода (стоимость произведенной продукции отраслью) и издержек ($\Pi = D - C$).

Так как в ВХК различают комплексные сооружения, которые являются общими для всех участников (плотина, паводковый водосброс и т. д.), и отраслевые, обслуживающие отдельно взятую отрасль (водозабор и система водоснабжения, оросительная система с водозабором и т. д.), то и затраты подразделяются на комплексные ($K_{\text{комп}}$, $C_{\text{комп}}$) и отраслевые ($K_{\text{отр}}$, $C_{\text{отр}}$). Тогда затраты по отдельно взятой отрасли

$$K_i = K_{i \text{ комп}} + K_{i \text{ отр}}; \quad (12.1)$$

$$C_i = C_{i \text{ комп}} + C_{i \text{ отр}}, \quad (12.2)$$

где $K_{i \text{ комп}}$, $C_{i \text{ комп}}$ – часть комплексных капитальных затрат и издержек, приходящихся на данную отрасль.

Затраты по ВХК в целом можно представить следующим образом:

$$K_{\text{ВХК}} = K_{\text{комп}} + \sum K_{i \text{отр}}; \quad (12.3)$$

$$C_{\text{ВХК}} = C_{i \text{комп}} + \sum C_{i \text{отр}}, \quad (12.4)$$

где $\sum K_{i \text{отр}}$ и $\sum C_{i \text{отр}}$ – сумма отраслевых капитальных затрат и издержек всех участников ВХК.

В основу распределения комплексных вложений и издержек по отдельным отраслям положено условие одинаковой экономической эффективности капитальных вложений для всех участников ВХК, т. е.

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{\text{ВХК}}, \quad (12.5)$$

Капитальные вложения в комплексные сооружения могут быть ориентировочно определены по формуле

$$K_{\text{комп}} = K_{\text{уд}} \cdot J_{\text{к}} \cdot W_{\text{плз}}, \quad (12.6)$$

где $K_{\text{уд}}$ – удельные капитальные вложения на 1 м³ полезного объема в базисных ценах, руб/м³;

$J_{\text{к}}$ – индекс цен на капитальные вложения для пересчета в нынешние цены;

$W_{\text{плз}}$ – полезный объем водохранилища, м³.

Издержки на содержание комплексных сооружений

$$C_{\text{комп}} = \alpha \cdot K_{\text{комп}}, \quad (12.7)$$

где $\alpha = 0,02 \dots 0,04$ – норма амортизационных отчислений.

Определяем отраслевые затраты и прибыль по участникам ВХК. Так, для гидроэнергетики капитальные вложения

$$K_{\text{ГЭС}} = K_{\text{уд}} \cdot J_{\text{к}} \cdot N_{\text{уст}}, \quad (12.8)$$

где $K_{\text{уд}}$ – удельные капитальные затраты (вложения) установленной мощности ГЭС в базисных ценах, руб/кВт;

Издержки

$$C_{\text{ГЭС}} = \alpha \cdot K_{\text{ГЭС}}, \quad (12.9)$$

где $\alpha = 0,02 \dots 0,03$ – удельные затраты на эксплуатацию.

Валовой доход от гидроэнергетики

$$D_{\text{ГЭС}} = \mu \cdot \beta \cdot \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{ГЭС}}, \quad (12.10)$$

где $\mu = 0,8 \dots 0,85$ – коэффициент, учитывающий потребление электроэнергии на внутренние нужды и потери;

β – тарифная ставка за 1 кВт·ч электроэнергии;
 $\Xi_{\text{год}}^{\text{гэс}}$ – годовая выработка электроэнергии, кВт·ч.

$$\Xi_{\text{год}}^{\text{гэс}} = 365 \cdot 24 \cdot N_{\text{гэс}}^{\text{уст}}. \quad (12.11)$$

Прибыль от гидроэнергетики

$$\Pi_{\text{гэс}} = D_{\text{гэс}} - C_{\text{гэс}}. \quad (12.12)$$

Капитальные вложения в орошение

$$K_{\text{ор}} = K_{\text{уд}} \cdot J_{\text{к}} \cdot F_{\text{ор}}, \quad (12.13)$$

где $K_{\text{уд}}$ – удельные затраты на орошение, руб/га.

Издержки на орошение

$$C_{\text{ор}} = C_{\text{уд}} \cdot J_{\text{з}} \cdot F_{\text{ор}}, \quad (12.14)$$

где $C_{\text{уд}}$ – удельные издержки на орошение в базисных ценах, руб/га;

$J_{\text{з}}$ – индекс удельных издержек.

Прибыль от орошения

$$\Pi_{\text{ор}} = \Xi_{\text{ор}} \cdot K_{\text{ор}}, \quad (12.15)$$

где $\Xi_{\text{ор}} = 1/T$ – коэффициент срока окупаемости капитальных вложений в орошение;

T – срок окупаемости, лет.

Валовой доход в орошении

$$D_{\text{ор}} = \Pi_{\text{ор}} + C_{\text{ор}}. \quad (12.16)$$

Капитальные затраты (вложения) в коммунально-бытовое водоснабжение

$$K_{\text{к.б.в}} = K_{\text{уд}} \cdot J_{\text{к}} \cdot W_{\text{к.б.в}}^{\text{сут}}, \quad (12.17)$$

где $K_{\text{уд}}$ – удельные затраты за сутки в базисных ценах, руб/м³;

$W_{\text{к.б.в}}^{\text{сут}}$ – суточный объем коммунально-бытового водоснабжения, м³;

$$W_{\text{к.б.в}}^{\text{сут}} = W_{\text{к.б.в}}^{\text{год}} / 365, \quad (12.18)$$

где $W_{\text{к.б.в}}^{\text{год}}$ – годовой объем коммунально-бытового водоснабжения, м^3 .

$$W_{\text{к.б.в}}^{\text{год}} = W_{\text{к.б}}^{\text{год}} + W_{\text{жив}}^{\text{год}} + W_{\text{МТП}}^{\text{год}}, \quad (12.19)$$

где $W_{\text{к.б}}^{\text{год}}$ – суммарный годовой объем коммунально-бытового водопотребления городского, сельского населения, водопотребления общественных мест, м^3 ;

$W_{\text{жив}}^{\text{год}}$ – водопотребление животноводческого сектора, м^3 ;

$W_{\text{МТП}}^{\text{год}}$ – водопотребление машинно-тракторного парка, м^3 .

Издержки

$$C_{\text{к.б.в}} = \alpha \cdot K_{\text{к.б.в}}, \quad (12.20)$$

где $\alpha = 0,20 \dots 0,25$ – коэффициент удельных затрат на эксплуатацию.

Валовой доход от коммунально-бытового водоснабжения (руб.)

$$D_{\text{к.б.в}} = \Pi_{\text{к.б.в}} \cdot W_{\text{к.б.в}}^{\text{год}}, \quad (12.21)$$

где $\Pi_{\text{к.б.в}}$ – отпускная цена на воду, $\text{руб}/\text{м}^3$.

$$\Pi_{\text{к.б.в}} = (2,0 \dots 2,6) \cdot S_{\text{к.б.в}}, \quad (12.22)$$

где $S_{\text{к.б.в}}$ – себестоимость 1 м^3 воды, $\text{руб}/\text{м}^3$.

$$S_{\text{к.б.в}} = C_{\text{к.б.в}} / W_{\text{к.б.в}}^{\text{год}}. \quad (12.23)$$

Прибыль

$$\Pi_{\text{к.б.в}} = D_{\text{к.б.в}} - C_{\text{к.б.в}}. \quad (12.24)$$

Капитальные затраты (вложения) в промышленность

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{уд}} \cdot J_{\text{к}} \cdot W_{\text{пред}}^{\text{сут}}, \quad (12.25)$$

где $K_{\text{уд}}$ – удельные капитальные вложения в продукцию соответствующего предприятия в базисных ценах;

$W_{\text{пред}}^{\text{сут}}$ – объем выпускаемой продукции промышленным предприятием в сутки.

Издержки

$$C_{\text{пр}} = \alpha \cdot K_{\text{пр}}, \quad (12.26)$$

где $\alpha = 0,10 \dots 0,16$ – коэффициент удельных затрат промышленности.

Прибыль

$$\Pi_{\text{пр}} = \mathcal{E}_{\text{пр}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (12.27)$$

где $\mathcal{E}_{\text{пр}} = 0,14$ – коэффициент общей экономической эффективности капитальных вложений в промышленные предприятия.

Валовой доход

$$D_{\text{пр}} = \Pi_{\text{пр}} + C_{\text{пр}}. \quad (12.28)$$

Вышеприведенные расчеты сводим в табл. 12.1.

На основании данных табл. 12.1 определяем коэффициент общей экономической эффективности:

$$\mathcal{E}_{\text{ВХК}} = \Pi_{\text{ВХК}} / K_{\text{ВХК}}, \quad (12.29)$$

где $\Pi_{\text{ВХК}}$ – суммарная прибыль по ВХК, руб.;

$K_{\text{ВХК}}$ – суммарные капитальные вложения по ВХК, руб.

$$\Pi_{\text{ВХК}} = D_{\text{ВХК}} - C_{\text{ВХК}}, \quad (12.30)$$

где $D_{\text{ВХК}}$ – суммарный доход по ВХК, руб.;

$C_{\text{ВХК}}$ – суммарные издержки по ВХК, руб.

Определяем коэффициент пропорциональности:

$$P = C_{\text{комп}} / K_{\text{комп}}, \quad (12.31)$$

где $C_{\text{комп}}$ – издержки по комплексным сооружениям, руб.;

$K_{\text{комп}}$ – капитальные вложения по комплексным сооружениям, руб.

Таблица 12.1. Сводная ведомость затрат и их эффективности при создании ВХК, руб.

Показатели	Участники ВХК						
	Комплексные сооружения	Гидроэнергетика	Орошение	Коммунально-бытовое водоснабжение	Промышленность	Рыбоводство	Итого по ВХК
Капиталовложения (К)							
Ежегодные издержки (С)							
Валовой доход (Д)							
Прибыль (П)							

Доля комплексных капитальных вложений для каждого участника ВХК определяется по формуле

$$K_{\text{комп } i} = \frac{D_{\text{отр } i} - C_{\text{отр } i} - \mathcal{E}_{\text{ВХК}} \cdot K_{\text{отр } i}}{\mathcal{E}_{\text{ВХК}} + P}, \quad (12.32)$$

где $D_{\text{отр } i}$, $C_{\text{отр } i}$, $K_{\text{отр } i}$ – доход, издержки и капитальные вложения соответствующей отрасли, руб.

Определяем суммарные капитальные вложения (затраты) соответствующей отрасли:

$$K_i = K_{\text{комп } i} + K_{\text{отр } i}. \quad (12.33)$$

Распределение комплексных издержек определяем по формуле

$$C_{\text{комп } i} = P \cdot K_{\text{комп } i}. \quad (12.34)$$

Определяем суммарные издержки соответствующей отрасли:

$$C_i = C_{\text{комп } i} + C_{\text{отр } i}. \quad (12.35)$$

Находим экономическую эффективность капитальных вложений соответствующей отрасли:

$$\mathcal{E}_{\text{отр } i} = (D_{\text{отр } i} - C_i) / K_i. \quad (12.36)$$

Капитальные вложения и издержки соответствующей отрасли записываем в табл. 12.2.

Таблица 12.2. Суммарные затраты отраслей в проектируемый водохозяйственный комплекс, руб.

Отрасли (участники ВХК)	Капитальные вложения			Издержки		
	$K_{\text{отр } i}$	$K_{\text{комп } i}$	K_i	$C_{\text{отр } i}$	$C_{\text{комп } i}$	C_i
Гидроэнергетика						
Орошение						
Коммунально-бытовое водоснабжение						
Промышленность						
Рыбоводство						
Итого по ВХК						

Правильность распределения затрат по отраслям ВХК подтверждается, если

$$\mathcal{E}_{\text{отр } i} = \mathcal{E}_{\text{ВХК}}. \quad (12.37)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рациональное использование водных ресурсов / С. А. Яковлев [и др.]. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.
2. Комплексное использование и охрана водных ресурсов: учебник / О. Л. Юшманов, В. В. Шабанов, И. Г. Галямина [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 303 с.
3. Зарубаев, Н. В. Комплексное использование и охрана водных ресурсов: учеб. пособие / Н. В. Зарубаев. – Л.: Стройиздат, 1976. – 224 с.
4. Банников, Л. Г. Охрана природы: учебник / Л. Г. Банников, Л. К. Рустамов, А. А. Вакулин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 287 с.
5. Водные ресурсы Белоруссии и их охрана: сб. ст. / под ред. В. М. Широкова. – Минск: Изд-во БГУ, 1982. – 144 с.
6. Альферович, А. Н. Использование и охрана малых рек / А. Н. Альферович. – Минск: Ураджай, 1989. – 240 с.
7. Водное хозяйство: справочник / И. И. Бородавченко [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1988. – 399 с.
8. Использование водной энергии / В. М. Потапов [и др.]. – М.: Колос, 1972. – 343 с.
9. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование электростанций: справ. пособие / под ред. Ю. С. Васильева, Д. С. Щавелева. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – Т. 1: Основное оборудование гидроэлектростанций. – 400 с.
10. Малая гидроэнергетика / под ред. Л. П. Михайлова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.
11. Охрана окружающей среды: учебник / А. М. Владимиров, Ю. И. Ляхин, Л. Т. Матвеев, В. Г. Орлов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 423 с.
12. Маслов, В. С. Мелиорация и охрана природы / В. С. Маслов, И. В. Минаев. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 271 с.
13. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / И. И. Бородавченко, И. Н. Лозановская, Д. С. Орлов, В. И. Михура. – М.: Колос, 1983. – 175 с.
14. Охрана водных ресурсов / М. И. Бородавченко, Н. В. Зарубаев, Ю. С. Васильев [и др.]. – М.: Колос, 1979. – 247 с.
15. Ларьков, В. М. Гидротехнические сооружения и рыбоводные пруды / В. М. Ларьков. – Горки, 2000. – 189 с.
16. Батюк, Ф. Ф. Оценка эффективности инвестиций в строительство малых ГЭС на территории Могилевской области / Ф. Ф. Батюк, В. М. Ларьков // Природа, человек и экология: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Горки, 1999. – Ч. 2. – 309 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Экономическая характеристика бассейнов малых рек

Гидрологический створ	Площадь водосбора, тыс. га	Плотность населения, чел/га		Расчетное число мест от общего числа жителей, %			
		общая	в том числе сельского	Школы	Больницы	Бани	Общес-жития
1	2	3	4	5	6	7	8
р. Полота							
1	181,0	0,31	0,22	12...15	0,8...1,0	0,3...0,5	0,3...0,4
2	145,0	0,32	0,23				
3	104,0	0,32	0,23				
5	89,0	0,27	0,24				
6	58,5	0,28	0,24				
р. Усса							
1	203	0,36	0,27	13...17	0,7...0,8	0,2...0,4	0,5...0,7
2	189	0,37	0,25				
3	133	0,38	0,24				
4	84	0,33	0,24				
6	56	0,42	0,27				
р. Гавья							
1	154,0	0,41	0,26	12...16	0,6...0,8	0,4...0,6	0,2...0,3
2	148,0	0,40	0,25				
3	129,6	0,39	0,27				
5	112,4	0,42	0,28				
7	66,3	0,44	0,24				
р. Жижма							
1	144,6	0,44	0,29	8...10	1,0...1,1	0,4...0,6	0,2...0,3
2	128,2	0,41	0,28				
3	90,0	0,37	0,24				
4	76,5	0,29	0,24				
5	38,2	0,35	0,26				
р. Дитва							
1	188,6	0,44	0,28	11...16	0,7...0,8	0,2...0,4	0,2...0,3
2	185,4	0,42	0,28				
3	174,0	0,39	0,27				
5	158,7	0,32	0,29				
6	106,3	0,35	0,24				

1	2	3	4	5	6	7	8
р. Молчадь							
1	168,8	0,44	0,28	8...11	1,0...1,2	0,3...0,5	0,3...0,4
2	161,4	0,43	0,29				
3	150,2	0,42	0,26				
5	146,0	0,41	0,25				
6	114,4	0,39	0,29				
р. Реста							
1	240,4	0,44	0,28	9...11	1,0...1,2	0,5...0,7	0,2...0,4
2	211,0	0,41	0,22				
4	197,7	0,42	0,25				
5	133,3	0,44	0,27				
7	125,3	0,34	0,22				
р. Бася							
1	272,0	0,41	0,31	5...9	0,7...0,9	0,2...0,4	0,1...0,2
2	269,0	0,42	0,30				
3	228,0	0,40	0,28				
5	189,0	0,36	0,30				
6	104,5	0,34	0,27				
р. Лань							
1	261,0	0,40	0,31	7...10	0,9...1,2	0,3...0,5	0,1...0,2
2	229,0	0,34	0,25				
4	201,0	0,32	0,22				
5	162,0	0,40	0,29				
7	153,0	0,38	0,30				
р. Ясельда							
1	234,0	0,39	0,26	6...8	0,9...1,0	0,3...0,5	0,2...0,4
2	219,0	0,36	0,24				
3	201,9	0,32	0,20				
5	182,5	0,41	0,36				
6	108,0	0,34	0,25				

Примечание. Расчетное число мест в графах 5...8 приведено для всех гидрографических створов данной реки.

Приложение 2

Экономическая характеристика сельскохозяйственного сектора по бассейнам малых рек

Группы бассейнов рек	Плотность животноводства, гол/га			Энергонасыщенность, ед/га	
	КРС	Молодняк КРС	Свиньи	автомашин	тракторов
Полота, Усса, Гавья	0,04...0,07	0,01...0,03	0,06...0,09	0,008	0,007
Жижма, Дитва, Молчадь	0,06...0,09	0,02...0,04	0,06...0,09	0,007	0,007
Реста, Бася	0,04...0,08	0,02...0,04	0,06...0,07	0,004	0,006
Лань, Ясельда	0,06...0,09	0,01...0,04	0,04...0,06	0,005	0,005

Приложение 3

Нормы хозяйственно-питьевого потребления воды для населенных мест

Степень благоустройства районов жилой застройки	Среднесуточное водопотребление на 1 жителя, л/сут
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией без ванн	125...150
То же с водонагревателями и ваннами	150...180
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом, канализацией и системой горячего водоснабжения	275...400
Застройка зданиями с водопользованием из водозаборных колонок	30...50

Нормы расхода воды в коммунальном, производственном и животноводческом секторах

Водопотребители	Показатель	Среднесуточное потребление, л/сут
Баня	1 посетитель	125...180
Больница	1 койка	250...300
Школа	1 место	15...25
Общежитие с общими душевыми	1 житель	75...100
Молокозавод	1 т молока	16 000...20 000
Маслосырзавод	1 т продукции	30 000...40 000
Хлебозавод	1 т продукции	2 500...3 000
Свеклосахарный завод	1 т свеклы	2 600...3 000
Кирпичный завод	1 тыс. шт.	1 000...1 400
Завод сборных железобетонных изделий	1 м ³ изделия	1 500...3 600
Гараж (мойка, заправка, ремонт)	1 автомашина	240...600
Гараж (заправка, ремонт)	1 трактор	220...450
Коровник	1 гол.	160...250
Телятник	1 гол.	130...140
Свинарник	1 гол.	125...195

Области применения горизонтальной прямоточной гидротурбины с S-образной отсасывающей трубой при напоре 2...10 м

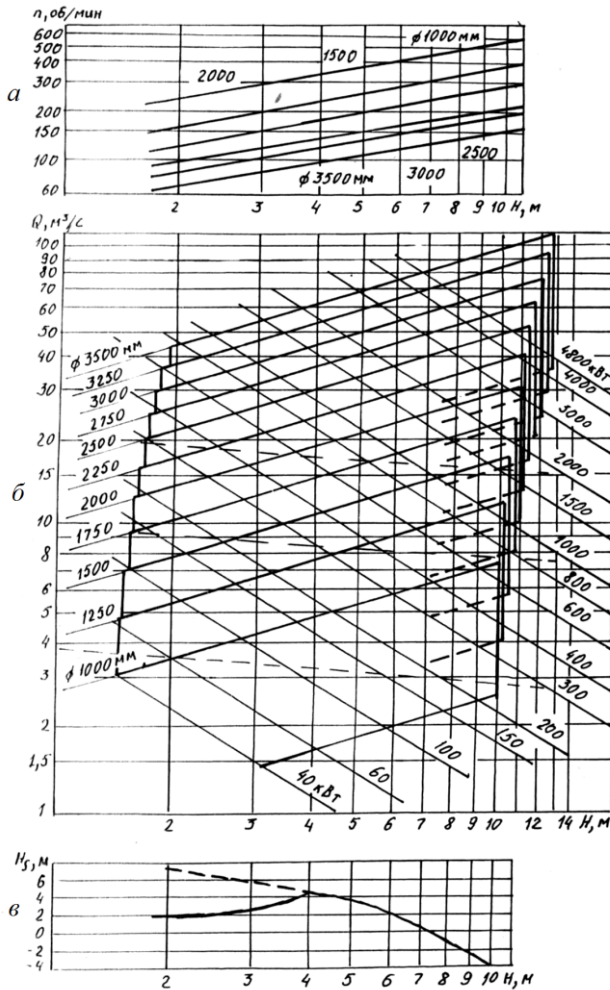


Рис. 1: а – график связи числа оборотов гидротурбины с напором; б – подбор диаметра рабочего колеса гидротурбины; в – график определения высоты отсасывания горизонтальной прямоточной гидротурбины

Области применения поворотно-лопастных гидротурбин с четырехлопастным рабочим колесом (вертикальная и горизонтальная компоновка)
при напоре 4...26 м

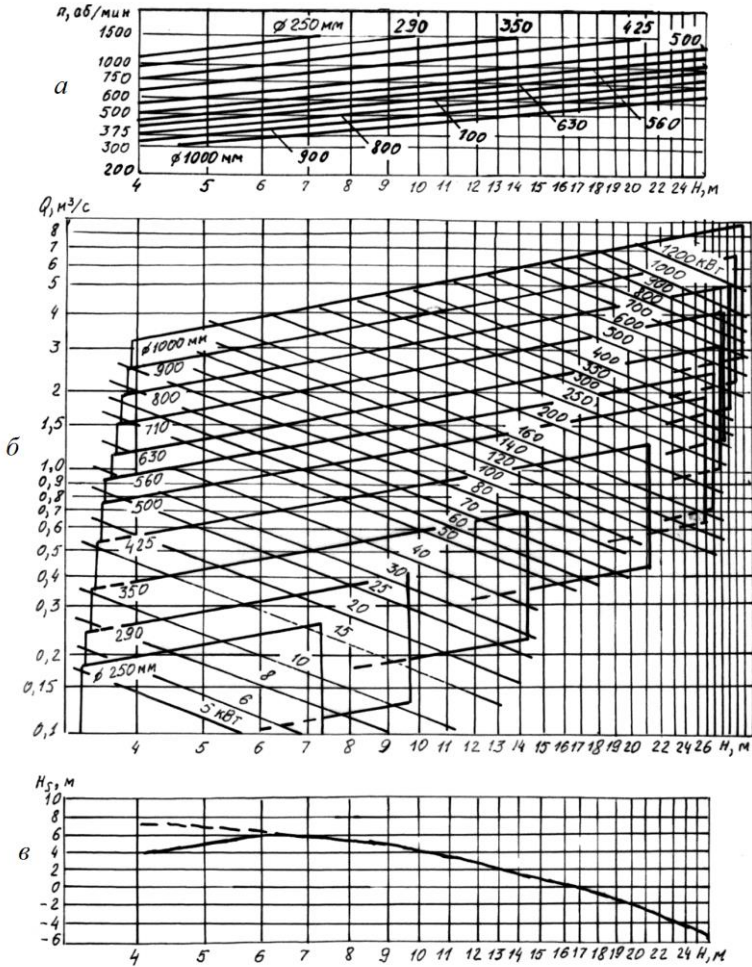


Рис. 1: а – график связи числа оборотов гидротурбины с напором;
б – подбор диаметра рабочего колеса гидротурбины;
в – определение высоты отсасывания поворотно-лопастной гидротурбины

Области применения радиально-осевых гидротурбин
(вертикальная и горизонтальная компоновка) при напоре 5...10 м

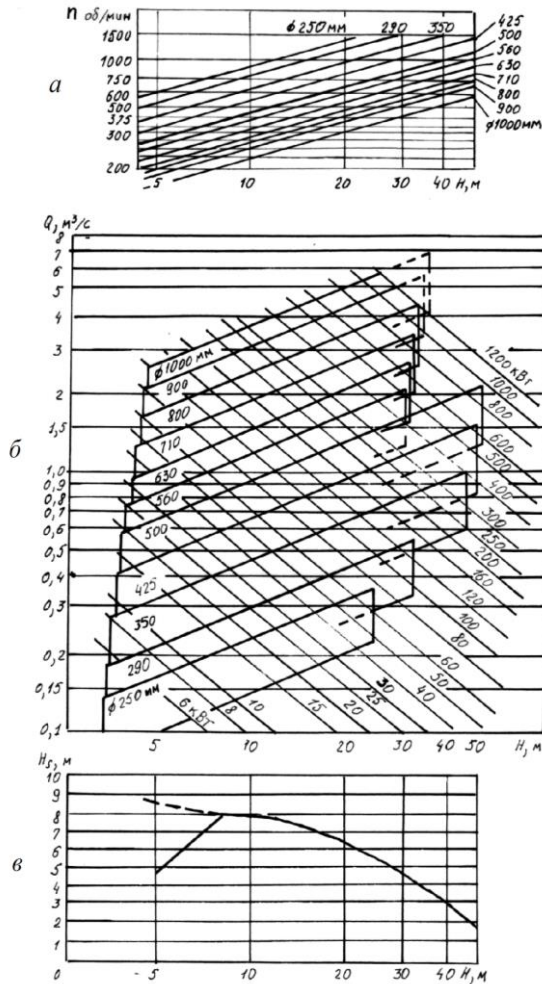
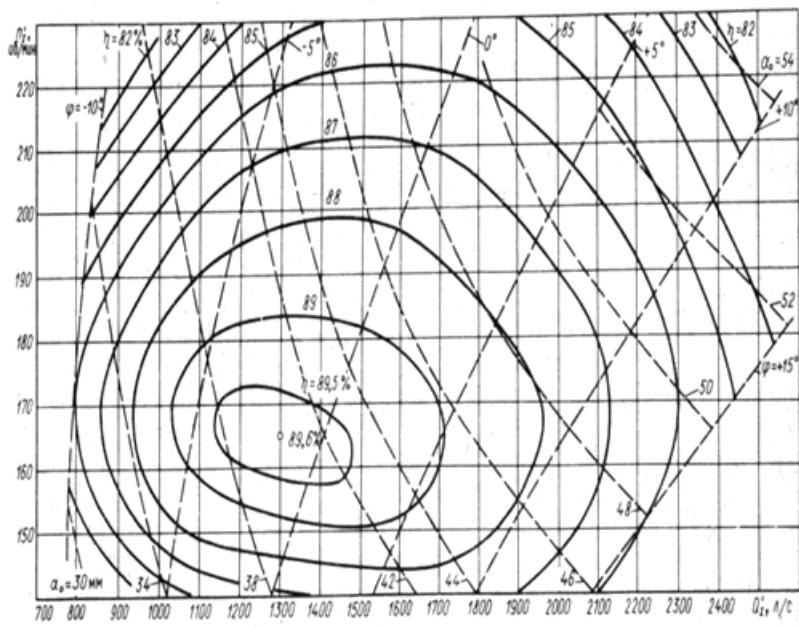
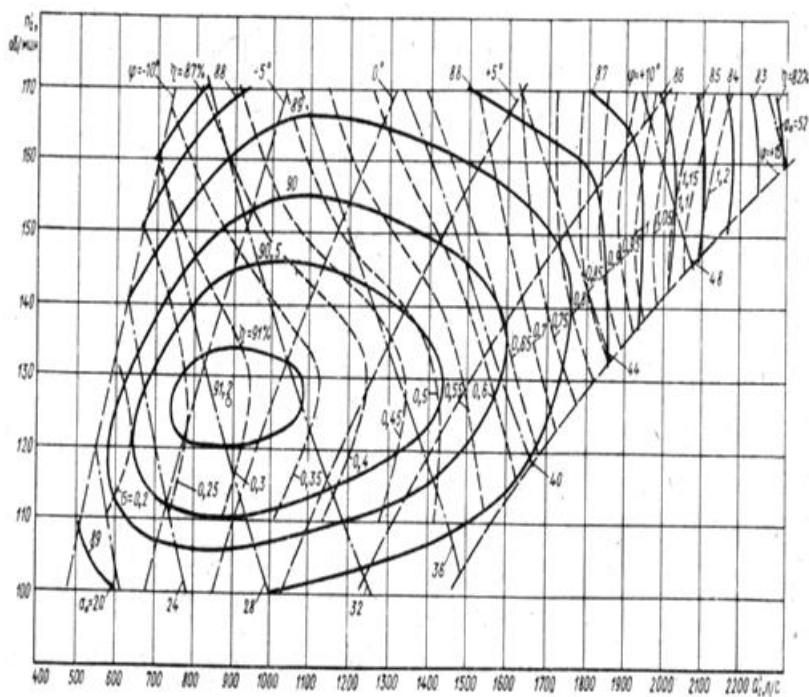


Рис. 1: а – график связи числа оборотов гидротурбины с напором; б – подбор диаметра рабочего колеса гидротурбины; в – определение высоты отсасывания радиально-осевой гидротурбины

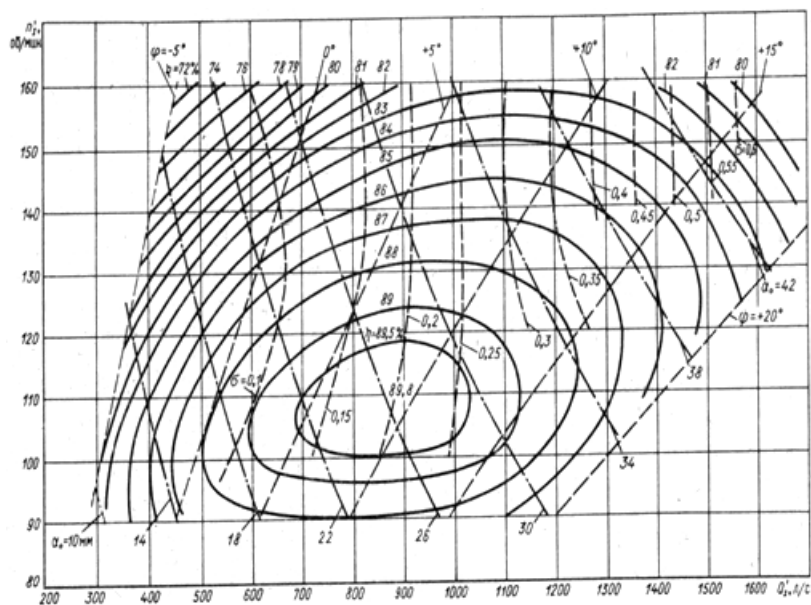
Универсальная характеристика гидротурбины ПЛ15/1019-46



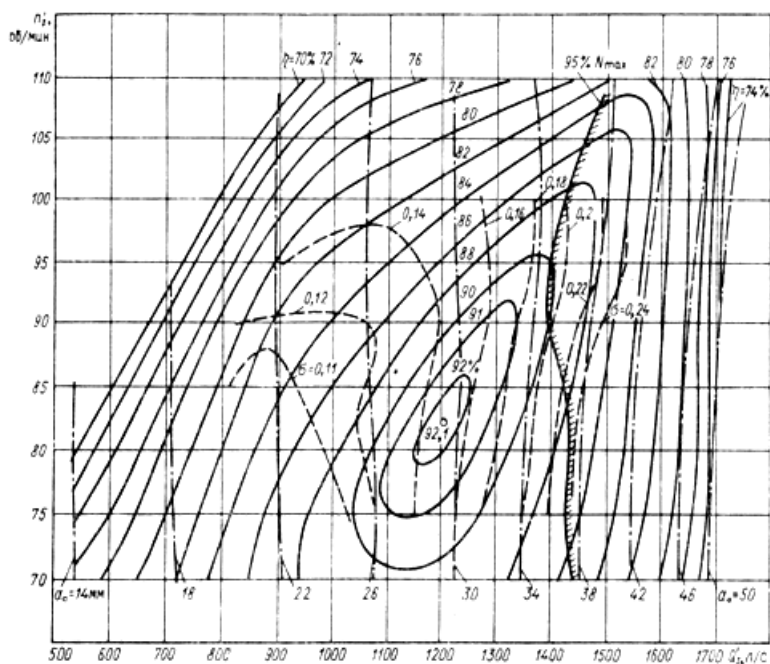
Универсальная характеристика гидротурбины ПЛ30/800-46



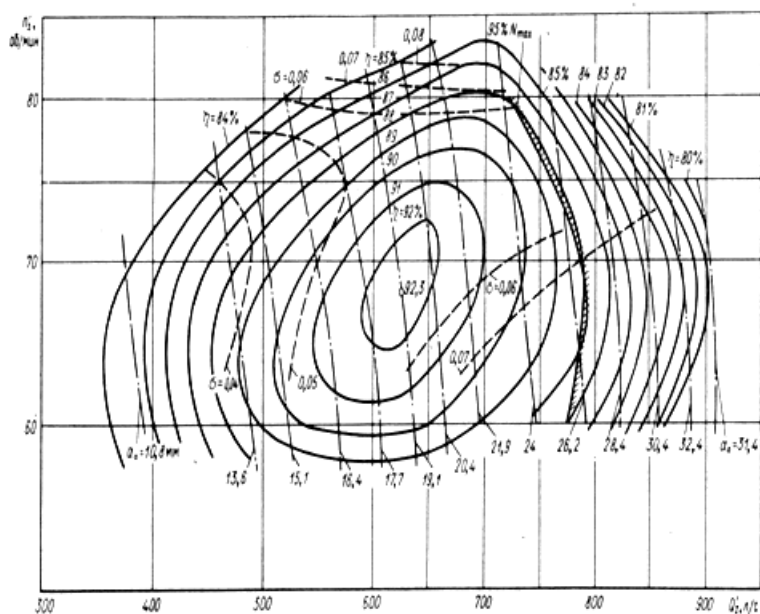
Универсальная характеристика гидротурбины ПЛ60/642-46



Универсальная характеристика гидротурбины РО45/820-46



Универсальная характеристика гидротурбины PO170/803-43, 55



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Практическое занятие 1. Характеристика гидрологических ресурсов Республики Беларусь.....	4
Практическое занятие 2. Составление природно-экономической характеристики бассейна реки.....	33
Практическое занятие 3. Современное использование водных ресурсов и их санитарно-техническое состояние.....	37
Практическое занятие 4. Современный водохозяйственный баланс и обоснование схемы использования водных ресурсов.....	41
Практическое занятие 5. Перспектива народно-хозяйственного использования поверхностных вод бассейна реки. Перспективный водохозяйственный баланс.....	62
Практическое занятие 6. Водноэнергетические расчеты.....	64
Практическое занятие 7. Перспективные конструкции гидроагрегатов малых ГЭС.....	70
Практическое занятие 8. Подбор основного гидросилового оборудования ГЭС.....	76
Практическое занятие 9. Компонировка гидротурбинного блока малой ГЭС.....	84
Практическое занятие 10. Расчет выноса биогенных веществ в сельском хозяйстве.....	92
Практическое занятие 11. Основные положения по ведению государственного водного кадастра (ГВК).....	97
Практическое занятие 12. Технико-экономическое обоснование водохозяйственного комплекса.....	103
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	109
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	110

Учебное издание

Кукреш Александр Сергеевич
Лукашевич Виктор Михайлович
Дрозд Дмитрий Андреевич и др.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

Редактор *С. Н. Кириленко*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 05.05.2026. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 7,21. Уч.-изд. л. 5,92.
Тираж 50 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.