

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

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

Горки
БГСХА
2022

УДК 556.182(075.8)

ББК 65.45я73

К63

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета
25.10.2021 (протокол № 2)
и Научно-методическим советом БГСХА
27.10.2021 (протокол № 2)*

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *В. К. Курсаков*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. М. Лукашевич*;
старший преподаватель *И. А. Левшунов*;
кандидат сельскохозяйственных наук *Д. А. Дрозд*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *С. А. Анженков*;
кандидат технических наук, доцент *О. П. Мешик*

Комплексное использование водных ресурсов : учебно-
К63 методическое пособие / В. К. Курсаков [и др.]. – Горки :
БГСХА, 2022. – 331 с.
ISBN 978-985-882-288-0.

Рассмотрены вопросы комплексного использования водных ресурсов в при
решении водохозяйственных задач промышленности, сельского хозяйства,
городов и населенных пунктов, принципы построения водохозяйственных ком-
плексов, а также приведены методики расчета их элементов. Уделено внимание
обоснованию наиболее выгодных экономических и технических решений, учи-
тывающих экологические и социологические стороны решения проблемы ко м-
плексного использования водных ресурсов.

Для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образова-
ния I степени, обучающихся по специальности 1-74 05 01 Мелиорация и водное е
хозяйство.

УДК 556.182(075.8)
ББК 65.45я73

ISBN 978-985-882-288-0

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2022

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вода – это важнейший стратегический ресурс, имеющий первостепенное значение в обеспечении экономического развития страны и устойчивости биосферы. Природообразующие функции воды чрезвычайно велики. Состояние здоровья населения, развитие экономики страны в значительной степени зависят от наличия и качества водных ресурсов, их рационального использования.

Республика Беларусь обладает достаточно высоким водным потенциалом, однако в настоящее время из-за загрязнения или засорения около 70 % рек и озер страны утратили свои качества как источники питьевого водоснабжения. В результате около половины населения потребляет загрязненную недоброкачественную воду.

Загрязнение водных объектов – источников питьевого водоснабжения – при недостаточной барьерной роли действующих водоочистных сооружений создает серьезную опасность для здоровья населения, обуславливает высокий уровень заболевания кишечными инфекциями. В связи с этим подготовка специалиста, обладающего навыками создания и эксплуатации систем комплексного использования водных ресурсов, приобретает первостепенное значение.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Комплексное использование водных ресурсов» для специальности 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство. Проблема охраны окружающей среды от загрязнения является одной из важнейших экономических и социальных задач, решение которых в первую очередь направлено на обеспечение воспроизводства и рационального использования водных ресурсов.

Целью преподавания дисциплины «Комплексное использование водных ресурсов» является формирование у студентов профессиональных знаний и навыков для решения практических задач комплексной оценки запасов природных вод и прогнозирования их состояния, разработки мер по сокращению непроизводительных потерь воды и проектирования сооружений для защиты водных источников от истощения, загрязнения и засорения.

В процессе изучения дисциплины студенты должны усвоить связь между непрерывно развивающейся хозяйственной деятельностью и масштабами водоиспользования, а также особую важность в этих

условиях мероприятий по комплексному использованию водных ресурсов. Наряду с этим указывается роль экономических, экологических и социальных факторов в развитии водной отрасли хозяйства.

В задачи дисциплины входит научить студентов основным приемам расчета и методам проектирования водохозяйственных комплексов, рационально использующих водные ресурсы, разработке мероприятий по сокращению непроизводительного расхода воды, а также правильно осуществлять на практике водоохранные мероприятия.

В данном издании обобщены теоретические и научно-технические разработки ведущих научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, требования действующих стандартов, строительных норм и правил проектирования, а также юридические и организационные аспекты водного законодательства Республики Беларусь.

Материал пособия базируется на следующих дисциплинах: высшая математика, вычислительная техника и программирование, численные методы решения задач на ЭВМ, физика, химия и микробиология воды, гидравлика, гидрология, гидрометрия, гидротехнические сооружения, экономика отрасли, охрана окружающей среды, водопроводные системы и сооружения, водоотводящие системы и сооружения.

ВВЕДЕНИЕ

Вода является основой жизни на земле. Основа здоровья населения – это качество воды. Однако интенсивное воздействие человека на окружающую среду привело к загрязнению и истощению водных ресурсов.

Вопросами охраны водных бассейнов, их сохранения и восстановления занимается Международная водная ассоциация (International Water Association, IWA).

В СССР большое внимание уделялось мероприятиям, направленным на охрану водных ресурсов, их рациональному использованию. Была разработана законодательная база, организованы органы контроля.

Правительством Республики Беларусь в условиях новых экономических отношений проводится большая работа по охране водных ресурсов. В стране имеется достаточно информации о состоянии водоснабжения и водоотведения городов и населенных пунктов.

Комплексное использование воды с учетом новых научно-практических возможностей рассматривается как часть глобальных экономических и социальных задач.

Сохранение водных источников при постоянно увеличивающемся потреблении и загрязнении их промышленными и бытовыми отходами является одной из актуальных проблем современности. В настоящее время в мире используется 13 % речного стока. По оценкам экспертов, качество питьевой воды почти повсюду неудовлетворительное. Анализ проб воды из водоемов, используемых для питьевого водоснабжения, показывает, что в среднем около 30 % проб по санитарно-химическим и около 25 % по микробиологическим показателям не соответствуют нормативам.

В настоящее время объемы строительства и реконструкции систем водоснабжения и водоотведения возрастают, для чего требуется подготовка инженеров-строителей, способных решать параллельно с задачами водоснабжения и водоотведения вопросы развития водохозяйственного комплекса и водоохраных мероприятий.

Цель данного учебно-методического пособия – научить будущих специалистов осуществлять выбор водопроводных и водоотводящих систем для населенных мест и промышленных предприятий с учетом санитарных, технических, экологических, социальных и экономических требований. Успешное решение этих задач возможно при условии знания закономерностей природных явлений и разумного их использования.

1. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

1.1. Введение в курс «Комплексное использование водных ресурсов»

Предмет и задачи курса. Цель дисциплины – научить студентов грамотно пользоваться методами основных приемов расчета и методами проектирования водохозяйственных комплексов (ВХК), рационально использующих водные ресурсы, разрабатывать мероприятия по сокращению непроизводительного расхода воды, а также осуществлять на практике водоохранные мероприятия; сформировать у студентов базу знаний, необходимых для последующего выполнения дипломного проекта; развить творческое и критическое мышление.

Задачи изучения дисциплины:

- освоение теоретических основ и нормативных документов по комплексному использованию водных объектов;
- формирование знаний, умений и навыков использования методов проектирования систем водопользования;
- знакомство со схемами комплексного использования и охраны водных объектов.

Экологический подход к использованию водных ресурсов. Вода является драгоценным общим ресурсом, имеющим высокую социальную, культурную, экологическую и экономическую ценность. Вода представляет собой основное право человека и основополагающее условие нормального функционирования экосистем. Однако ресурсы пресной воды исчерпаемы и находятся под угрозой ввиду индустриализации, урбанизации и изменения потребностей растущего населения Земли. Некоторые эксперты предсказывают, что к 2030 г. глобальный спрос на воду превысит предложение на 40 %. Уже 660 млн. человек лишены доступа к обустроенным источникам воды и 2,4 млрд. человек проживают в неприемлемых санитарно-гигиенических условиях.

Возникший в следствие надвигающегося экологического кризиса экологический подход к рациональному использованию водных ресурсов предлагает четыре основных аспекта ответственного управления водными ресурсами с общими рекомендациями по их дальнейшей реализации:

- проактивное и инклюзивное взаимодействие с другими водопользователями с целью формирования представления об их потребностях и приоритетах, совместной разработки планов и сотрудничества в области управления рисками;

- прозрачная публичная отчетность касательно водопотребления, существенных рисков в отношении водных ресурсов и показателей;
- сотрудничество с другими водопользователями в целях смягчения общих рисков для водных ресурсов и обеспечения равноправного доступа;
- повышение эффективности водопользования (например, организация замкнутого оборота технической воды и обратное водоснабжение на горнопромышленных предприятиях).

В целом этот подход направлен на выработку целостного понимания потребностей, проблем и приоритетов всех водопользователей по всей водосборной площади. Обязательным условием для его применения является учет всего многообразия гидрологических процессов, а также более широкой политической, экономической, социальной и экологической динамики, влияющей на доступность и качество воды. Кроме того, такой подход предполагает комплексное понимание того факта, что в отсутствие надлежащего управления водными ресурсами конкурирующий спрос на них (между хозяйственными водопользователями, промышленными водопользователями и окружающей средой) может стать причиной возникновения конфликтов.

В Республике Беларусь разработаны свои мероприятия и методы по сохранению своего природного богатства. Существующий подход к управлению водными ресурсами в стране основан на системе водных отношений и регламентирован национальным законодательством, НПА и ТНПА. Данная система основана на принципах платности и лимитирования водопотребления и водоотведения, государственном природоохранном и санитарном контроле за использованием водных ресурсов, государственном и ведомственном мониторинге за состоянием водных ресурсов.

Законы Республики Беларусь о рациональном природопользовании и охране окружающей среды. Национальное законодательство по регулированию водных отношений представлено Водным кодексом Республики Беларусь, который регулирует отношения, возникающие при владении, пользовании и распоряжении водами и водными объектами, и направлен на охрану и рациональное (устойчивое) использование водных ресурсов, а также на защиту прав и законных интересов водопользователей (Закон Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З, вступил в силу 21 мая 2015 г.).

В соответствии с принятым Водным Кодексом Республики Беларусь в области охраны и использования вод вводится бассейновый

принцип управления и разрабатываются Планы управления речными бассейнами (ПУРБ).

Мероприятия ПУРБ должны также учитывать адаптацию к изменению климата и быть направлены на достижение следующих экологических целей:

- хороший экологический статус поверхностных водных объектов с учетом гидробиологических, гидрохимических показателей и степени изменения гидроморфологических показателей;

- хороший экологический потенциал и химический статус сильно измененных водных объектов (СИВО) и искусственных водных объектов (ИВО);

- хороший химический и количественный статус подземных водных объектов.

В ПУРБ должны быть обоснованы «исключения» в соответствии со ст. 4 Ведомственного руководящего документа. В ряде случаев для некоторых водных объектов на первом шестилетнем цикле (а возможно, и на последующих циклах) внедрения программы мероприятий экологические цели не могут быть достигнуты.

В Республике Беларусь используется новая (с учетом рекомендаций и опыта ЕС) нормативная база (технические кодексы установившейся практики (ТКП)) по оценке качества водных объектов по гидробиологическим, гидрохимическим показателям и степени изменения гидроморфологических показателей по пяти классам по каждому типу показателей с итоговой оценкой экологического статуса поверхностных водных объектов.

Принятая Водная стратегия Республике Беларусь в условиях изменения климата на период до 2030 года (Водная стратегия) закрепляет базовые принципы государственной политики в области использования и охраны водных ресурсов, сохранения экосистем, определяет основные направления деятельности по охране и использованию водных ресурсов Республики Беларусь, обеспечивающие:

- охрану водных объектов и подземных вод от загрязнения;

- устойчивое рациональное водопользование в промышленности и в сельском хозяйстве, в том числе путем использования геотермального потенциала подземных вод;

- гарантированное снабжение населения качественной питьевой водой;

- защиту населения и территорий от негативного воздействия вод;

– снижение удельного водопотребления и повышение эффективности использования водноресурсного потенциала, в том числе за счет расширения использования водных объектов для отдыха и экотуризма на международном и национальном уровнях.

Основными целями Водной стратегии являются:

- достижение хорошего состояния поверхностных и подземных вод;
- обеспечение населения, промышленности и сельского хозяйства водой надлежащего качества; уменьшение негативных последствий наводнений и засух;
- расширение использования водных объектов для рекреационных целей.

Содержание Водной стратегии включает:

- характеристику природных условий Республики Беларусь и водноресурсный потенциал, включая объемы местного речного стока, формирующегося на территории Республики Беларусь;
- водообеспеченность и использование водных ресурсов, включая питьевое водоснабжение, использование воды на производственные нужды, гидроэнергетику, водный транспорт, рекреацию, мелиорацию, минеральные лечебные и питьевые воды, использование геотермальных вод;
- характеристику загрязнения поверхностных и подземных вод;
- охрану поверхностных и подземных вод от загрязнения;
- охрану водных ресурсов от негативных воздействий природного характера;
- управление водными ресурсами;
- научный потенциал и кадровую политику;
- систему мониторинга поверхностных и подземных вод;
- механизмы реализации Водной стратегии и ожидаемые результаты;
- прогнозные показатели реализации Водной стратегии на период до 2030 г.

Согласно Водной стратегии, «стратегическая цель в области сохранения водного потенциала страны состоит в повышении эффективности использования и улучшении качества водных ресурсов, сбалансированных с потребностями общества и возможным изменением климата». Одним из главных направлений реализации Водной стратегии является внедрение наилучших технических методов для комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды, а также анализ и учет влияния стихийных гидрометеорологических явлений и возможного изменения климата на водные ресурсы. Однако более деталь-

ные и конкретные вопросы адаптации к изменению климата и мероприятия по снижению негативных последствий воздействия этих изменений на водные ресурсы в Водной стратегии практически отсутствуют.

Водное хозяйство и его развитие. Водное хозяйство – отрасль народного хозяйства, занимающаяся изучением, учетом, планированием комплексного использования водных ресурсов, охраной поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения и транспортировкой их к месту назначения (потребления).

Основная задача водного хозяйства – обеспечение всех отраслей народного хозяйства водой в необходимом количестве и соответствующего качества.

По характеру использования водных ресурсов отрасли народного хозяйства делятся на водопотребителей, которые часто безвозвратно изымают воду из ее источников (рек, водоемов, водоносных пластов), – промышленность, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство (для промышленного, бытового и сельскохозяйственного водоснабжения, орошения, обводнения), и водопользователей, которые обычно используют не саму воду, а ее энергию или водную среду, – гидроэнергетика, водный транспорт, рыбоводство и др.

Развитие водного хозяйства Республики Беларусь осуществляется на основании Водной стратегии по обеспечению водной безопасности страны. Для реализации всех поставленных в данной стратегии целей необходимо решить ряд задач к 2030 г.:

- 1) необходимо обеспечить всеобщий и равноправный доступ к безопасной и недорогой питьевой воде для всех;
- 2) обеспечить доступ населения к надлежащим и справедливым услугам в области водоотведения;
- 3) повысить качество природных вод посредством уменьшения загрязнения и сведения к минимуму сбросов опасных химических веществ и материалов, прекращения сброса недостаточно очищенных сточных вод и увеличения повторного (последовательного) использования.

Решение данной задачи в сфере разработки и реализации планов управления речными бассейнами в соответствии со ст. 15 Водного кодекса Республики Беларусь, основу которых составляют планы мероприятий по достижению хорошего либо отличного экологического статуса всех водных объектов, в том числе мероприятия по снижению диффузного загрязнения водных объектов. Кроме того, основные уси-

лия должны быть направлены на внедрение наилучших технических методов очистки сточных вод и оптимизацию водопользования на предприятиях, создание механизмов экономического стимулирования сокращения сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод, включая проработку вопроса об установлении ставок экологического налога за сброс сточных вод, исходя из массы сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод.

Снижение и прекращение сброса недостаточно очищенных сточных вод напрямую зависят от реконструкции и модернизации очистных сооружений, которые, в свою очередь, зависят от объема финансовых средств, направляемых на данные мероприятия. Значительную роль здесь может сыграть полное направление средств, поступивших от уплаты экологического налога за сброс сточных вод, на реконструкцию и модернизацию очистных сооружений. Также значимую позитивную роль может сыграть переход на уплату экологического налога в зависимости от массы сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод.

4. Повысить эффективность водопользования во всех отраслях экономики и обеспечить устойчивое водоснабжение населения.

Основу питьевого водоснабжения в Беларуси составляют подземные воды. Для устойчивого водоснабжения населения в первую очередь необходимо проводить мероприятия по охране подземных вод от загрязнения.

Основным направлением повышения рационального использования водных ресурсов является экономическое стимулирование: сокращения удельного водопотребления, непроизводительных потерь воды и внедрения водосберегающих технологий, увеличения объемов повторного использования очищенных сточных вод, в том числе поверхностных сточных вод, использования дренажных вод. Проблемный вопрос оптимизации водопользования – недостаточная обоснованность заявленных водопользователями объемов водопотребления и водоотведения в заявлениях на получение разрешения на специальное водопользование, комплексное природоохранное разрешение.

5. Внедрить комплексное управление водными ресурсами (КУВР) на всех уровнях, в том числе посредством трансграничного сотрудничества в соответствующих случаях.

Комплексное управление водными ресурсами – это процесс, который способствует скоординированному освоению водных и связанных с ними природных ресурсов и управлению ими в целях извлечения на

равноправной основе максимальной пользы с точки зрения экономического и социального благосостояния, без ущерба для устойчивости важнейших экосистем. Комплексное управление водными ресурсами является не самоцелью, а средством достижения трех ключевых аспектов устойчивого развития:

- экономической эффективности использования водных ресурсов оптимальным образом;
- социального равенства при распределении водных ресурсов между социальными и экономическими группами;
- экологической устойчивости для защиты базы водных ресурсов, а также связанных с ними экосистем.

В соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь (ст. 3) охрана и использование вод осуществляются на основе следующих принципов:

- рационального (устойчивого) использования водных ресурсов;
- комплексного использования водных ресурсов;
- бассейнового управления водными ресурсами.

Решение данной задачи лежит в сфере создания национальных бассейновых советов и их активной работы по реализации планов управления речными бассейнами, подготовке и заключению международных соглашений по охране и использованию трансграничных вод со всеми соседними странами, разработке совместных планов управления трансграничными речными бассейнами, созданию совместных комиссий (рабочих групп) по трансграничному водному сотрудничеству, проведению трансграничного мониторинга поверхностных и подземных вод по согласованному странами регламенту наблюдений и оценки, активному обмену мониторинговой информацией.

6. Обеспечить охрану и восстановление водных экосистем.

Решение данной задачи связано с охраной и восстановлением водно-болотных угодий – сложных экологических систем, чутко реагирующих на любое воздействие со стороны человека. Республика Беларусь – страна, особенно богатая водно-болотными ресурсами, в которой до настоящего времени в естественном состоянии сохранилось значительное количество водно-болотных угодий.

Второе направление – охрана и восстановление малых водотоков (рек и ручьев), протекающих в черте населенных пунктов. Данные водотоки подвергаются повышенной антропогенной нагрузке, уменьшается их водосборная площадь в результате застройки, вследствие чего снижаются расходы и уровни воды, местами водотоки закладываются в

коллектор или совсем исчезают. Происходит их значительное загрязнение поверхностными сточными водами с селитебной территории и промышленных площадок. Установление водоохраных зон и прибрежных полос, на которых устанавливается режим осуществления хозяйственной и иной деятельности, обеспечивающий предотвращение их загрязнения, засорения, является одним из наиболее эффективных средств охраны малых рек от загрязнения.

Третье направление – инвентаризация, обустройство и охрана родников, уникальных природных водных объектов.

Основные мероприятия по всем вышеуказанным направлениям будут выполняться в составе мероприятий по реализации Национальной стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий до 1 января 2030 г.

План Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО) и его роль в развитии комплексного использования водных ресурсов. Отправной точкой в развитии водного хозяйства нашей страны стал план ГОЭЛРО, заложивший основы развития гидроэнергетики еще в начале XX в. Государственная комиссия по электрификации России – орган, созданный 21 февраля 1920 г. для разработки проекта электрификации России после Октябрьской революции 1917 г. Аббревиатура часто расшифровывается также как Государственный план электрификации России, т. е. продукт комиссии ГОЭЛРО, ставший первым перспективным планом развития экономики, принятым и реализованным в России после революции.

Одним из главных направлений развития электроэнергетики с первых лет реализации плана ГОЭЛРО стало гидроэнергетическое строительство. Это было обусловлено наличием мощного гидроэнергетического потенциала, использование которого открывало большие возможности для создания энергетической базы народного хозяйства страны.

Большое внимание комиссии ГОЭЛРО к вопросам гидроэнергетики наглядно иллюстрируется тем, что из общего числа намеченных планом строительства 30 новых электростанций треть составляли гидроэлектростанции.

Первой гидроэлектростанцией, сооруженной под руководством профессора Г. О. Графтио по плану ГОЭЛРО, была Волховская ГЭС. Сооружение этой ГЭС явилось примером комплексного решения проблемы использования водных ресурсов. В результате ее строительства было обеспечено электроснабжение Ленинграда, налажено производ-

ство алюминия и создан судоходный путь на всем протяжении р. Волхов. Параллельно с Волховской ГЭС развитие гидроэнергетики было отмечено сооружением Земо-Авчальской (ЗАГЭС), Бозсуйской, Ереванской и других гидроэнергетических объектов плана ГОЭЛРО.

Особое место в плане ГОЭЛРО отводилось строительству гидроэлектростанции на Днепре, как первенцу индустриализации страны.

В начале 1921 г. разработку проекта строительства гидроэлектростанции на Днепре поручили профессору И. Г. Александрову. Он представил проект строительства самой мощной в Европе и крупнейшей в мире Днепровской ГЭС проектной мощностью 560 МВт с бетонной плотиной высотой 60 м, длиной 760 м и огромным по тем временам объемом строительных работ. Проект экономически и технически выгодно отличался от всех предыдущих. Он одновременно решал вопросы судоходства по Днепру и обеспечивал получение большого количества дешевой электроэнергии для угольного Донбасса, железорудного Криворожского бассейна и приднепровской металлургии.

1927 г. был «урожайным» на начало строительства электростанций. В рамках плана ГОЭЛРО были заложены Белорусская (Осиновская) и Челябинская районные электростанции проектными мощностями 40 и 60 тыс. кВт, Днепровская и Нижнесвирская гидроэлектростанции проектными мощностями 200 и 40 тыс. кВт соответственно. Кроме того, строители приступили к сооружению Краснодарской, Кувшиновской, Орехово-Зуевской районных электростанций, Дзорогетской, Малой Аламединской, Нухинской, Хариузовской гидроэлектростанций, Костромской теплоэлектроцентрали.

К 1931 г. было осуществлено предусмотренное планом ГОЭЛРО удвоение уровня промышленного производства. План ГОЭЛРО по электростроительству был выполнен в 1931 г. – третьем году первой пятилетки. Значительными темпами росли мощности электростанций и выработки электроэнергии. В 1931 г. прирост новых энергетических мощностей против 1930 г. возрос почти вдвое, а план ГОЭЛРО по этому показателю был выполнен на 146 %. Если в 1930 г. производство электроэнергии в СССР составляло 8368 млн. кВт · ч., то в 1931 г. – уже 13540 млн. кВт · ч.

Высокими темпами развивались высоковольтные электрические сети и подстанции, практически отсутствовавшие в дореволюционной России. В период с 1923 года по 1928 год в топливном балансе тепловых электростанций стремительно росла доля торфа с 13,1 до 41,4 %, который вытеснял дровяное топливо. Однако торф оказался наименее

эффективным из видов топлива по капитальным затратам и издержкам добычи. Поэтому в 1930 г. было принято решение форсировать добычу угля в Донецком бассейне и ограничить использование торфа. В результате к концу первой пятилетки доля торфа снизилась до 29,3 %, а доля угля возросла до 47,3 %.

Основные результаты выполнения плана ГОЭЛРО можно охарактеризовать следующими положениями:

- осуществлено техническое перевооружение отраслей народного хозяйства СССР на базе электрификации;

- обеспечен опережающий рост темпов развития электроэнергетики по сравнению с темпами роста промышленного производства при сосредоточении производства электроэнергии на крупных электростанциях с наиболее совершенным оборудованием;

- реконструированы, значительно расширены и объединены линиями электропередачи для работы на общую сеть старые электростанции, построенные до 1917 г.;

- сооружены и рационально размещены новые электростанции для электроснабжения с целью перевода промышленности на современные основы;

- для электростанций были широко использованы местные топливные ресурсы и гидроэнергоресурсы при улучшении судоходства и ирригации;

- сооружены линии электропередачи высокого напряжения и начато объединение электростанций для параллельной работы.

Рост энергетического потенциала способствовал развитию железнодорожного транспорта, переводу магистралей с паровой тяги на электрическую. 6 июня 1926 г. открылась первая в стране электрифицированная железная дорога городского типа Баку – Сабунчи – Сураханы на постоянном токе напряжением 1200 В, а 20 июля 1929 г. – электрифицированная линия Московского железнодорожного узла Москва – Мытищи.

Электрификация Бакинского нефтяного района позволила, начиная с 1931 г., осуществлять всю добычу нефти на базе электрификации. Такое централизованное электроснабжение нефтепромыслов в те годы было недоступно даже для США. Сплошная электрификация промыслов в значительной мере предопределила выполнение Бакинскими нефтяниками плана первой пятилетки за 2,5 года.

Решающая роль электрификации страны для развития народного хозяйства, обоснованная в плане ГОЭЛРО, заключалась в претворении

в жизнь широкого спектра научных исследований процессов электро-энергетики.

Генеральная схема комплексного использования водных ресурсов и принципы ее составления. Решение комплексных водохозяйственных проблем немыслимо без длительных исследований, разработки и сравнения альтернативных вариантов технических решений. Рассмотрение их должно базироваться на глубоком анализе технико-экономических данных, а также на прогнозе возможных изменений природных условий. Однако эти изменения не должны вызывать нарушение равновесия природных факторов существующего до создания того или иного водохозяйственного комплекса. Они должны обеспечивать создание природных условий с учетом интересов развития общества.

Все изложенное свидетельствует о необходимости координации использования и охраны водных ресурсов, для чего в нашей стране разрабатываются генеральные схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов (СКИОВР). Такой подход к решению проблемы дает возможность:

- оценить поверхностные и подземные водные ресурсы применительно к отдельным речным бассейнам и территориям, при этом выявить и учесть влияние хозяйственной деятельности человека на режим водных источников;

- определить основные требования к количеству и качеству воды различных отраслей народного хозяйства для различных периодов их развития;

- разработать и научно обосновать нормы водопотребления;

- установить возможность повторного или последовательного использования воды;

- определить объем безвозвратных потерь, а также наметить пути для их сокращения, увязать запросы отдельных водопотребителей между собой и выделить наиболее эффективные и экономичные связи повторного использования воды, в соответствии с этим наметить перспективы развития различных отраслей народного хозяйства;

- разработать водохозяйственные балансы и выделить районы, испытывающие наибольший дефицит в воде по этапам времени;

- наметить первоочередные водохозяйственные объекты, обеспечивающие развитие экономики без осуществления сложных мероприятий по перераспределению стока между отдельными речными бассейнами, распределить капитальные вложения, необходимые для выполнения плана водохозяйственного строительства, дать экономи-

ческую оценку эффективности всего комплекса мероприятий на основе водохозяйственных балансов;

- выработать предложения по оптимальному размещению промышленных объектов, транспортных узлов, мелиорируемых сельскохозяйственных площадей, определить основные меры по охране водотоков и водоемов от их истощения, загрязнения и засорения;

- разработать эффективные сооружения по очистке и обеззараживанию сточных промышленных и коммунальных вод;

- оценить изменения природных условий в тех районах и областях, где намечается проведение крупных водохозяйственных мероприятий;

- обосновать характер и объемы необходимых проектно-изыскательских и научно-исследовательских работ и определить состав их исполнителей.

Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов – это фундаментальные документы в области управления использованием и охраной водных объектов, которые служат основой для разработки федеральных и территориальных программ восстановления, использования и охраны водных объектов, установления порядка использования, распоряжения и владения водными объектами, а также установления лимитов водопользования субъектам народного хозяйства страны, выдачи лицензий на водопользование, нормирования в области использования и охраны водных объектов для всех видов водопользования, подготовки бассейновых соглашений, формирования и расходования целевых бюджетных фондов восстановления и охраны водных объектов.

Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов содержат систематизированные материалы исследований и проектных разработок о состоянии водных ресурсов и перспективном использовании и охране водных объектов. В них определены водохозяйственные и другие мероприятия, предназначенные для удовлетворения перспективных потребностей общества в водных ресурсах, обеспечения рационального использования и охраны водных объектов, а также для предотвращения и ликвидации вредного воздействия вод.

Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов разрабатываются на основе положений Водного кодекса Республики Беларусь, программных документов Правительства по социально-экономическому развитию страны и охране окружающей среды, имеющих фондовых материалов данных государственного учета природных ресурсов, проектных разработок, научных исследований и других материалов с учетом региональных целевых программ социального

развития, развития экономики, охраны природы, использования и охраны водных ресурсов.

Начеаемые в схемах комплексного использования и охраны вод мероприятия обеспечивают наиболее эффективные для народного хозяйства использование вод (с учетом первоочередного удовлетворения потребностей в воде населения) путем регулирования стока рек, экономного расходования воды и прекращения сброса неочищенных сточных вод на основе совершенствования технологии производства и схем водоснабжения, применение маловодных и безводных технологических процессов, оборотного водоснабжения, воздушного и испарительного охлаждения, других технических приемов.

Для прогнозирования и осуществления рационального использования, восстановления и охраны водных объектов на основе водохозяйственных балансов, схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, данных государственного водного кадастра разрабатываются бассейновые, территориальные государственные программы.

Бассейновые и территориальные программы комплексного использования и охраны водных объектов позволяют находить наиболее эффективные решения местных водохозяйственных задач.

Из существующих противоречий между социальными потребностями общества и нуждами природы к наиболее сложным следует отнести вопросы комплексного использования и охраны водных объектов от загрязнения. В деле охраны природы медленно используются научно-технические достижения, в проекты строительства новых и реконструкции действующих предприятий все еще закладываются устаревшие решения, слабо внедряются безотходные и малоотходные технологические процессы, при переработке полезных ископаемых часть добытой массы идет в отходы, загрязняя окружающую среду.

При разработке Схем выделяются следующие этапы выполнения работ:

- сбор, первичная обработка и анализ исходной информации (этап 1);
- выявление и ранжирование по степени значимости проблем: использования и охраны водных объектов; наличия водных ресурсов, их доступности для использования; возможных вредных воздействий вод (этап 2);
- формулирование основных целей, оценка их достижимости в течение планируемого периода реализации Схемы, установление целевых показателей (этап 3);

- определение возможных наборов (вариантов) мероприятий по поэтапному достижению установленных целевых показателей (этап 4);
- социально-экономическая оценка реализации возможных наборов мероприятий (этап 5);
- выбор набора мероприятий для реализации, окончательное определение положений Схемы, этапов ее реализации, индикаторов достижения целевых показателей и программы мониторинга хода реализации Схемы (этап 6).

На первом этапе должны быть осуществлены сбор, первичная обработка и анализ исходной информации, необходимой для выявления и анализа проблем управления водными ресурсами в рассматриваемом бассейне реки, сбор иной описательной и оценочной информации, характеристик и проблем бассейна реки.

На территории бассейна реки, для которого разрабатывается Схема, необходимо выделить конечное число природных и искусственных водных объектов, для которых должны быть выполнены оценки антропогенных нагрузок и возможных ущербов от вредного воздействия вод.

Оценка текущего состояния водных объектов, основных природных факторов, влияющих на это состояние, наличия и доступности водных ресурсов для использования, вероятности наступления природных событий, вызывающих наводнения, засухи и другие виды вредного воздействия вод, осуществляется на основании сбора физико-географической, гидрологической, гидрогеологической и гидрометеорологической информации по водосбору и водным объектам рассматриваемого бассейна реки, включающей:

- характеристики рельефа и ландшафтов бассейна реки (картографические материалы, густота речной сети, лесистость, озерность, заболоченность, типы почв и др.);
- гидрологическую и гидрогеологическую изученность бассейна реки (существующая сеть наблюдений, существовавшие ранее посты наблюдений, наблюдаемые параметры, частота и периоды наблюдений и т. д.);
- основные гидрологические и морфометрические (для поверхностных вод) характеристики (длина, ширина, глубина, извилистость реки, скорость течения, расход воды и т. д.), а также гидрогеологические (для подземных вод) характеристики (уровень залегания, температура, качественный состав вод и т. д.);
- гидрометеорологические (климатические) характеристики (осадки, испарение, температуры и т. д.).

Источниками физико-географической, гидрологической, гидрохимической, гидрогеологической и гидрометеорологической информации по водосбору и водным объектам рассматриваемого бассейна реки являются:

- государственный водный кадастр;
- государственный земельный кадастр;
- данные мониторинга поверхностных вод и мониторинга подземных вод Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь;
- единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении (в части данных о состоянии водных объектов);
- картографо-геодезические фонды республики;
- данные по текущему состоянию государственной наблюдательной сети;
- данные о пунктах наблюдений государственной сети наблюдений за состоянием поверхностных и подземных вод;
- результаты ранее проведенных изыскательских и научно-исследовательских работ по изучению водосборной территории и водных объектов рассматриваемого бассейна реки.

Для оценки антропогенной нагрузки, выявления причин и источников загрязнения водных объектов в результате хозяйственной деятельности, разработки целевых показателей качества воды в водных объектах и мероприятий по их достижению осуществляется сбор информации по хозяйственному освоению водосбора, забору свежей воды из водных объектов и сбросам сточных вод в водные объекты рассматриваемого бассейна реки, включая:

- характеристики сельскохозяйственного использования водосборной территории бассейна реки (состав и площади возделываемых культур, применяемая агротехника, состав и масштабы использования органических и минеральных удобрений, других химических средств защиты растений, методы, способы и площади орошения и осушения, источники оросительной воды и приемники дренажных вод, состав дренажных вод, виды и масштабы производства животноводческой продукции, объемы водопотребления на эти цели, объемы, способы хранения и утилизации отходов животноводства и др.);
- характеристики промышленного использования водных ресурсов и водных объектов бассейна реки (объемы, внутригодовое распределение и динамика заборов свежей воды и сбросов сточных вод, водоемкость продукции и т. д.);

- характеристики использования водных ресурсов для целей энергетики (объемы, динамика заборов свежей воды и сбросов сточных вод, система водоснабжения и т. д.);

- характеристики хозяйственно-бытового использования водных ресурсов и водных объектов бассейна реки (объемы, внутригодовое распределение и динамика заборов свежей воды и канализационных сбросов, водопотребление на душу населения, потери в распределительных сетях и т. д.);

- характеристики транспортного использования водных объектов бассейна реки (судоходные пути и их параметры, сроки навигации, объемы грузоперевозок и т. д.);

- характеристики рекреационного использования водных объектов бассейна реки (направление и структура рекреационного использования водного объекта, число отдыхающих, сброс сточных вод от учреждений рекреации и т. д.);

- характеристики особо охраняемых природных территорий бассейна реки (границы и площади, ограничения хозяйственной деятельности и т. д.).

Источниками информации по степени хозяйственного освоения водных ресурсов и водных объектов рассматриваемого бассейна реки являются:

- государственный водный кадастр;

- государственный земельный кадастр;

- реестр имущества, находящегося в собственности Республики Беларусь;

- справочно-аналитические материалы, содержащие данные мониторинга и анализа социально-экономических процессов по республике, областям, областным центрам, отраслям экономики, министерствам и ведомствам;

- государственные программы и прогнозы социально-экономического развития на долгосрочный, среднесрочный и краткосрочный периоды (включая сценарии социально-экономического развития страны на среднесрочную и краткосрочную перспективы);

- республиканские целевые программы территориального развития;

- республиканские целевые, отраслевые и иные программы развития сельских территорий;

- отчеты, планы и программы организаций по осуществлению хозяйственной деятельности, связанной с использованием водных объектов;

- сведения, полученные при осуществлении контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов;

- информация по нарушениям безопасного применения химических средств защиты растений;
- сведения, полученные при осуществлении контроля и надзора в сфере водного транспорта.

Для анализа возможностей использования водных объектов и разработки мероприятий по повышению эффективности их использования, возможностей защиты от вредного воздействия вод и разработки соответствующих мероприятий осуществляется сбор информации о водохозяйственной инфраструктуре рассматриваемого бассейна реки, включая:

- общие характеристики регулирующих емкостей и систем распределения (перераспределения) речного стока (и др.) (объемы водохранилищ, режимы переброски стока и т. д.);
- характеристики водозаборных сооружений (тип сооружения, место расположения, расход воды и т. д.);
- характеристики водозаборов подземных вод (год ввода в эксплуатацию, утвержденные запасы подземных вод, среднесуточный водоотбор и т. д.);
- характеристики трактов водоподач (уклон, длина, ширина, расход и т. д.);
- характеристики систем водоотведения (протяженность сетей водоотведения, объем сброса сточных вод, мощность очистных сооружений и т. д.);
- характеристики защитных (противопаводковых) сооружений (берегоукрепление, дамбы, регулирование русла, водохранилища и т. д.).

Источниками информации о водохозяйственной инфраструктуре рассматриваемого бассейна реки являются:

- единый государственный регистр предприятий и организаций всех форм собственности и хозяйствования;
- государственный водный кадастр;
- государственный земельный кадастр;
- проектная и предпроектная документация на строительство и реконструкцию водохозяйственных объектов.

Анализ социально-экономических аспектов и использования водных объектов, разработки мероприятий по повышению эффективности управления использованием и охраной водных объектов, экономической оценки возможных наборов водохозяйственных мероприятий и мероприятий, направленных на сохранение и восстановление водных объектов, обеспечение устойчивого функционирования водохозяй-

ственных систем в границах бассейна реки и достижение целевых показателей качества воды в водных объектах, определения предполагаемых объемов финансовых ресурсов, необходимых для реализации Схем, должен осуществляться, опираясь на данные сбора социально-экономической и нормативно-правовой информации по водопользованию на территории рассматриваемого бассейна реки, включая:

- характеристики предоставленных прав пользования водными объектами или их частями;
- данные об экологическом налоге и плате за пользование водными объектами;
- характеристики направлений социально-экономического развития на территории бассейна, влияющих на нагрузки на водные объекты (изменения численности населения, планы и программы развития промышленного и сельскохозяйственного производства, охраны окружающей среды и др.);
- характеристику системы управления использованием и охраной водных объектов, защиты от вредного воздействия вод на территории рассматриваемого бассейна реки.

Одной из главных задач первого этапа является выявление пробелов в требуемой информации для целей разработки в составе Схем программ развития мониторинга и проведения научно-исследовательских и изыскательских работ на территории рассматриваемого бассейна реки.

На втором этапе разработки Схем следует выявить и ранжировать по степени значимости проблемы:

- использования и охраны водных объектов;
- наличия водных ресурсов, их доступности для использования;
- проявлений вредного воздействия вод.

На основании анализа собранной в ходе выполнения первого этапа разработки Схемы информации следует определить величину антропогенных нагрузок на выделенные водные объекты рассматриваемого бассейна реки и выполнить оценку их состояния. При выполнении оценки состояния водных объектов как в современных условиях, так и в перспективе, должны использоваться результаты расчетов водохозяйственных балансов, а также балансов загрязняющих веществ и микроорганизмов, поступающих в водные объекты со сточными водами или иным способом в результате хозяйственной деятельности как на территории рассматриваемого бассейна реки, так и извне. При оценке фактического и прогнозного состояния водного объекта

следует учитывать нормативы допустимого воздействия на водные объекты.

В случаях когда замыкающий створ главной реки одного бассейна реки является входным створом для другого бассейна реки, все расчетные характеристики для данного створа, включая целевые показатели качества воды, в Схемах для каждого из указанных бассейнов должны быть полностью идентичными.

Для оценки удовлетворения потребностей водопользователей в водных ресурсах, оценки состояния водных объектов и выявления пределов их использования необходимы расчеты водохозяйственных балансов по выделенным водным объектам, водохозяйственным участкам рассматриваемого бассейна реки и по бассейну реки в целом.

В рамках Схем должен быть выполнен анализ влияния состояния водных объектов на социальную и экономическую обстановку на территории рассматриваемого бассейна реки, выявлены водные факторы, влияющие или могущие повлиять на обострение социальной напряженности, факторы, выступающие или могущие выступить ограничителями экономического развития (снижение качества жизни, повышение заболеваемости, дефицит воды для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, дефицит водных ресурсов для развития основных видов производства и др.).

На основании выполненных оценок, расчетов и анализа должны быть выявлены и сформулированы проблемы экологического состояния водных объектов и водообеспеченности на современном уровне и в перспективе (включая проблемы информационного, технологического, управленческого и институционального характера).

Чтобы выявить проблемы вредного воздействия вод, прежде всего необходимо определить виды такого воздействия в рассматриваемом бассейне: проблемы в современных условиях или проблемы, которые могут возникнуть в перспективе (затопления и подтопления населенных пунктов, промышленных объектов, сельскохозяйственных угодий, разрушение берегов водных объектов, воздействие агрессивных подземных и поверхностных вод на здания и сооружения и др.). Приоритетными следует считать вопросы вредного воздействия вод, связанного с затоплениями вследствие наводнений.

При выявлении проблем, связанных с наводнениями и разработкой противопаводковых мероприятий, следует руководствоваться основными принципами устойчивого предупреждения наводнений и смягчения их последствий, включая охват предупреждением наводнений

всего водосборного бассейна, приспособление методов использования паводкоопасных территорий к существующим опасностям, принятие предупредительных мер для уменьшения негативных последствий наводнений для водных объектов и водных экосистем.

Для оценки риска ущерба от наводнения следует выполнить районирование территории рассматриваемого бассейна реки по степени паводковой опасности и укрупненную оценку количества населения и материальных ценностей, находящихся либо оказывающихся в перспективе в зонах потенциального затопления при различных значениях максимальных уровней воды, соответствующих уровням 50 %, 25 %, 10 %, 5 %, 3 % и 1 % обеспеченности.

На основании выполненных оценок, расчетов и анализа должны быть выявлены и сформулированы проблемы вредного воздействия вод, включая проблемы информационного, технологического, управленческого и иного характера.

Выявленные проблемы должны быть сгруппированы и раскрыты с указанием численных параметров и причин возникновения:

- проблемы экологического состояния водных объектов;
- коммунального (питьевого и хозяйственно-бытового) водоснабжения;
- сельскохозяйственного производства;
- промышленности и энергетики;
- транспорта;
- проблемы вредного воздействия вод: наводнений, переработки берегов, агрессивных воздействий поверхностных и подземных вод на сооружения;
- проблемы организационно-управленческого характера (информационные, технологические, аналитические, нормативно-правовые, институциональные).

На третьем этапе разработки Схемы осуществляется формулирование основных целей реализации водохозяйственных и водоохранных мероприятий, мероприятий по предотвращению вредного воздействия вод, направленных на решение приоритетных проблем, с оценкой их достижимости в течение периода реализации Схемы, устанавливаются количественные целевые показатели этапов реализации Схемы.

Цели должны:

- устанавливаться для каждой из выделенных приоритетных проблем;

- формулироваться в измеримых количественных показателях, предусматривающих возможность контролируемого поэтапного достижения;

- отражать реалистичность, т. е. сбалансированность с ресурсами, необходимыми для решения выделенных проблем.

Установление целевых показателей предполагает рассмотрение нескольких альтернативных вариантов программ водохозяйственных и водоохранных мероприятий с оценкой достижимости и эффективности каждого из них.

В качестве основных при разработке Схемы должны рассматриваться следующие целевые состояния водных объектов бассейна реки:

- сохранение значений показателей использования и охраны водных объектов на уровне значений, имевших место на момент начала разработки Схемы (стабилизация обстановки, недопущение ухудшения состояния водных объектов);

- достижение для водных объектов значений показателей, соответствующих их природному состоянию (для естественных водных объектов) или максимальному экологическому потенциалу (для искусственно модифицированных или искусственных водных объектов);

- достижение промежуточных целевых состояний водных объектов с учетом перспектив социально-экономического развития территорий и имеющихся ресурсов (поэтапное улучшение состояния водных объектов).

На четвертом этапе разработки Схемы должны быть выполнены вариантные проработки программ мероприятий, направленных на сохранение и восстановление водных объектов, обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственных систем в границах рассматриваемого бассейна реки, обеспечивающих поэтапное достижение целевых показателей, определяемых на третьем этапе разработки Схемы.

По каждому варианту мероприятий должны быть определены:

- лимиты забора (изъятия) воды из водных объектов по водохозяйственным участкам рассматриваемого бассейна реки;

- лимиты сброса сточных вод, соответствующих нормативам качества, в водные объекты по водохозяйственным участкам рассматриваемого бассейна реки.

Программы водохозяйственных и водоохранных мероприятий, мероприятий по предотвращению вредного воздействия вод должны включать мероприятия по следующим направлениям:

- фундаментальные (базисные) мероприятия;

- институциональные мероприятия;

- мероприятия по улучшению оперативного управления;
- мероприятия по строительству и реконструкции сооружений.

В составе фундаментальных мероприятий следует рассматривать следующие виды мероприятий:

- осуществление идентификации, классифицирование водных объектов по типу и состоянию;
- ведение учета водных ресурсов и их использования;
- развитие научно-методической базы управления использованием и охраной водных объектов, включая разработку экономических механизмов стимулирования эффективного водопользования;
- восстановление и развитие наблюдательной сети за состоянием водных объектов и водохозяйственных систем, в том числе государственной сети наблюдений за состоянием поверхностных и подземных вод Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь;
- разработка имитационных математических моделей;
- разработка и развитие бассейновых геоинформационных систем;
- образовательные программы;
- обеспечение координации реализации мероприятий Схемы.

В составе институциональных мероприятий следует рассматривать следующие виды мероприятий:

- мероприятия, направленные на соблюдение устанавливаемых лимитов на забор воды из водных объектов и сброс сточных вод;
- развитие нормативно-технической базы функционирования водохозяйственного комплекса и регулирования водопользования (включая пересмотр (совершенствование) технических документов в области строительства);
- разработка правил эксплуатации водохранилищ и прудов;
- разработка правил, программ, планов действий в случаях экстремального маловодья и экстремально высокой водности (включая своевременные гидрологические прогнозы, регламентацию процедур распределения воды и использования резервных источников водоснабжения, повышение надежности и эффективности систем водоснабжения, определение альтернативных или дополнительных источников водоснабжения, др.);
- регулирование использования территорий, потенциально подверженных затоплению;
- регулирование землепользования в водоохраных зонах водных объектов (включая их обустройство и благоустройство) и на водосбо-

рах с целью предотвращения загрязнения и истощения водных объектов;

- регулирование использования берегов и дна водных объектов;
- подготовка обоснований установления ставок платы за пользование водными объектами, стимулирующих рациональное использование водных объектов;
- регламентирование объемов и порядка осуществления контрольно-надзорных мероприятий, направленных на защиту водных объектов от загрязнения и истощения, а также на обеспечение безопасности водохозяйственной инфраструктуры;
- развитие систем страхования рисков, связанных с вредным воздействием вод.

В составе мероприятий по улучшению оперативного управления использованием и охраной водных объектов следует рассматривать следующие виды мероприятий:

- комплексное развитие системы мониторинга поверхностных вод и мониторинга подземных вод Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике;
- развитие систем государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов, иной деятельностью, оказывающей влияние на состояние водных объектов и водных ресурсов;
- развитие автоматизированных систем управления использованием и охраной водных объектов на основе внедрения инструментов математического моделирования и прогнозирования состояния бассейна реки, полного и оперативного использования данных государственного мониторинга водных объектов, а также государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов;
- обеспечение развития и ведения государственного водного кадастра в части сведений, относящихся к рассматриваемому бассейну реки;
- развитие систем оперативного информирования и оповещения органов исполнительной власти, органов местного самоуправления, водопользователей и населения о состоянии водных объектов и угрозах вредного воздействия вод.

В составе мероприятий по строительству и реконструкции водохозяйственных систем следует рассматривать следующие виды мероприятий:

- строительство гидротехнических сооружений, создание новых и изменение проектных показателей (реконструкцию) существующих регулирующих емкостей (водохранилищ и прудов);

- строительство и реконструкцию систем межбассейнового перераспределения стока и межбассейновых воднотранспортных систем;
- строительство и реконструкцию очистных сооружений;
- дноуглубительные и русловыпрямительные работы;
- строительство и реконструкцию капитальных берегозащитных и берегоукрепительных сооружений;
- строительство и реконструкцию противопаводковых и иных гидротехнических сооружений, предназначенных для предотвращения вредного воздействия вод;
- работы по расчистке и восстановлению русел водных объектов, восстановлению аккумулялирующей способности пойм;
- работы по ремонту и восстановлению проектных характеристик существующих водохозяйственных сооружений, оснащению их современной контрольно-измерительной аппаратурой.

Каждое из мероприятий, включаемых в состав проекта Схемы, должно служить решению выявленных основных проблем и достижению установленных целевых показателей. При этом одно мероприятие может служить решением одной или нескольких проблем и достижением одного или нескольких целевых показателей. В проекте Схемы не должно содержаться проблем и целевых показателей, для которых не определено ни одного соответствующего мероприятия, так же как и ни одного мероприятия, не служащего решением ни одной из основных проблем и не направленного на достижение ни одного целевого показателя.

По каждому из мероприятий, включаемых в состав проекта Схемы, должны быть указаны:

- водохозяйственный участок и водный объект, на котором реализуется мероприятие;
- решаемые основные проблемы и целевые показатели, на достижение которых нацелено мероприятие;
- сроки и этапы реализации мероприятия;
- физические объемы работ по реализации мероприятия (км, м³);
- оценка необходимых финансовых затрат на реализацию мероприятия;
- предполагаемые источники финансирования мероприятия.

Для определения достижимости целевых показателей и последующего выбора наиболее приемлемого варианта программы водохозяйственных и водоохранных мероприятий по каждому из разработанных альтернативных вариантов необходимо определить состав, общий объ-

ем работ, необходимых к выполнению, а также общую стоимость мероприятий по источникам финансирования и годам реализации Схемы.

На пятом этапе должна быть выполнена сравнительная социально-экономическая оценка вариантов программ мероприятий, определенных на четвертом этапе разработки Схемы, в том числе оценка финансовых затрат, объемов экономии водных ресурсов, объемов предотвращаемых ущербов и других выгод, изменения качества жизни в рассматриваемом бассейне, экологическая и социальная приемлемость каждого из вариантов программы мероприятий и каждого из мероприятий в составе программы.

Комплексная (интегральная) оценка каждого варианта программы мероприятий должна осуществляться на основании методик, позволяющих включать в него не только финансово-экономические, но и экологические, социальные факторы.

При проведении комплексной оценки варианта программы мероприятий особое внимание должно быть уделено обоснованию реальности их реализации в установленные сроки, исходя из имеющихся водных ресурсов, финансовых ресурсов, промышленного, интеллектуального, социально-культурного и кадрового потенциала территории рассматриваемого бассейна.

Результаты оценки вариантов мероприятий должны быть сведены в сравнительную таблицу (оценочную матрицу произвольной формы), отражающую основные критерии, по которым возможен выбор из представленных вариантов программ мероприятий.

На шестом этапе разработки Схемы на основе результатов сравнительной комплексной оценки вариантов программ мероприятий по достижению целевого состояния бассейна реки должен быть выбран основной вариант программы мероприятий, подлежащий реализации, определены главные положения Схемы, выделены этапы ее реализации, разработана система индикаторов достижения целевых показателей. Далее должно быть осуществлено окончательное документирование проекта Схемы.

При подготовке итоговых документов проекта Схемы должны быть:

- сформулированы главные положения Схемы;
- выделены этапы ее реализации и соответствующие целевые показатели;
- уточнены лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и сброса сточных вод, соответствующие нормативам качества, в водные объекты бассейна реки;

- уточнены необходимые финансовые затраты на реализацию мероприятий Схемы;
- разработана общая оценка вероятных последствий реализации мероприятий Схемы на окружающую среду;
- разработан увязанный по всем видам ресурсов план-график реализации мероприятий Схемы, определяющий последовательность и взаимосвязь мероприятий, сроки реализации и результаты каждого мероприятия, ответственных за реализацию каждого мероприятия, графики финансирования мероприятий.

Управление водным хозяйством. Правовую основу управления водными ресурсами составляет Водный кодекс Республики Беларусь, обеспечивающий условия для осуществления государственной политики в области использования и охраны водных объектов.

Приоритетным направлением совершенствования государственного управления является реализация предусмотренных Водным кодексом Республики Беларусь механизмов:

- разработка схем комплексного использования и охраны вод бассейнов рек;
- разработка новых и актуализация существующих правил эксплуатации водохранилищ;
- ведение государственного водного кадастра;
- ведение мониторинга водных объектов в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды;
- поэтапное введение в практику управления водными ресурсами бассейнового принципа.

Повышение результативности и скоординированности деятельности государственных органов по достижению приоритетных целей и задач в сфере водных отношений позволит выработать согласованные действия, направленные на обеспечение высоких экологических стандартов качества водных объектов, предупредить негативное воздействие вод, повысить безопасность гидротехнических сооружений, улучшить качество подаваемой населению питьевой воды, снизить затраты на водоподготовку, водоснабжение и водоотведение, а также объем загрязнений, поступающих в поверхностные и подземные воды.

В настоящее время существующая структура управления не позволяет с достаточной эффективностью координировать и решать практические вопросы использования водных ресурсов как единого комплекса республики: обеспечение отраслей экономики и населения водой, использование водоемов для рыбозахвата и строительства малых

ГЭС, поддержание водных объектов в надлежащем состоянии, эксплуатация водохранилищ и прудов, объектов мелиорации, обеспечение безопасности работы гидротехнических сооружений, организация противопаводковых мероприятий, использование геотермальной энергии подземных вод. В этих целях необходимо решить проблему отсутствия единого нормативного правового акта, регулирующего в республике вопросы безопасной эксплуатации и содержания гидротехнических сооружений и единой службы контроля за эксплуатацией гидротехнических сооружений и комплексным использованием водных ресурсов, поскольку каждая организация в настоящее время ведет эксплуатацию самостоятельно.

Ключевым аспектом государственной политики в сфере водных отношений является также активное международное сотрудничество по вопросам использования и охраны вод. В сфере международного сотрудничества необходимо добиться усиления роли Республики Беларусь в решении проблем в области использования и охраны водных ресурсов путем активизации участия в деятельности международных организаций, занимающихся проблемами водопользования, в рамках деятельности Содружества Независимых Государств, Союзного Государства, со странами Европейского союза.

Необходимо дальнейшее совершенствование системы технического нормирования и стандартизации в области использования и охраны вод.

Международное сотрудничество в использовании и охране водных ресурсов. Запасы пресной воды представляют собой единый ресурс. Рассчитанное на длительную перспективу освоение мировых ресурсов пресной воды требует целостного подхода к использованию этих ресурсов и признания взаимозависимости между элементами, составляющими запасы пресной воды и определяющими ее качество. В мире существует мало регионов, не затронутых проблемами потери потенциальных источников снабжения пресной водой, ухудшения качества воды и загрязнения поверхностных и подземных источников.

Основные проблемы, отрицательно влияющие на качество воды рек и озер, возникают в зависимости от обстоятельств с разной степенью остроты в результате несоответствующей очистки бытовых сточных вод, слабого контроля за сбросом промышленных сточных вод, утраты и разрушения водосборных площадей, нерационального размещения промышленных предприятий, обезлесения, бесконтрольной залежной системы земледелия и нерациональных методов ведения сельского хозяйства. Это приводит к вымыванию питательных веществ и пести-

цидов. Нарушается естественный баланс водных экосистем, и возникает угроза для живых пресноводных ресурсов.

В различных обстоятельствах на водные экосистемы влияют также проекты освоения водных ресурсов в целях развития сельского хозяйства, такие, как плотины, схемы переброски речных стоков, водохозяйственные сооружения и ирригационные проекты.

Эрозия, заиление, обезлесение и опустынивание приводят к возрастанию деградации земель, а создание водохранилищ в некоторых случаях отрицательно сказывается на экосистемах. Многие из этих проблем возникают вследствие экологически разрушительных моделей развития и отсутствия понимания проблем общественностью и соответствующих знаний об охране ресурсов поверхностных и подземных вод. Степень воздействия на окружающую среду и здоровье человека поддается измерению, хотя во многих странах методы осуществления такого контроля являются весьма неадекватными или вообще не разработаны. Широко распространено недопонимание взаимосвязей между освоением, управлением, рациональным использованием и очисткой водных ресурсов и водными экосистемами. Там, где это возможно, исключительно важно осуществлять профилактические меры, с тем чтобы избежать впоследствии дорогостоящих мероприятий по восстановлению, очистке и освоению новых водных ресурсов.

Комплексный и взаимосвязанный характер пресноводных систем требует целостного подхода к управлению ресурсами пресной воды (предполагающего хозяйственную деятельность в пределах водосборного бассейна) на основе сбалансированного учета потребностей населения и окружающей среды. Еще в принятом в Мар-дель-Плата Плане действий было указано на внутреннюю связь между водохозяйственными проектами и серьезными последствиями их осуществления, которые носят физический, химический, биологический и социально-экономический характер. В области оздоровления окружающей среды была поставлена следующая общая цель: «производить оценку последствий различных видов водопользования для окружающей среды, поддерживать меры, направленные на борьбу с передаваемыми посредством воды заболеваниями, а также охранять экосистемы».

Масштабы и степень загрязнения зон аэрации и водоносных горизонтов всегда недооценивались в силу относительной недоступности водоносных горизонтов и отсутствия информации о водоносных системах. В этой связи охрана подземных вод является одним из важнейших элементов рационального использования водных ресурсов.

Для включения элементов регулирования качества водных ресурсов в водохозяйственную деятельность необходимо одновременно стремиться к достижению следующих трех целей:

- сохранение целостности экосистемы благодаря ведению хозяйственной деятельности на основе принципа, предусматривающего охрану водных экосистем, включая живые ресурсы, и их эффективную защиту от любых видов деградации в пределах водосборного бассейна;
- охрана здоровья населения, что предусматривает не только снабжение питьевой водой, не содержащей патогенных микроорганизмов, но и борьбу с переносчиками инфекции в водной среде;
- развитие людских ресурсов, являющееся залогом формирования потенциала и необходимым условием для налаживания деятельности по регулированию качества воды.

Все государства в зависимости от своих возможностей и имеющихся ресурсов и через двустороннее или многостороннее сотрудничество, в том числе с Организацией Объединенных Наций и при необходимости с другими соответствующими организациями, смогли бы установить следующие цели:

- определить те ресурсы поверхностных и подземных вод, которые можно было бы освоить для использования на устойчивой основе, и другие основные зависящие от воды ресурсы, которые могут быть освоены, и одновременно начать осуществление программ по охране, сохранению и рациональному использованию этих ресурсов на устойчивой основе;

- определить все потенциальные источники водоснабжения и подготовить проекты их защиты, сохранения и рационального использования;

- приступить к осуществлению эффективных и соизмеримых с уровнем их социально-экономического развития программ по борьбе с загрязнением вод, соответствующим образом сочетая реализацию стратегий сокращения загрязнения у источника с проведением экологических экспертиз и применением практически осуществимых норм для выбросов из крупных точечных источников и неточечных источников с высокой степенью риска;

- принимать, насколько это возможно, участие в осуществлении международных программ мониторинга и регулирования качества воды, например, таких, как Глобальная программа мониторинга качества воды (ГСМОС-ВОДА), Программа ЮНЕП по экологически обоснованному использованию внутренних водных ресурсов (ЭМИНВА),

Программа ФАО по региональным внутренним водоемам, используемым для рыбного промысла, и Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местобитаний водоплавающих птиц (Конвенция РАМСАР);

- установить согласно своим возможностям и потребностям биологические, санитарно-гигиенические, физические и химические критерии качества воды в отношении всех видов водоемов (поверхностные и подземные воды) с целью постоянного улучшения качества воды;

- осуществлять комплексный подход к экологически безопасному управлению водными ресурсами, включая защиту водных экосистем и живых пресноводных ресурсов;

- разработать стратегии по экологически безопасному управлению запасами пресной воды и соответствующими прибрежными экосистемами, включая рассмотрение проблем, связанных с рыболовством, аквакультурой, пастбищным хозяйством, сельскохозяйственной деятельностью и биологическим разнообразием.

Все государства в зависимости от своих возможностей и имеющихся ресурсов и через двустороннее и многостороннее сотрудничество, в том числе с Организацией Объединенных Наций и при необходимости с другими соответствующими организациями, могли бы осуществить следующие мероприятия:

1) защита и сохранение водных ресурсов:

- создание и укрепление технических и институциональных возможностей в целях выявления и охраны потенциальных источников водоснабжения в рамках всех слоев общества;

- определение потенциальных источников водоснабжения и подготовка национальных водных кадастров;

- разработка национальных планов защиты и сохранения водных ресурсов;

- восстановление важных, но подвергшихся деградации районов водосбора, особенно на небольших островах;

- укрепление административных и законодательных мер в целях предотвращения посягательств на существующие и потенциально пригодные к использованию водосборные площади;

2) предупреждение загрязнения воды и меры по борьбе с загрязнением:

- применение там, где это необходимо, принципа «загрязнитель платит» ко всем видам источников загрязнения, включая санитарно-профилактические меры на промышленных объектах и за их пределами;

- поощрение строительства очистных сооружений для бытовых и промышленных сточных вод, а также разработка соответствующих технологий с учетом традиционной местной практики;

- установление норм в отношении сброса сточных вод и тех вод, в которые они сбрасываются;

- применение мер предосторожности при регулировании качества воды там, где это необходимо, с упором на минимизацию и предотвращение загрязнения посредством использования новых технологий, изменения продукции и производственных процессов, сокращения загрязнения у источника и повторного использования сточных вод, рециркуляции и регенерации, очистки и экологически безопасного удаления сточных вод;

- обязательная экологическая экспертиза всех крупных водохозяйственных проектов, способных нанести ущерб качеству воды и водным экосистемам, при одновременной разработке надлежащих мер по ликвидации такого ущерба и усилении контроля за новыми промышленными установками, местами сброса твердых отходов и проектами развития инфраструктуры;

- принятие решений в данной области на основе оценки риска и регулирования степени риска и обеспечение выполнения принятых решений;

- определение и применение наиболее рациональных с экологической точки зрения и относительно недорогих методов с целью предупреждения распространения загрязнения, а именно путем ограниченного, рационального и планомерного использования азотных удобрений и других агрохимикатов (пестицидов, гербицидов) в сельскохозяйственной практике;

- поощрение и стимулирование использования должным образом обработанных и очищенных сточных вод в сельском хозяйстве, аквакультуре, промышленности и других секторах;

3) разработка и применение экологически чистой технологии:

- контроль за сбросом промышленных отходов, включая использование малоотходных производственных технологий и рециркуляцию воды, на комплексной основе и путем принятия мер предосторожности с учетом всестороннего анализа жизненного цикла;

- очистка и безопасное повторное использование коммунально-бытовых сточных вод в сельском хозяйстве и аквакультуре;

- разработка биотехнологии, в частности, для обработки отходов, производства биоудобрений и т. д.;

- разработка соответствующих методов борьбы с загрязнением вод с учетом обоснованной традиционной и местной практики;

4) защита подземных вод:

- разработка сельскохозяйственных методов, которые не приводят к деградации подземных вод;

- применение необходимых мер в целях уменьшения последствий вторжения соленых вод в водоносные слои малых островов и прибрежных равнин в результате повышения уровня моря или чрезмерной эксплуатации прибрежных водоносных слоев;

- предотвращение загрязнения водоносных слоев путем регулирования проникающих в почву токсичных веществ и создания водохранимых зон в районах подпитывания и забора подземных вод;

- проектирование и эксплуатация мусорных свалок на основе надежной гидрогеологической информации и экологической экспертизы с использованием наиболее целесообразной и наилучшей имеющейся технологии;

- содействие принятию мер по повышению безопасности и сохранности районов расположения скважин и их устьев в целях сокращения количества биологических патогенов и вредных химикатов, проникающих в водоносные горизонты в этих районах;

- проведение по мере необходимости мониторинга качества поверхностных и подземных вод, на которые могут отрицательно влиять места захоронения токсичных и опасных материалов;

5) защита водных экосистем:

- оздоровление загрязненных и деградировавших водоемов с целью восстановления водной среды и экосистем;

- программы восстановления для сельскохозяйственных земель и для других пользователей с учетом эквивалентных мер по защите и использованию ресурсов подземных вод, имеющих важное значение для продуктивности сельского хозяйства и биоразнообразия тропических районов;

- сохранение и защита с учетом социально-экономических факторов водно-болотных угодий (по причине их экологической значимости для многих видов в качестве их местообитания);

- борьба с вредными акватическими видами, которые могут уничтожать некоторые другие обитающие в водной среде виды;

6) защита живых ресурсов пресных вод:

- контроль и мониторинг качества воды с целью обеспечения устойчивого развития рыболовства во внутренних водах;

- защита экосистем от загрязнения и деградации с целью обеспечения развития проектов аквакультуры в пресных водах;

7) контроль и наблюдение за водными ресурсами и водами, в которые сбрасываются отходы:

- создание сетей мониторинга и постоянного контроля за водами, в которые поступают отходы, а также за точечными и рассеивающими источниками загрязнения;

- поощрение и более широкое проведение экологических экспертиз географических информационных систем;

- наблюдение за источниками загрязнения с целью обеспечения их большего соответствия нормам и положениям в этой области, а также для регулирования выдачи разрешений на сброс отходов;

- контроль за использованием в сельском хозяйстве химических веществ, которые могут оказать вредное воздействие на окружающую среду;

- рациональное землепользование с целью предупреждения деградации земель, эрозии и заиливания озер и других водоемов;

- разработка национальных и международных правовых документов, которые могут потребоваться для сохранения качества водных ресурсов в первую очередь для целей мониторинга и контроля за загрязнением национальных и трансграничных вод и его последствиями.

Государства должны проводить совместные научно-исследовательские проекты в целях разработки решений технических проблем, присущих каждому водосборному бассейну или стране, а также рассмотреть возможность укрепления и развития национальных и научно-исследовательских центров, объединенных в сети и поддерживаемых региональными научно-исследовательскими институтами по вопросам водных ресурсов. Следует активно поощрять совместную работу научно-исследовательских центров, а также полевые исследования международных научно-исследовательских институтов по вопросам водных ресурсов. Крайне важно, чтобы на научно-исследовательские работы выделялась минимальная часть средств, предназначенных для разработки водохозяйственных проектов, особенно финансируемых извне проектов.

Мониторинг и оценка комплексных водных систем нередко требуют проведения multidisciplinary исследований, при осуществлении которых в рамках совместной программы задействуется ряд институтов и ученых. Такие международные программы в области контроля качества воды, как «ГСМОС-ВОДА», должны быть ориентированы на качество водных ресурсов развивающихся стран. Для обра-

ботки, анализа и интерпретации данных мониторинга, а также для подготовки стратегий управления должны разрабатываться дружественные программные продукты и методы эксплуатации Системы географической информации (СГИ) и Базы данных о мировых ресурсах (ГРИД).

Эффективная защита водных ресурсов и экосистем от загрязнения требует значительного увеличения имеющихся в настоящее время у значительного числа стран возможностей. Программы управления качеством воды требуют определенного минимального объема инфраструктуры и персонала для поиска и реализации технических решений и осуществления регламентирующих действий. Одна из ключевых проблем нашего времени и будущего – непрерывное функционирование и содержание этих средств. В ряде областей необходимо безотлагательно принять меры, чтобы предотвратить дальнейшее нанесение ущерба ресурсам, образовавшимся в результате предыдущих капиталовложений.

1.2. Водные ресурсы и их характеристика

Роль воды в развитии общества и его производственных сил, функционировании окружающей природной среды. Важнейшими показателями развития страны, определяющими стабильность и устойчивость развития и роста экономики, базой развития служат объемы инвестиций в составляющие человеческого капитала – в воспитание, культуру, образование, медицину, науку, качество жизни населения.

Развитые страны инвестируют в человеческий капитал в 2–5 раз больше в долях ВВП и национального бюджета, чем некоторые развивающиеся страны, тем самым наращивая преимущества человеческого капитала и экономики, отрыв в производительности труда и человеческого капитала, которые близки по величине.

Страны, которые в последние десятилетия вошли в число развитых передовых по производству и экспорту высоких технологий (Финляндия, Сингапур, Тайвань, Южная Корея и др.), начинали свое развитие с модернизации человеческого капитала и увеличения в него инвестиций, в первую очередь государственных (в образование, науку, медицину, качество жизни).

По оценкам экспертов, три из четырех рабочих мест, составляющих глобальную рабочую силу, в значительной или умеренной степени зависят от водопотребления.

Согласно Докладу ООН о состоянии водных ресурсов мира за 2016 г. «Водные ресурсы и рабочие места», нехватка воды и проблемы доступа к водным ресурсам и санитарным услугам могут тормозить экономический рост и создание рабочих мест.

«Водные ресурсы и рабочие места неразрывно связаны между собой на различных уровнях, в каком бы аспекте их не рассматривали, экономическом, экологическом или социальном», – заявила Генеральный директор ЮНЕСКО Ирина Бокова.

«Оценка взаимосвязи между водой, экономическим ростом и созданием рабочих мест является чрезвычайно сложным делом», – говорится в Докладе.

Переход к более «зеленой» экономике, в которой вода играет центральную роль, также приведет к увеличению числа рабочих мест. По оценкам Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (МАВИЭ), в 2014 г. 7,7 млн. человек уже были заняты в секторе возобновляемых источников энергии.

Давление на пресноводные ресурсы продолжает расти. С 2011 по 2050 г. население мира, как ожидается, увеличится на 33 %, от 7 до 9 млрд. человек, за тот же период на 70 % вырастет спрос на продукты питания. Более того, согласно Пятому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в расчете на каждый градус глобального потепления около 7 % населения мира столкнутся с сокращением объема возобновляемых водных ресурсов почти на 20 %.

В ситуации прогнозируемого дефицита потребуются использование нетрадиционных источников водоснабжения, таких как сбор дождевой воды, рецикл использованной воды и переработка городских стоков. Использование этих альтернативных источников водоснабжения будет способствовать созданию новых рабочих мест.

В настоящее время согласно докладу ООН почти 1 % от общей численности рабочей силы как в развитых, так и в развивающихся странах, сосредотачивается в секторах, связанных с водой, включая управление водными ресурсами, строительство и обслуживание инфраструктуры, а также водоснабжение и системы санитарии.

Рынок труда в области водоснабжения и санитарии является перспективным и имеет значительный потенциал для роста.

Потребность в инвестициях в стареющую и неэффективную инфраструктуру также является потенциальным фактором занятости в водном хозяйстве. По разным оценкам 30 % мирового водозабора теряется

в результате утечек. Так, в Лондоне уровень потерь составляет 25 %, а в Норвегии – 32 %.

В некоторых странах ирригационные системы либо практически отсутствуют, либо устарели и являются причиной низкой производительности в сельском хозяйстве. В Африке, например, сельскохозяйственные культуры главным образом питаются дождями. В настоящее время в Африке искусственное орошение применяется на менее 10 % возделываемых земель, что тормозит создание новых рабочих мест.

Достойные рабочие места прямо связаны с эффективным управлением водными ресурсами в таких областях, как водоснабжение, водная инфраструктура, а также зависящих от воды секторах экономики, таких как сельское хозяйство, рыболовство, энергетика, промышленность, здравоохранение. Кроме того, доступ к улучшенной питьевой воде и санитарным услугам способствует созданию рабочих мест и подготовке здоровой, образованной и производительной рабочей силы, которая служит основой для экономического роста.

Создание условий, повышающих продуктивность водных ресурсов и стимулирующих переход к «зеленой» экономике, подготовка большего количества квалифицированных работников в целях удовлетворения растущего спроса на рабочую силу в водном хозяйстве являются основными моментами, которые адресует правительствам Доклад ООН.

До начала 2000-х гг. водная проблема не привлекала особенного внимания экономистов за пределами вопросов, связанных с национальными системами водоснабжения и орошения, гидроэнергетикой, вопросами урбанизации.

В этом контексте можно выделить несколько ключевых аспектов.

Во-первых, это водная составляющая в мировом производстве, сельском хозяйстве и энергетике. Второй блок проблем – это борьба с дефицитом воды и адаптация к новым ресурсным ограничителям. Речь идет о резком увеличении водозабора в ряде развивающихся стран (прежде всего, Китае), который вызывает структурные изменения в национальном хозяйстве. Данный вопрос наиболее проблемный и охватывает как вопросы адаптации (повышение эффективности водопользования, переориентация хозяйства в зависимости от вклада водоемких отраслей в ВВП), так и конкуренции государств за международные водные ресурсы.

Около 70 % всей имеющейся в мире пресной воды используется для орошения в сельском хозяйстве, при этом с 1960 г. забор воды для орошения увеличился более чем на 60 %. Это определяет тесную связь

между рынками чистой воды и продовольствия. Второй по значимости статьей расходов является промышленное производство (20 %).

Доли сельского хозяйства и промышленности различаются в развитых и развивающихся странах, но даже в наиболее развитых странах доля сельского хозяйства в общем водопотреблении не опускается ниже 30 %.

В тройку стран-лидеров с наибольшим ежегодным водозабором входят Индия, Китай и США.

Наивысшая доля забора от возобновляемых ресурсов зафиксирована у Ирана (68 %).

Самый высокий водозабор на человека – в США (1518 м³/чел/год).

Секторальное распределение водных ресурсов неоднородно: в Пакистане, Иране, Индонезии и Индии свыше 90 % воды тратится на сельское хозяйство (СХ). Россия (63 %) и США (46 %) с большим отрывом лидируют по промышленному водозабору.

В Японии и России самая высокая нагрузка на водозабор со стороны ЖКХ (жилищно-коммунального хозяйства) – 20 и 19 % соответственно.

Особый интерес представляет показатель так называемой производительности воды: сколько долларов ВВП приносит каждый использованный кубический метр воды.

В этом контексте Японская экономика использует воду наиболее продуктивно: каждый ее кубический метр приносит 53,5 долл. США. Второе место принадлежит США (23,5 долл. США).

Показатели остальных стран колеблются от 0,6 (Пакистан) до 8,2 долл. США (Мексика). В России каждый кубический метр приносит 6 долл. США.

Такой значительный отрыв связан с высокой долей высокотехнологичного производства и развитой сферой услуг – отраслей несопоставимо менее водоемких, чем сельское хозяйство и даже обрабатывающая промышленность.

В развитых странах с высоким доходом на душу населения добавленная стоимость на продукцию сельского хозяйства в ВВП составляет в целом по этой группе стран 1,6 % и не превышает 7,2 % (Исландия). В странах, где доходы на душу населения на среднем уровне, этот показатель несколько выше – 10,4 %. Вызывает интерес то, что разница между долей сельского хозяйства в национальном водозаборе в богатых странах составляет 43 %, а в странах со средними доходами – 75 %, но вклад в ВВП отличается не в 1,7 раза, а в 6,5 раза. Для стран с низкими доходами сельское хозяйство играет уже качественно иную роль в

экономике: в беднейших странах Африки его вклад в ВВП превышает 60 % (ЦАР, Сомали), в целом по группе стран он составляет 29,8 %. При этом на сельское хозяйство приходится 85 % всего водозабора.

Роль потребления воды в промышленности качественно иная. Самый высокий вклад в ВВП вносит промышленность в странах со средними доходами – 36,2 %. Это связано с последствиями переноса в развивающиеся страны обрабатывающих производств.

Различают два показателя водоемкости производства: водозабор и водопотребление. Расхождение между этими показателями может быть весьма значительным и представляет собой объем воды, который возвращается после производственного цикла в реку или другой источник воды. По водопотреблению безусловным лидером остается сельское хозяйство, особенно в развивающихся странах. Как следствие, при резком росте данного показателя обостряется проблема нехватки воды.

Что касается водозабора, по данному показателю мировым лидером является энергетика, особенно электроэнергетика. Помимо ГЭС вода требуется и на всех остальных электрогенерирующих станциях (кроме ветряных и солнечных станций), главным образом для охлаждения. Однако после производственного цикла большая часть использованной воды возвращается в наземные слои почвы. Соответственно, при высоком уровне водозабора и, особенно, резком его приросте остро встает вопрос очистки воды. В промышленности ситуация варьирует в зависимости от отрасли: наиболее водоемкими остаются нефтехимия, металлургия и деревообрабатывающая промышленность. Чем больше воды требуется на производстве для охлаждения, тем выше будет показатель водозабора на производстве.

Эксперты, рассматривая воду как экономический ресурс, обращают внимание, что она имеет, в частности, следующие характерные особенности. Определение воды как экономического блага, имеет для этого определенные основания: вода, действительно, ресурс, ее цена, объем и спрос на нее поддаются оценке. Особенно настойчиво эта точка зрения отстаивается Всемирным банком. Но вода является специфическим ресурсом, ей нет полноценной замены, водный рынок имеет границы, которые формируют как платежеспособный спрос, так и предложение (доступные водные ресурсы) – они определяют перспективы и возможности развития водного рынка.

При развитии водного рынка и определении цены на воду как на ресурс появляются проблемы неэкономического характера. Во-первых,

вода уникальна в силу своей жизненной необходимости и отсутствия субституттов. Массовость, постоянство и характер потребления ресурса означают, что водный рынок имеет специфику, которую формируют не только платежеспособный спрос и предложение (доступные водные ресурсы): право человека на воду, экологическая безопасность, в целом национальная безопасность, управление международными водными бассейнами, специфика инвестирования в отрасль и другие аспекты. В этом контексте специфика воды как жизненно необходимого ресурса обуславливает и то обстоятельство, что ее цена не является абсолютным показателем ценности воды и, скорее, отражает, насколько сложно оценивать пресную воду исключительно как экономический ресурс.

Одной из мер по стимулированию сельхозпроизводителей к более эффективному водопользованию часто выступает многоступенчатая схема тарифа на воду: в пределах оптимального уровня водопотребления цена 1 м³ составляет (X) долларов, при повышенном, но допустимом водопотреблении – ($X + Y$) долларов, а при чрезмерном цена становится фактически заградительной.

Что касается места и рынка воды в мировой экономике в целом, эксперты полагают возможным относительно объективным отражением этих процессов считать международное право (МП): если речь идет о долгосрочных подобных проектах, участникам необходимы правила (международные) игры.

В мировой экономике страны, наделенные большими запасами водных ресурсов, используют их как свое конкурентное преимущество.

По мнению экспертов, ценность воды как ресурса усиливает и то, что она является одним из двух ключевых элементов для производства продовольствия, которое также превратилось из обычного товара в новый экономический и политический ресурс, и что данная тенденция будет укрепляться. Хотя наделение воды ценностью резко обострило конкуренцию за нее между странами, сфера конфликта интересов практически не изменилась, а возможности для реализации взаимовыгодных стратегий расширились.

Основной проблемой, лежащей на пути более эффективного водопользования, в настоящее время остается проблема недостаточного инвестирования в водный сектор.

Проблема привлечения инвестиций состоит в том, что, несмотря на ожидаемую высокую рентабельность, инвестор и получатель выгод – как правило, не один и тот же субъект. Выгоды от «водных» инвестиций

получают не только конкретные потребители воды, но и общество в целом, государство экономит на расходах на чрезвычайные ситуации, развивается туризм, промышленность, повышается эффективность системы здравоохранения. Кристаллизовать эти выгоды для отдельного инвестора в форме дивидендов практически невозможно, что и затрудняет привлечение неправительственных инвесторов. Помимо проблемы адресного получения выгоды инвестором встает вопрос окупаемости соответствующих проектов с учетом права на воду (т. е. с учетом предполагаемых ограничений на ценообразование).

Сферой, наиболее привлекательной для инвестиций, в настоящее время становится торговля технологиями. Рынок технологий является одной из форм рыночного взаимодействия на рынке чистой воды, но не требующей физической ее транспортировки.

Условно технологии можно разделить на три категории:

- технологии, позволяющие производить большее количество товара при неизменном водозаборе: технологии по повышению эффективности воды, сбережения воды, в том числе капельное орошение, обкладка ирригационных каналов водонепроницаемыми материалами и т. д.;

- технологии получения большего объема воды из нетрадиционных источников: опреснение воды, водоочистка, освоение подземных вод и т. д. Особенно популярны данные технологии на Ближнем Востоке, в Юго-Восточной Азии и в ряде стран Средиземноморья (прежде всего, Испании);

- технологии инфраструктурного строительства, позволяющие «перекраивать» водную карту страны или региона за счет возведения дамб, плотин и гидроузлов.

Технологии первой категории в международных экономических отношениях крайне перспективны: ресурсы для повышения эффективности использования национальных водных ресурсов колоссальные – в сельском хозяйстве потери составляют до 60 % всего водозабора.

Опреснение – наиболее распространенный пример технологии второго типа.

Проекты по строительству опреснительных установок стали быстрее выходить на самоокупаемость (за счет экономии от масштаба и снижения затрат), и компании предпочитают реализовывать данные проекты самостоятельно или при участии напрямую заинтересованных муниципалитетов. Безоговорочными мировыми лидерами по опреснению воды являются Саудовская Аравия, ОАЭ, на их долю приходится более 40 % всей опресняемой воды (20,6 % и 20,3 % соответственно).

Другие крупные опреснители: Испания, Алжир, Китай, США и почти все малые страны Персидского залива.

Традиционно опреснительные установки связаны с ядерной энергетикой. Особенно этот симбиоз привлекателен для стран, обладающих определенным ядерным потенциалом, но при этом ограниченным в ресурсах пресной воды.

Именно это способствовало тому, что первая опреснительная установка была разработана и построена в Советском Союзе, на территории Казахстана.

Атомная энергетика – одна из самых водоемких отраслей. Поэтому опреснительные установки так привлекают энергетиков: высвобождая ресурсы воды, не приходится ограничивать производство атомной энергии. Помимо атомной отрасли перспективными направлениями для развития опреснения считаются такие «зеленые» технологии, как опреснение вод за счет солнечной, ветровой энергий. В целом комбинация энергетик и производства воды стала одним из главных трендов.

Третья категория – *технологии инфраструктурного строительства*, с одной стороны, позволяют радикально изменять водный баланс на значительной территории, с другой стороны, именно они являются источниками международных конфликтов.

Флагманами такого строительства выступают Китай (лидер по числу дамб) и Турция. Ключевым аспектом развития данного сегмента на современном этапе является владение технологиями. Эта сфера в настоящее время является самой конфликтной с политической точки зрения.

Рыночные отношения, предполагающие физическую торговлю водой в промышленных масштабах, аналогичны формам торговли нефтью. Это поставки воды танкерами и по трубопроводам. Пока эти формы торговли водой неразвиты, но существует ряд подобных проектов на разных континентах. Данная форма торговли в большинстве своем, так или иначе, ограничена рамками водного бассейна, так как за пределами естественной границы бассейна стоимость воды резко возрастает. Возможным способом в таком случае могут стать танкерные перевозки.

Если говорить о поставке воды танкерами, то этот способ невыгоден, в первую очередь, потенциальным странам-экспортерам из-за отсутствия добавленной стоимости, а странам-импортерам – из-за высоких издержек. Во-вторых, такая торговля возможна только со странами, имеющими международные судоходные реки либо выход к морю.

В первом случае проекты по интенсификации водопользования и строительству инженерных сооружений являются значительно более предпочтительными, так как не ставят страну-импортера в зависимость от другого государства, во втором – технологии опреснения воды составляют серьезную конкуренцию сырьевой торговле.

При строительстве международных водоводов, помимо ее экономической стороны, встают вопросы, связанные с реализацией права на воду, национальной безопасностью, экологией, спецификой инвестирования. В настоящее время в мире действует всего один международный водопровод – между Малайзией и Сингапуром. В остальных случаях переговоры не могут миновать стадию обсуждения проекта.

Завершая рассмотрение форм торговли водой как таковой, установлено, что единственной формой, которая представляет собой полноценный рынок и действительно развита, является *торговля бутилированной водой*. Но данный рынок специфичен, не представляет значительного интереса для мировой экономики и не имеет отношения к структурному влиянию на нее.

При этом нужно провести разграничение между снабжением населения текущей водой и розничными поставками воды, преимущественно бутилированной. Данный сегмент в сотни раз меньше описанных выше в силу ограниченности рынка: это страны, население которых может позволить себе покупать бутилированную воду для питья.

По мере нарастания водного дефицита возможности экспорта бутилированной воды пропорционально растут (особенно на фоне повышения доходов населения в развивающихся странах). Это связано с тем, что в этом сегменте нет нерыночных границ, и вода оказывается обычным экономическим товаром.

Концепция так называемой виртуальной воды предложена в начале 1990-х гг. Дж. А. Алланом. Он определил ее как количество воды, вложенное в производство продуктов питания или иной продукции. Согласно концепции, страны с водным дефицитом могут и должны закупать водоемкую продукцию у стран, где ценность воды ниже. Таким путем увеличивается эффективность использования воды. Данная форма торговли водой поощряется международными организациями, так как подобный подход решает ряд проблем, возникающих при физической торговле водой: проблемы реализации права на воду, экологии, инвестирования, трансграничного регулирования.

По оценкам ЮНЕСКО, за счет торговли виртуальной водой уже в настоящее время удастся сэкономить 6 % всей используемой пресной воды в мире.

Экспортерами виртуальной воды являются страны Северной Америки, а также Аргентина, Таиланд, Индия, импортерами – Япония, Южная Корея, Китай, Индонезия и Нидерланды.

С учетом имеющихся тенденций можно говорить о формировании целого ряда предпосылок для глобального водного кризиса в обозримом будущем, если не будут приняты соответствующие меры. Пока в глобальном масштабе речь идет о региональном дефиците воды, нехватке текущей пресной воды (социальное явление) в бедных странах, но не о кризисе. Безусловно, дефицит имеет качественно и количественно различное измерение в различных регионах.

По классификации ФАО, физический дефицит воды подразумевает, что используется более 75 % возобновляемых источников воды. Это означает, что засушливые зоны не обязательно будут испытывать физический дефицит воды.

Когда говорится, что дефицит воды приближается к физическому уровню, то имеется в виду, что доля используемых возобновляемых водных ресурсов превышает 60 % и наблюдается тенденция к росту данного показателя. Экономический дефицит воды свидетельствует, что ежегодно на нужды экономики и населения задействуется 25 % всех возобновляемых водных ресурсов. Если же доля используемых возобновляемых водных ресурсов не превышает 25 %, то о дефиците речь не идет.

Кризис засушливых регионов был всегда и представляет собой часть хозяйственной системы и образа жизни местного населения. В силу глобальных изменений климата данный кризис начал усугубляться. Усилились процессы таяния ледников, ускорилось опустынивание, периоды засух стали острее и длительнее.

Так, в странах Африки основной проблемой является не столько нехватка воды как таковой, а неспособность хозяйствующих субъектов эффективно распределять имеющиеся ресурсы. Большинство специалистов уверены, что водных ресурсов Африки достаточно, чтобы решить проблему недостатка воды. Но в настоящее время Африка использует только 4 % собственных возобновляемых водных ресурсов (для сравнения: развитые страны используют порядка 70–90 %). Из-за крайней бедности ряда регионов 340 млн. человек лишено доступа к пресной воде и 500 млн. – к базовым санитарным условиям.

Так называемый проблемный Азиатский (аграрный) кризис считается самым сложным в настоящее время: он вобрал в себя вызовы индустриализации, высоких темпов роста производства, урбанизации и

роста потребления. Данный кризис связан как с ростом доходов населения, так и с изменением привычек потребления. Процесс, который называют белковой революцией, означает изменение пищевых привычек целых наций. Рост доходов населения стимулирует потребление мяса, птицы, молока – продуктов, на производство которых расходуется много воды.

С высокой вероятностью можно предполагать, что водный дефицит будет оказывать сильное влияние на мировую экономику.

Ужесточение конкуренции за водные ресурсы на мировом рынке обусловлено прежде всего растущим спросом на водоемкую продукцию, две трети из которой приходится на продовольствие. Рынок продовольствия оказывает самое существенное влияние на водный дефицит, состояние этого рынка определяет водный баланс в мире и регионах.

Это влияние транслируется через два направления: рынок производственных ресурсов и рынок сбыта. Конкуренция за воду как производственный ресурс разворачивается на уровне международных водных бассейнов. В то же время на рынке сбыта продовольственных товаров борьба идет уже на глобальном уровне.

Особняком стоит вопрос построения водно-энергетического баланса и связанного с ним синергетического эффекта. Хотя, в отличие от продовольственных, рынки сбыта электроэнергии региональные, эта сфера также имеет потенциал для урегулирования конфликта интересов и регионального сотрудничества.

Строительство объектов гидроэнергетики позволяет стране «ниже по течению», получить доступ к источнику энергии и в то же время высвободить собственные водные и территориальные ресурсы на производство водоемкой продукции. А «верхнее» государство получает возможность, вместе с определенными уступками со стороны соседей, полноценно реализовывать свой гидроэнергетический потенциал, который у «верхних» стран в силу географических особенностей обычно выше, чем у «нижних», более равнинных государств. Поэтому возведение гидроэнергетических объектов на паритетных началах становится существенным источником для углубления региональной интеграции. В данном случае страны продают, опять же, ресурс, но уже более ценный и, главное, использующийся для производства промышленных продуктов. Соответственно, вода в итоге приобретет еще большую добавленную стоимость по сравнению с ее использованием в сельском хозяйстве.

Общая характеристика и особенности распределения поверхностных вод. Ресурсы подземных вод. Научно-технический и социокультурный прогресс человечества взаимосвязаны с окружающей его средой и прямо зависят от того, насколько рационально человек использует окружающие его ресурсы. По мнению В. И. Вернадского: «Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов. Не только земная поверхность, но и глубокие – в масштабе биосферы – части планеты определяются в самых существенных своих проявлениях, ее существованием и ее свойствами».

Вода занимает около 70 % поверхности земного шара. Она содержится в воздухе, земле, образует океаны, моря, реки, озера и ручьи. Без воды немыслимо существование растений, животных, рыб и человека. Из всего имеющегося на планете объема воды 97,2 %, или 1320 млн. км³, содержится в Мировом океане (табл. 1.1). Суммарный запас пресной воды, содержащийся в реках, озерах и ледниках достигает 24,23 млн. км³, что составляет всего 2,15 % от всего запаса воды на планете.

Таблица 1.1. Распределение запасов воды в гидросфере

Водные объекты	Объем воды, км ³	Доля от общего объема воды, %
Поверхностные воды		
Пресноводные озера	$125 \cdot 10^3$	0,009
Соленые озера и внутренние моря	$104 \cdot 10^3$	0,008
Руслa рек	$1 \cdot 10^3$	0,0001
Подземные воды		
Вадозные воды, включая почвенную влагу	$67 \cdot 10^3$	0,005
Подземные воды на глубине до 0,5 км	$4,17 \cdot 10^3$	0,31
Глубоко залегающие подземные воды	$4,17 \cdot 10^3$	0,31
Другие водные объекты		
Ледяные шапки и ледники	$29 \cdot 10^6$	2,15
Атмосфера	$13 \cdot 10^3$	0,001
Мировой океан	$1320 \cdot 10^6$	97,2

Подземные воды, протекающие на глубине до 5 км, вмещают порядка 60 млн. км³, из которых 4 млн. км³ находятся в зоне активного влагообмена, а 85 тыс. км³ располагаются в непосредственной близости от поверхности земли.

Качество и количество доступной человеку воды непостоянны и изменяются как в пространстве, так и во времени. Выделяют вековые естественные и возобновляемые запасы воды.

К вековым естественным запасам (м^3 , км^3) пресных вод суши относят воды, одновременно находящиеся в озерах, реках, ледниках, а также водоносных слоях горных пород (грунтовые воды).

К возобновляемым водным ресурсам ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{год}$, $\text{км}^3/\text{год}$) относят те воды, которые ежегодно восполняются в процессе кругооборота воды на планете Земля, водообмена между сушей и океаном. Нашу планету можно представить в качестве парового двигателя, топливом для которого служит солнечная энергия. Под ее воздействием вода испаряется с поверхности Мирового океана, поступает в атмосферу и возвращается обратно в виде атмосферных осадков. Часть испарившейся воды переносится воздушными течениями на сушу и, выпадая в виде осадков, становится источником формирования рек, озер, подземных вод и ледников. Другая часть осадков, выпавших на суши, нередко не успевая испариться и просочиться в почву, возвращается в Мировой океан через ручьи и реки.

Исходя из всего вышесказанного, океан выступает как в качестве гигантского естественного испарителя, так и в качестве основного поставщика пресной воды на сушу. При этом за счет речного стока запас воды Мирового океана восполняется и качественно, и количественно.

Оценка имеющегося объема водных ресурсов по среднему годовому стоку получила широкое распространение при прогнозировании использования воды и оценке водообеспеченности. Следует учитывать, что сток может истощаться в результате забора воды из рек, озер или водохранилищ для различных хозяйственных нужд. При этом значительная доля потребляемой человечеством воды теряется безвозвратно, особенно если она используется на нужды орошаемого земледелия.

При водохозяйственном прогнозировании следует учитывать, что озерные, речные, ледниковые и подземные воды в процессе круговорота воды в природе связаны между собой и переходят из одного вида в другой. Основным и единственным для всех видов вод исходным звеном круговорота воды в природе являются атмосферные осадки, питающие озера, реки, ледники и подземные воды. Однако не следует забывать, что реки питают озера и водохранилища, а полноводность рек поддерживается за счет грунтовых вод.

Природные воды непрерывно расходуются и возобновляются. Речные воды, имеющие сравнительно небольшой объем, возобновляются каждые 16 сут, или свыше 20 раз в год. Подземные воды возобновляются в течение 1400 лет, а горные ледники – в течение 1600 лет.

Процесс круговорота воды в природе можно описать математически с помощью уравнения водного баланса

$$I_o + I_c = O_o + O_c, \quad (1.1)$$

где I_o – испарение с поверхности океана, км^3 ;

I_c – испарение с поверхности суши, км^3 ;

O_o – осадки на поверхности океана, км^3 ;

O_c – осадки на поверхности суши, км^3 .

Вследствие постоянного круговорота воды в гидросфере происходит постоянный обмен водных масс (рис. 1.1). Только за счет одних океанических течений полная смена всех вод Мирового океана происходит за 63 года. На суше, в атмосфере аналогичные процессы происходят значительно интенсивнее.

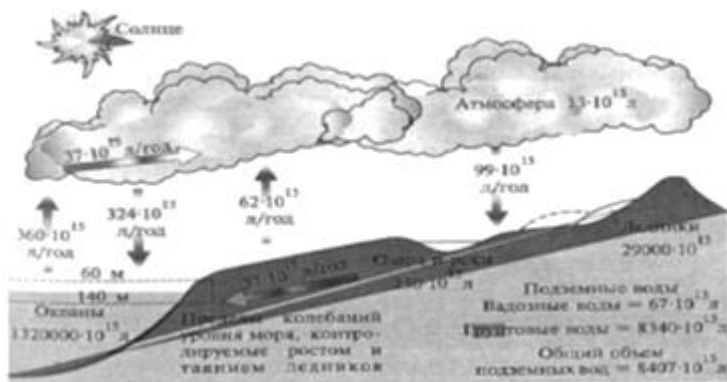


Рис. 1.1. Гидросфера и гидрологический цикл

Сток рек и подземных вод на земном шаре составляет 41000 км^3 , или 8 % от общего объема, совершающего круговорот на Земле. На сток приходится всего 36,4 % от общего объема выпадающих на поверхность суши осадков. Отношение величины стока к количеству выпавших на водосборной площади осадков, вызвавших образование поверхностного стока, называется коэффициентом стока.

Уравнение водного баланса, составленное для речного бассейна, будет иметь следующий вид:

$$O = C_{\text{пов}} + C_{\text{под}} + И + Т, \quad (1.2)$$

где O – осадки на поверхности речного бассейна;

$C_{\text{пов}}$ – поверхностный сток, поступающий в реку;

$C_{\text{под}}$ – подземный сток, подпитывающий реку;

$И$ – испарение с открытой поверхности речного бассейна, включая внутренние водоемы и водотоки;

$Т$ – транспирация влаги растительностью.

Речной сток изменяется во времени, однако потребность в воде редко совпадает с циклом стока. Для того чтобы излишки стока, возникшие в полноводные сезоны, могли служить запасом в засушливые периоды года, необходимо строить плотины, водохранилища и различные распределительные системы. Это в свою очередь влечет за собой повышение величины потерь на испарение.

Подземные воды – это воды, находящиеся в верхней части земной коры (до глубины 12–16 км) в жидком, твердом и парообразном состояниях. Основная масса их образуется вследствие просачивания с поверхности дождевых, талых и речных вод. Подземные воды постоянно перемещаются как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Глубина их залегания, направление и интенсивность движения зависят от водопроницаемости пород.

Подземные воды на нашей планете составляют 14 % от всего имеющегося объема пресных вод. Роль подземных вод возрастает в связи с высоким уровнем загрязнения поверхностных вод.

По условиям залегания подземные воды подразделяют на три вида: почвенные, находящиеся в самом верхнем, почвенном слое; грунтовые, залегающие на первом от поверхности постоянном водоупорном слое; межпластовые, находящиеся между двумя водоупорными пластами. Грунтовые воды питаются просочившимися атмосферными осадками, водами рек, озер, водохранилищ. Уровень грунтовых вод колеблется по сезонам года и различен в разных зонах.

Мировой океан – неисчерпаемый водный резервуар. Однако высокое содержание растворенных в воде солей мешают свободному использованию вод мирового океана в сельском хозяйстве, промышленности и для бытовых нужд населения без предварительного опреснения. В океанической воде встречаются почти все химические элементы и их изотопы, но основную массу составляют девять главных ионов (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Содержание основных ионов в морской воде

Ионы	Содержание в мг/кг воды	Содержание в % от общей массы
Cl ⁻	18980	55,04
Na ⁺	10560	30,61
SO ₄ ²⁻	2650	7,68
Mg ²⁺	1270	3,69
Ca ²⁺	400	1,16
K ⁺	380	1,10
HCO ₃ ⁻	140	0,41
Br ⁻	65	0,19
H ₃ BO ₃	5	0,07
Всего	34450	99,95

Соленость океана изменяется как по глубине, так и по акватории. Так, например, в Северном Ледовитом океане она не превышает 31 %, а в Красном море достигает 42 %. Однако соотношение главных ионов постоянно и независимо от величины солености, места и глубины.

Гипотетически из морской воды можно получать неограниченный объем пресной воды и использовать его в различных отраслях народного хозяйства. Но не следует забывать, что подобный вариант возможен только после детального технико-экономического обоснования.

Водные ресурсы Республики Беларусь и их особенности в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. Возобновляемые ресурсы пресных вод Республики Беларусь представлены речным стоком и подземными водами, объем которых формируется в естественных условиях за счет выпадения осадков на территории страны (внутренний сток), а также притока речных и подземных вод из сопредельных стран. Общий объем годового стока рек определяется на основе измерения уровней и расхода воды. Естественные ресурсы пресных подземных вод представляют собой суммарный расход потока подземной воды, который обеспечен инфильтрацией атмосферных осадков. Величина инфильтрационного питания водоносных горизонтов зоны активного водообмена составляет 10–20 % средней многолетней величины атмосферных осадков. В общем стоке рек Беларуси на долю подземных вод приходится 27 %.

Основным источником поверхностных водных ресурсов страны являются средние и крупные реки, объем водного стока которых в среднем по водности годы, как правило, не превышает 57900 млн. м³ в год. В многоводные годы общий речной сток увеличивается до 92400 млн. м³ в год, а в маловодные (95 % обеспеченности) снижается до 37200 млн. м³

в год. При этом на реки бассейна Черного моря приходится 55 % суммарного годового стока, бассейна Балтийского моря – 45 %.

По территории страны протекают семь крупных рек длиной более 500 км: Западная Двина, Неман, Вилия, Днепр, Березина, Сож и Припять, шесть из них (за исключением Березины) являются трансграничными. Всего в Беларуси протекает 20,8 тыс. рек различной величины, общей протяженностью 90,6 тыс. км.

Большая часть речного стока (34000 млн. м³, или 59 %) формируется в пределах страны (местный сток). Приток воды с территорий соседних государств (России и Украины) составляет 41 %, или 23900 млн. м³ в год (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Местный и общий сток водосборов рек Республики Беларусь

Водосбор реки	Местный сток, млн. м ³		Общий сток, млн. м ³	
	Обеспеченность, %			
	50	95	50	95
Западная Двина	6800	4300	13900	8600
Неман (без Вилии)	6600	5200	6700	5300
Вилия	2300	1800	2300	1800
Западный Буг (включая Нарев)	1400	800	3100	1700
Днепр (без Припяти)	11300	7600	18900	12800
Березина	4500	3300	4500	3300
Припять	5600	3100	13000	7000
Всего	34000	22800	57900	37200

Основной объем местного речного стока (73 %) формируется в водосборах Западной Двины, Немана и Днепра. Преобладающая часть транзитного стока поступает по Днепру (32 %), Припяти (31 %) и Западной Двине (28 %). Распределение местного стока внутри года весьма неравномерно. За три весенних месяца по рекам западной и центральной частей страны (бассейны Немана, Вилии, Березины) протекает в среднем 42–47 % годового стока, а по остальным – до 56–62 %.

Неравномерность годового стока компенсируется в определенной мере строительством водохранилищ. В Беларуси создано 153 водохранилища, полный объем воды в которых составляет 3100 млн. м³, полезный – около 1240 млн. м³, что равно несколько больше 3 % стока, формирующегося на территории страны. Преобладают водохранилища руслового (речного) типа, на долю водоемов наливного и озерного типов приходится 35 и 13 % соответственно.

На территории Беларуси находится около 10,8 тыс. озер, абсолютное большинство из которых (75 %) относится к числу малых, имеющих площадь зеркала до 0,1 км². Ресурсное значение имеют озера площадью более 1,0 км², общий объем которых составляет 6000–7000 млн. м³ воды. Наибольший объем воды заключен в озерах бассейнов рек Западной Двины (72 % всех запасов) и Немана (20 %). Далее следуют бассейны Припяти и Днепра.

По величине водных ресурсов рек Беларусь занимает четвертое место в Европе после Норвегии (376000 млн. м³/год), Великобритании (152000 млн. м³/год) и Польши (85400 млн. м³/год).

Естественные ресурсы пресных подземных вод составляют 15900 млн. м³ в год, прогнозные – 18100 млн. м³ в год. Распределение водных ресурсов по территории страны весьма неравномерно, что обусловлено характером рельефа, мощностью зоны аэрации, литологическим составом покровных и водовмещающих пород. На уровне административных областей страны по количеству естественных ресурсов выделяется Минская область, наименее обеспечена Брестская (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Ресурсы подземных вод в границах административных областей Республики Беларусь

Административная область	Ресурсы пресных подземных вод, млн. м ³ /год		Отношение эксплуатационных ресурсов к естественным, %
	естественные	прогнозные	
Брестская	1584	2045	129
Витебская	3357	3486	104
Гомельская	1929	3094	160
Гродненская	2613	2806	107
Минская	4134	4360	105
Могилевская	2283	2310	101
Всего	15900	18100	114

На уровне речных бассейнов самое значительное количество водных ресурсов установлено в водосборе Днепра (включая Припять), наименьшее – в водосборе Западного Буга (табл. 1.5).

Достаточность водных ресурсов в мировой практике оценивается с помощью удельного показателя водообеспеченности (отношение объема среднегодового речного стока к количеству населения).

Обеспеченность водными ресурсами на душу населения в Беларуси (6,1 тыс. м³/чел. в год) близка к средневропейской, но при этом зна-

чительно выше, чем в соседних странах – Польше (1,7 тыс. м³/чел. в год) и Украине (4,1 тыс. м³/чел. в год).

Таблица 1.5. Ресурсы подземных вод в границах бассейнов основных рек Республики Беларусь

Водосбор реки	Ресурсы пресных подземных вод, млн. м ³ /год		Отношение эксплуатационных ресурсов к естественным, %
	естественные	прогнозные	
Западная Двина	2690	2970	110
Неман (без Вилии)	3601	3510	97
Вилия	1330	1670	126
Западный Буг	510	662	130
Днепр (без Припяти)	5200	5528	103
Припять	2559	3750	147
Всего	15900	18100	114

Данные о заборе воды, поступающие от предприятий и организаций по установленной государственной форме отчетности, накапливаются в системе водного кадастра, обобщаются и публикуются в ежегодных информационно-аналитических изданиях.

Согласно данным водного кадастра, суммарный объем забора поверхностных и подземных с 2005 г. начал сокращаться. Сокращение количества забираемой воды устойчиво прослеживается на протяжении последних 15 лет.

Из водных объектов забрано 715 млн. м³ воды, из подземных источников – 858 млн. м³. В структуре общего водозабора на долю подземных вод во все рассматриваемые годы приходилось более 50 %, причем в последнее время наметилась тенденция к снижению забора подземных вод.

Основное количество природной воды забирается в Беларуси для нужд коммунального хозяйства. Забор воды по отраслям экономической деятельности в процентном отношении показан на рис. 1.2.

Представление о нагрузке на водные ресурсы на национальном и региональном уровнях позволяет получить индекс эксплуатации водных ресурсов (ИЭВР), который рассчитывается как отношение общего годового объема водозабора к среднемуголетнему годовому объему возобновляемых ресурсов пресных вод.

Пороговое значение ИЭВР, являющееся основой для сопоставления различных стран и регионов с ненапряженным и напряженным вод-

ными режимами, составляет около 20 %. Высокая напряженность отмечается в тех случаях, когда ИЭВР превышает 40 %.

На национальном уровне ИЭВР в рассматриваемые годы изменялся весьма незначительно (2,8–3,0 %) и свидетельствовал о том, что суммарный забор воды для всех отраслей хозяйственной деятельности не оказывает существенного давления на имеющиеся в стране водные ресурсы.

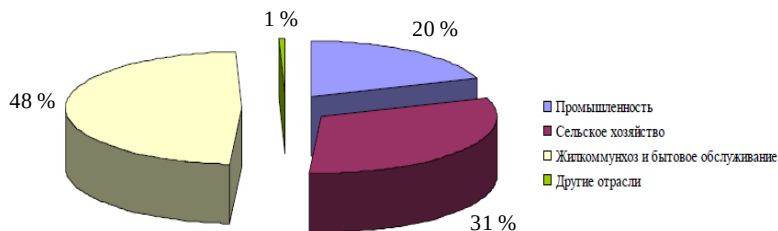


Рис. 1.2. Забор воды по отраслям экономической деятельности

Значения ИЭВР несколько увеличиваются при рассмотрении забора природных вод на уровне речных бассейнов.

Согласно ИЭВР наиболее интенсивно на региональном уровне водные ресурсы эксплуатируются в бассейнах Березины (притока Днепра) (7,3), Вилии (7,3) и Немана (5,4), Днепра (5,2), слабее – Западной Двины (1,1), Сожа (1,5) и Западного Буга (2,2). В целом водные ресурсы эксплуатируются в нормальном режиме.

1.3. Планирование использования водных ресурсов

Общие сведения о водопользовании и его видах. Водопользование это – использование водных ресурсов и (или) воздействие на водные объекты при осуществлении хозяйственной и иной деятельности.

Водопользования классифицируют по следующим признакам:

- цели водопользования;
- объекты водопользования;
- технические условия водопользования;
- условия предоставления водных объектов в водопользование;
- характер использования воды;
- способ использования водных объектов;
- воздействие водопользователей на водные объекты.

По целям водопользование подразделяется на хозяйственные, питьевые и коммунальные нужды населения, лечебные, курортные и оздоровительные цели, нужды сельского хозяйства (без орошения и обводнения), орошение и обводнение, промышленные нужды (без теплоэнергетики), нужды теплоэнергетики, территориальное перераспределение стока поверхностных вод и пополнение запасов подземных вод, нужды гидроэнергетики, водного транспорта и лесосплава, рыбного хозяйства, сброс сточных вод, прочие нужды и многоцелевое водопользование.

По объектам водопользования они подразделяются на использование поверхностными водами, подземными, внутренними и территориальными морскими водами.

По техническим условиям различают водопользование общее, специальное и обособленное.

Общее водопользование осуществляется юридическими лицами, гражданами, в том числе индивидуальными предпринимателями, безвозмездно и без правоустанавливающих документов.

Условия общего водопользования на водных объектах доводятся до сведения заинтересованных юридических лиц и граждан, в том числе индивидуальных предпринимателей, местными исполнительными и распорядительными органами посредством опубликования этих сведений в средствах массовой информации и размещения на своих официальных сайтах.

Право общего водопользования распространяется на пруды-копани, расположенные на землях общего пользования и землях запаса.

Право общего водопользования не распространяется на пруды-копани, расположенные в границах земельных участков, предоставленных в установленном порядке юридическим лицам, гражданам, в том числе индивидуальным предпринимателям, и технологические водные объекты.

К *специальному водопользованию* относятся:

- изъятие поверхностных вод с применением водозаборных сооружений;
- добыча подземных вод с применением водозаборных сооружений, в том числе самоизливающихся буровых скважин;
- сброс сточных вод в окружающую среду с применением гидротехнических сооружений и устройств, в том числе через систему канализации;
- сброс сточных вод в окружающую среду после очистки на сооружениях биологической очистки в естественных условиях (на полях

фильтрации, полях подземной фильтрации, в фильтрующих траншеях, песчано-гравийных фильтрах), а также через земляные накопители;

- водопользование, связанное с изъятием поверхностных вод передвижными устройствами для поливочных работ на объектах, расположенных на землях общего пользования населенных пунктов, для орошения сельскохозяйственных земель;

- водопользование, связанное с регулированием водных потоков с применением гидроузлов, плотин и других водоподпорных сооружений;

- водопользование, связанное с добычей (изъятием) вод для ликвидации чрезвычайных ситуаций и (или) их последствий;

- водопользование, связанное с устранением подтопления, заболачивания земель;

- водопользование, связанное с добычей подземных вод попутно с добычей других полезных ископаемых;

- водопользование, связанное с проведением мероприятий по защите водоносных горизонтов.

Специальное водопользование осуществляется на основании решений на специальное водопользование или комплексных природоохранных разрешений, выдаваемых территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, за исключением:

- изъятия поверхностных вод в объеме 5 м^3 и менее в сутки с применением водозаборных сооружений;

- добычи подземных вод в объеме 5 м^3 и менее в сутки с применением водозаборных сооружений, в том числе самоизливающихся буровых скважин;

- сброса сточных вод в окружающую среду гражданами (за исключением индивидуальных предпринимателей).

Обособленное водопользование подразделяется:

- на обособленное водопользование поверхностными водными объектами (их частями) для хозяйственно-питьевых, гидроэнергетических нужд и нужд обеспечения обороны;

- обособленное водопользование прудами-копанями, расположенными в границах земельных участков, предоставленных в установленном порядке юридическим лицам, гражданам, в том числе индивидуальным предпринимателям, и технологическими водными объектами.

Поверхностные водные объекты (их части) в обособленное водопользование для хозяйственно-питьевых, гидроэнергетических нужд и

нужд обеспечения обороны могут быть предоставлены юридическим лицам.

Не предоставляются в обособленное водопользование для хозяйственно-питьевых, гидроэнергетических нужд и нужд обеспечения обороны поверхностные водные объекты (их части), расположенные полностью или частично на территории населенных пунктов, а также в иных случаях, предусмотренных законодательными актами.

Обособленное водопользование поверхностными водными объектами (их частями) для хозяйственно-питьевых, гидроэнергетических нужд и нужд обеспечения обороны осуществляется на основании государственного акта на право обособленного водопользования, в котором указываются цель, условия и сроки обособленного водопользования.

По условиям предоставления водных объектов в пользование различают совместное и обособленное водопользование.

По характеру применения воды как вещества с определенными свойствами выделяют использование:

- массы;
- энергетического потенциала;
- воды как места обитания.

По способу использования водных объектов бывает водопользование:

- с изъятием воды (с возвратом и без возврата);
- без изъятия воды.

По воздействию водопользователей на водные объекты различают:

- воздействие на количественные характеристики водных объектов;
- воздействие на качественные характеристики водных объектов;
- воздействие на количественные и качественные характеристики водных объектов;
- без воздействия на количественные и качественные характеристики водных объектов.

Водопотребители и водопользователи. Противоречия в требованиях на количество и качество используемой природной воды.
Участников ВХК условно можно разделить на водопотребителей и водопользователей.

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 водопользовании воду не изымают из водных объектов. Водопользование имеет место в гидроэнергетике, водном транспорте, сплаве леса, рекреации, частично в рыбном хозяйстве.

Однако по мере более глубокого использования водных ресурсов грани между водопотребителями и водопользователями стираются. Так, при создании энергетических водохранилищ значительная часть воды теряется на испарение и фильтрацию и пропадает для остальных участников комплекса. Такое же явление в больших масштабах наблюдается и на водохранилищах, которые используют в системе охлаждения тепловых и атомных электростанций. Аналогичные доводы можно привести относительно использования воды в рыбном хозяйстве, когда для нереста затапливают обширные мелководья, хорошо прогреваемые солнцем, с которых происходит значительное испарение воды.

Поэтому более правильно будет объединить эти две категории в одну с общим названием – водопользователи.

В водопользовании существенную роль играют водопотребление и водоотведение. Водопотреблением называют потребление воды из водного объекта или систем водоснабжения, а водоотведением, или сбросом сточных вод, – удаление сточных вод за пределы населенного пункта, предприятия или других мест использования. В объем водоотведения входит суммарное количество всех видов сточных вод, отводимых непосредственно в водоемы, подземные горизонты и бессточные впадины, на ведомственную очистку, а также другим организациям.

В водопотреблении учитывают не только непосредственное использование воды, но и потери на испарение и фильтрацию из каналов и водохранилищ.

С точки зрения использования и охраны водных ресурсов производственная деятельность водопотребителей характеризуется:

- общим водопотреблением – суммой забора свежей и оборотной воды за единицу времени (год, сутки, час, секунду);
- забором свежей воды – водозабором из водного объекта;
- забором оборотной воды – водозабором из системы замкнутого водоснабжения;

– водоотведением – сбросом в водный объект, в замкнутые понижения или подземные горизонты;

– безвозвратным водопотреблением – забором свежей воды за вычетом водоотведения;

– объемами сброса загрязнений – объемами загрязняющих веществ в сбрасываемой воде за вычетом содержания этих веществ в воде, забираемой из источника;

– тепловым загрязнением – количеством тепла, сбрасываемого в водный объект, определяемым по расходу сбрасываемой воды и повышению температуры в сбросных водах по сравнению с температурой забираемой воды.

Водопользователи характеризуются величиной необходимых расходов (гидроэнергетика) и уровней воды (судоходство, гидроэнергетика, рыбное хозяйство, рекреация, природные комплексы), а также влиянием их на качество воды.

Важная особенность участников водохозяйственного комплекса – взаимное несовпадение требований к режиму водоисточника во времени.

Несогласованность водопотребления и водоотведения между участниками (компонентами) ВХК приводит к противоречиям. Так, водный транспорт заинтересован в поддержании судоходных глубин в нижнем бьефе ГЭС в навигационный период, а гидроэнергетика, наоборот, – в накоплении воды в водохранилище для более интенсивного использования ее в осенне-зимний пик загрузки. Во время половодья гидроэнергетика заинтересована в накоплении воды в водохранилище, а рыбное хозяйство требует значительных попусков из водохранилища для поддержания оптимальных глубин нерестилищ и мелководий, в которых обитает рыба. Разрешают эти противоречия при формировании ВХК и при оптимальном функционировании.

Существуют противоречия и в требованиях к качеству используемой воды. Гидроэнергетика, судоходство, лесосплав не предъявляют жестких требований к загрязненности воды. Для здравоохранения, водоснабжения, рыбного хозяйства и орошения, отдыха на воде качество воды имеет существенное значение, поэтому и это учитывают на стадии формирования ВХК.

Требования коммунально-бытового водопотребления к режиму водоисточника, качеству воды и ее подаче. Водоотведение. В ряду функций ВХК на первом месте стоит удовлетворение потребностей в воде населения. Этот вид водопотребления является основным в си-

стеме ВХК и реализуется с помощью коммунально-бытового хозяйства.

Водоснабжение населения чистой питьевой водой – важнейшая задача государства, властей любого города и села. Отсутствие чистой питьевой воды – причина многих болезней, в том числе эпидемий. Почти половина населения Земли ее не имеет. Поэтому 80-е гг. объявлялись международным десятилетием питьевого водоснабжения и санитарии. В Республике Беларусь приоритет коммунально-бытового водоснабжения закреплён в Водном кодексе. Принцип этот заключается в том, что в любых условиях население должно быть обеспечено водой в первую очередь. В водохозяйственной практике в коммунально-бытовом водоснабжении принимают самую высокую обеспеченность – 97 % (т. е. перебои с подачей воды допускаются лишь в течение 3 дней из 100).

Коммунально-бытовое водоснабжение – это вода, потребляемая населением для разных нужд. Оно имеет следующую структуру:

- хозяйственно-питьевое водоснабжение населения – 56 %;
- водоснабжение общественных зданий – 17 %;
- водоснабжение местной промышленности – 16 %;
- пожарные нужды – 3 %;
- городские нужды (поливка улиц, зеленых насаждений, фонтаны) – 1 %;
- прочие нужды – 7 %.

Итого – 100 %.

Хозяйственно-питьевое водоснабжение имеет следующую структуру:

- приготовление пищи и питье – 30 %;
- стирка – 10 %;
- пользование ваннами – 30 %;
- смыв бачков – 30 %.

Итого – 100 %.

Житель крупного города на коммунально-бытовые нужды потребляет до 600 л/сут воды и расходует ее следующим образом:

- удовлетворение личных потребностей – 200 л;
- для работы общественных коммунальных предприятий – 100 л;
- для поддержания чистоты в городе – 100 л;
- для предприятий местного значения – 200 л.

Итого – 600 л.

Особенности коммунально-бытового водоснабжения заключаются в следующем:

1. Высокие требования к качеству воды:

- а) по физическим свойствам (температура, прозрачность, цветность, запах, привкус);
- б) химическим показателям (минерализация, общая жесткость, кислотность, содержание Pb, As, F, Cu и др.);
- в) органическим веществам;
- г) радиоактивному излучению;
- д) бактериальному составу воды.

Наилучшим качеством обладают межпластовые артезианские подземные воды, наиболее защищенные от всевозможных загрязнений. Качество грунтовых, неглубокозалегающих вод хуже, но значительно лучше, чем поверхностных вод, которые наименее пригодны для водоснабжения.

2. Равномерность потребления воды в течение года и неравномерность в течение суток. При повышении температуры потребление воды возрастает, но сезонные колебания не превышают 15–20 %. Суточные более значительны, так как более 70 % воды потребляется днем. Для учета этих колебаний в расчетах используют коэффициенты суточной $K_{сут}$ и часовой $K_{час}$ неравномерности:

$$K_{сут} = \frac{Q_{сут \max}}{Q_{ср. \text{ сут}}} < 1,2, \quad (1.3)$$

где $Q_{сут \max}$ – максимальное потребление за сутки, л/сут (за определенный период);

$Q_{ср. \text{ сут}}$ – среднесуточное потребление за этот же период;

$$K_{час} = \frac{Q_{час \max}}{Q_{ср. \text{ час}}} < 1,8 - 2,0, \quad (1.4)$$

где $Q_{час \max}$ – максимальное часовое потребление, л/ч;

$Q_{ср. \text{ сут}}$ – среднечасовое потребление воды, л/ч.

Эти коэффициенты служат для определения воды в любое время года, месяца, недели, в том числе и для определения наибольшего и наименьшего водопотребления, а также для учета колебания водопотребления в течение суток. Эти колебания необходимо учитывать при проектировании систем водоснабжения, в том числе водопроводных сооружений. Они должны иметь достаточную производительность для гарантированной подачи воды при максимальном водопотреблении. В этом случае допускается форсированный режим работы всей водопроводящей системы, т. е. ее работа с максимальной нагрузкой.

Норма хозяйственно-питьевого водоснабжения (или удельное водопотребление, т. е. потребление воды одним человеком) зависит от

благоустройства жилого фонда, климатических условий, часто – исторических традиций.

Общий расход воды определяется по следующей зависимости, м³/сут:

$$Q = \frac{qK_{\text{сут}}K_{\text{час}}N}{1000}, \quad (1.5)$$

где q – удельная суточная норма водопотребления, л/сут;

N – число потребителей.

При равномерном водопотреблении

$$Q = \frac{\Sigma(qN)}{1000}. \quad (1.6)$$

Для прогнозирования водопотребления в коммунальном хозяйстве, в том числе при составлении генеральных планов городов, используют данные о прогнозе, численном населении, повышении уровня благосостояния и удельного водопотребления. Все три показателя поддаются прогнозу: численность населения – на основании статистических данных; удельное водопотребление – по фактическому росту на основании анализа действующих систем водоснабжения. Теоретическая его величина устанавливается на основании медико-гигиенических исследований потребности в воде для комфортного проживания. Уровень благоустройства в настоящее время – один из самых трудно прогнозируемых показателей. Достигнутый уровень, очевидно, останется устойчивым на достаточно длительное время и будет использоваться при прогнозах водопотребления.

Удельные нормы водопотребления на хозяйственно-бытовые нужды, принимаемые для проектирования систем водоснабжения, приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6. Удельное водопотребление на хозяйственно-бытовые нужды

Степень благоустройства зданий	Удельное водопотребление на 1 жителя, л/сут	Коэффициент неравномерности	
		$K_{\text{сут}}$	$K_{\text{час}}$
Без водопровода и канализации	30–50	1,33–1,20	2,00–1,80
Водопровод, канализация (без ванн)	125–160	1,12–1,13	1,50–1,40
Водопровод, канализация с ваннами и газовыми колонками	160–230	1,11–1,09	1,30–1,25
Водопровод, канализация и централизованное горячее водоснабжение	230–350	1,19–1,09	1,25–1,20

Как видно из приведенной таблицы, значения коэффициентов суточной и часовой неравномерности обратно пропорциональны удельному водопотреблению.

Распределение воды в течение суток принимают на основании расчетных графиков водопотребления в определенное время суток. При их построении исходят из проектных технических решений, исключающих совпадение по времени максимальных отборов воды на различные нужды.

3. Третья особенность коммунального водоснабжения связана с его ролью в ВХК и влиянием на других участников ВХК.

В первую очередь это относится к требованию поддержания в водохранилищах определенного уровня воды. Это требование следует из того, что при устройстве водозаборов всасывающие трубы заглубляются таким образом, чтобы в них не попал воздух и поверхностные загрязнения, т. е. забор воды должен производиться из более глубоких слоев. В то же время нельзя забирать воду из придонных слоев, так как в них содержится большее количество взвешенных частиц, органических веществ, в них меньше кислорода. Данный ил сорбирует все виды загрязнений, попадающих в водный объект. С учетом этих требований назначают минимально необходимый уровень воды в веществе, что не совпадает с интересами других водопользователей.

При устройстве водозаборов в нижних бьефах гидроузлов для обеспечения их устойчивой работы часто требуются специальные попуски из водохранилища. Эти попуски могут быть и комплексными – транспортно-водоснабженческими, рыбоводно-водоснабженческими.

Такие попуски наносят ущерб энергетике, так как воду, которую можно было расходовать равномерно, спускают в течение времени нереста рыб.

При комплексных попусках учитывают интересы всех водопотребителей, но в первую очередь – коммунально-бытового хозяйства

Коммунальное хозяйство предъявляет высокие требования к качеству воды и равномерной подаче. Качество поверхностных вод ухудшается из-за деятельности промышленности, орошаемого земледелия, а также из-за осушения болот. Негативное воздействие оказывают и стоки животноводческих комплексов, водный транспорт, лесосплав, рекреация. На некоторых водохранилищах в связи с этим запрещается строительство баз отдыха, купание.

В свою очередь, сточные воды коммунально-бытового хозяйства неблагоприятно влияют на качество вод (иногда – и подземных), особенно в местах сброса. Это отрицательно сказывается на многих

участках ВХК – рыбном хозяйстве, промышленности, рекреации, водоснабжении населенных пунктов, расположенных ниже по течению. Поэтому сброс неочищенных сточных вод категорически запрещается. Чтобы реализовать это положение, необходима более широкая канализация населенных мест, улучшение очистки, повторное использование очищенных сточных вод в промышленности и для орошения.

Одной из наиболее острых проблем, стоящих перед коммунально-бытовым хозяйством страны, является экономия воды.

Одна из главных мер – борьба с утечками, которые происходят через неплотности труб, арматуры и санитарно-технического оборудования. Только в жилых зданиях они составляют до 25 % объема воды, отпускаемой населению. Большие потери происходят из-за повреждений водопроводных магистралей, особенно во время земляных работ. Средние размеры потерь достигают 20 %. Для их сокращения необходимо регулировать напор воды в зависимости от высоты зданий, использовать совершенную запорно-пусковую арматуру, применять насосно-силовое оборудование с регулируемой частотой вращения и др.

Также требуется внедрение отдельного водопровода для коммунального и промышленного водоснабжения. Это позволит сэкономить воду высокого качества для питья, а для других коммунальных нужд (мытьё машин, полив улиц и зеленых насаждений) использовать воду более низкого качества и с меньшей обеспеченностью, например, неочищенную речную или доочищенные коммунальные стоки.

Коммунально-бытовое водоснабжение имеет невысокое безвозвратное водопотребление, т. е. собирается большая часть использованной воды. Широкое внедрение канализации увеличит количество сточных вод, которые можно использовать повторно для орошения или в промышленности. Это даст общую экономию воды.

Сокращение норм коммунального водоснабжения достигается путем внедрения безводных способов уборки городских территорий и отходов жизнедеятельности. Это снизит нормы водоотведения, стоимости очистки коммунальных сточных вод и в итоге приведет к оздоровлению водоемов и водотоков.

Водоотведение и очистка сточных вод. В процессе жизнедеятельности человека вода загрязняется веществами органического и минерального происхождения. Изменяются и ее физические свойства. Такие воды принято называть сточными.

Сточные воды представляют собой жидкие отходы, образующиеся в результате бытовой и производственной деятельности людей, а так-

же организованного удаления с территорий атмосферных осадков, и подразделяются:

- на *сточные воды населенных мест* – смесь бытовых и промышленных сточных вод;
- *дождевые воды* – образующиеся в результате выпадения атмосферных осадков;
- *производственные воды* – образующиеся в результате технологических операций на предприятиях;
- *воды оросительных систем* – дренажные воды.

Сточная вода служит благоприятной средой для развития разнообразных микроорганизмов, в том числе и патогенных, являющихся возбудителями и распространителями инфекционных заболеваний. Загрязняя окружающую среду, сточные воды одновременно создают условия для возникновения болезней человека и эпидемий. В сточных водах могут содержаться и токсические вещества (кислоты, щелочи, соли и др.), способные вызвать отравление живых организмов и гибель растений.

В сточных водах также содержатся загрязнения минерального, органического и бактериального происхождения. Степень их загрязнения определяется показателями санитарно-химического анализа. К ним относятся химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК), перманганатная окисляемость (ПО), содержание биогенных элементов, реакция среды, температура, легко разлагающиеся органические вещества (ОВ).

В городах расход бытовых вод с 1 га площади кварталов равен 0,3–2 л/с (удельный расход), или 10–600 тыс. м³/год. В водоотводящую сеть они поступают сравнительно неравномерно. Наибольший расход за 1 ч может превышать средний расход в сутки в 1,4–2,5 раза, а наименьший может быть меньше среднего расхода в сутки в 1,5–2,5 раза. Следовательно, расходы по часам суток могут изменяться в 2–5 раз.

Производственные сточные воды различных отраслей промышленности содержат различные загрязнения и различные их концентрации.

Для решения вопроса сбора, отведения и обезвреживания атмосферных осадков важное значение приобретает анализ повторяемости месячных и сезонных сумм осадков различной величины и суточный максимум осадков (мм) различной обеспеченности.

В *дождевых водах* содержится значительное количество нерастворенных минеральных органических примесей.

Необходимость строительства водоотводящих систем диктуется санитарными требованиями и стремлением к улучшению жилищно-бытовых условий.

Комплекс инженерных сооружений и санитарных мероприятий, предназначенных для сбора, отвода (транспортирования) за пределы обслуживаемых объектов, очистки, обезвреживания и обеззараживания загрязненных сточных вод и выпуска их в водоемы, называется *водоотводящей системой*. Водоотводящие системы также обеспечивают отвод и очистку вод, образующихся вследствие выпадения атмосферных осадков и таяния снега.

Водоотводящая система (рис. 1.3) включает следующие элементы: водоотводящую систему в зданиях и внутриквартальные водоотводящие сети; внешнюю водоотводящую сеть; регулирующие резервуары; насосные станции и напорные трубопроводы; очистные сооружения; выпуски очищенных сточных вод в водоем и аварийные выпуски; дождеприемники; ливнеспуски.

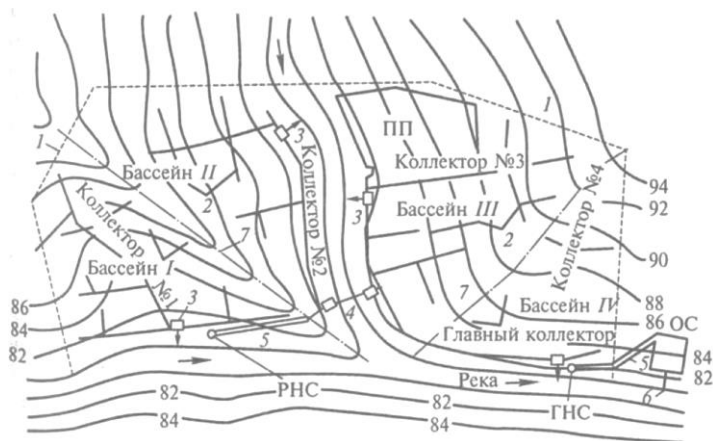


Рис. 1.3. Схема водоотведения: РНС – районная насосная станция; ГНС – главная насосная станция, ОС – очистные сооружения; ПП – промышленное предприятие; 1 – граница города; 2 – внешняя водоотводящая часть трубопровода; 3 – ливнеспуски; 4 – докер; 5 – напорные трубопроводы; 6 – выпуск очищенных сточных вод; 7 – линии водоразделов

Отличие по составу и свойствам загрязнений бытовых производственных и дождевых сточных вод обуславливает разные методы их очистки, а также необходимость раздельного их отведения.

Системы подразделяются на общесплавные, отдельные и комбинированные. В свою очередь, отдельные системы подразделяются на полные отдельные, неполные отдельные и полнотелые.

Общесплавная система водоотведения имеет одну водоотводящую сеть, предназначенную для отвода сточных вод всех видов: бытовых, производственных и дождевых (рис. 1.4). Общесплавная система имеет на главном коллекторе ливнепусти, через которые часть смеси сточных вод сбрасывается в водоем. Объем сточных вод и количество загрязнений, сбрасываемых в водоем, ограничиваются расходом воды в реке и ее самоочищающей способностью.

Полная отдельная система водоотведения имеет несколько водоотводящих сетей, каждая из которых предназначена для отвода сточных вод определенного вида (бытовых вод от города, производственных и дождевых вод).

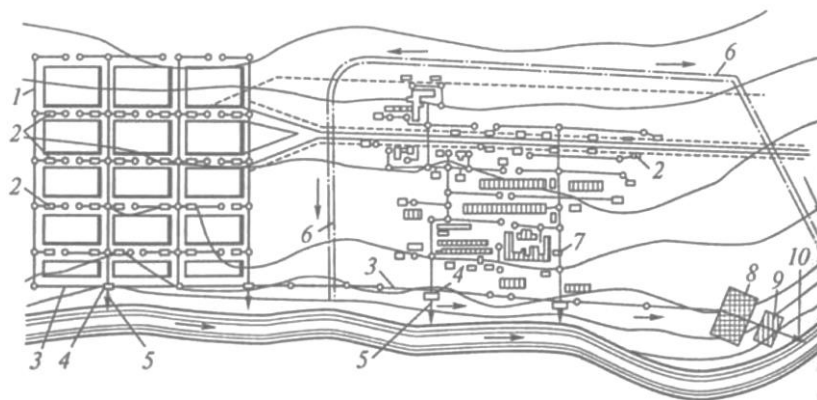


Рис. 1.4 Общесплавная система водоотведения: 1 – уличная сеть; 2 – дождеприемник; 3 – главный коллектор; 4 – ливнепуск; 5 – ливнеотвод; 6 – нагорная канава; 7 – заводская сеть; 8 – сооружения по очистке сточных вод; 9 – сооружения доочистки сточных вод; 10 – выпуск

Для очистки производственных сточных вод предусматриваются специальные очистные сооружения. Производственные сточные воды могут очищаться частично или полностью, поэтому они либо направляются для доочистки на очистные сооружения города, либо сбрасываются в водоем. Возможно и повторное использование очищенных вод (частично или в полном объеме). В последние годы в некоторых отраслях промышленности повторно используются дождевые воды.

Для этого они должны также подвергаться очистке, которая возможна совместно с очисткой производственных вод. В ряде отраслей промышленности возможно использование очищенных бытовых сточных вод для производственных целей.

Система водоотведения должна обеспечивать очистку наиболее загрязненной части поверхностного стока, образующегося в период выпадения дождей, таяния снега и мытья дорожных покрытий, т. е. не менее 70 % годового стока для селитебных территорий и площадок предприятий, близких к ним по загрязненности.

Неполная раздельная система водоотведения имеет лишь одну водоотводящую сеть, предназначенную для отвода загрязненных бытовых и производственных сточных вод и называемую производственно-бытовой сетью. Отвод дождевых вод в водоем предусматривается по открытым лоткам, кюветам и канавам. Неполную раздельную систему водоотведения устраивают лишь для небольших объектов.

Полураздельная система водоотведения имеет две водоотводящие сети – производственно-бытовую и дождевую. В местах пересечения этих сетей устраивают разделительные камеры. При сравнительно малых расходах воды в дождевой сети камеры перепускают весь расход дождевых вод в главный коллектор производственно-бытовой сети; при сравнительно больших расходах они перепускают в производственно-бытовую сеть лишь часть воды, но протекающей по трубам в донной части. При больших расходах воды в дождевой сети (в период сильных ливней) менее загрязненные дождевые воды отводятся в водоем без очистки. Принцип работы разделительной камеры основан на учете различной степени отлета струи воды с уступа при разных скоростях движения воды в коллекторе при небольшом и значительном наполнении.

Комбинированной системой водоотведения называют такую систему, при которой обслуживаемый объект в одной части оборудован общесплавной системой, а в другой – полной раздельной системой. Комбинированные системы складывались исторически. В развивающихся городах, имеющих общесплавную систему, часто трубопроводы перегружаются в результате присоединения внутриквартальных сетей от новых зданий. Развитие сети при реконструкции системы водоотведения иногда решают путем строительства новых трубопроводов дождевой сети. Старую же сеть используют как бытовую или производственно-бытовую. Так, в развивающейся части города может сложиться полная раздельная система, а в переконструируемой – общесплавная система.

Каждая из систем водоотведения имеет достоинства и недостатки. Выбор оптимальной системы водоотведения для объектов с различными конкретными условиями проектирования представляет сложную, но очень важную задачу, решение которой позволяет обеспечить наиболее высокое санитарное состояние обслуживаемого объекта и водоема при минимальных затратах на ее строительство и эксплуатацию.

Система водоотведения характеризуется сбросом загрязняющих веществ в водный объект. Приведенная масса годового сброса загрязнений M составляет (усл. т/год):

$$M = \sum_{j=1}^n A_j m_j, \quad (1.7)$$

где n – число видов загрязняющих веществ;

A_j – показатель относительной опасности сброса j -го вещества в водоем, усл. т/т (табл. 1.7);

m_j – общая масса годового сброса j -го вещества, т/год.

Для каждого загрязняющего вещества показатель относительной опасности сброса j -го вещества в водоем составляет

$$A_j = \frac{C_j}{C_{\text{пдж}}}, \quad (1.8)$$

где C_j – условная концентрация j -го загрязняющего вещества, г/м³;

$C_{\text{пдж}}$ – предельно допустимая концентрация j -го вещества в воде, используемой для рыбохозяйственных целей или хозяйственно-питьевого водоснабжения, г/м³.

Ущерб природной среде от сброса в водотоки и водоемы загрязняющих веществ $Y_{\text{заг}}$ составляет (руб/год):

$$Y_{\text{заг}} = \gamma \sigma M, \quad (1.9)$$

где γ – константа, определяющая удельный ущерб от загрязнения, руб/усл. т;

σ – константа, характеризующая состояние водотока.

Следует отметить, что сточные воды негативным образом влияют на окружающую среду и человека. Особое внимание при оценке влияния сточных вод на окружающую среду заслуживают тяжелые металлы и искусственные химические вещества. Особенно это важно, когда существует риск их накопления в рыбе или когда имеется риск их пе-

ренесения в сельскохозяйственные культуры при использовании ила в сельском хозяйстве в качестве удобрения.

Таблица 1.7. Значения константы A_j для некоторых распространенных загрязняющих веществ

Вещества	Предельно допустимая концентрация, г/м		A_j , усл. т/т
	для ведения рыбного хозяйства	для хозяйственно- питьевого водоснабжения	
ВПК	3	—	0,33
Взвешенные вещества	20	—	0,05
Сульфаты	—	500	0,002
Хлориды	—	350	0,003
Азот (общий)	—	10	0,1
Нефть и нефтепродукты	0,5	—	2
Медь	0,01	—	100
Цинк	0,01	—	100
Аммиак	0,05	—	20
Мышьяк	0,05	—	20
Цианиды	0,05	—	10
Формальдегиды	0,10	—	10

В обобщенном виде потенциальные пути воздействия на человека экологических факторов в процессе очистки и сброса сточных вод можно разделить на три категории:

– прямое воздействие веществ, содержащихся в сточных водах (производственная сфера) и в водах, куда стоки могут попасть (вода для купания);

– опосредованное воздействие веществ, просачивающихся из сточных вод в грунтовые воды (питьевую воду);

– опосредованное воздействие содержащихся в отстое веществ, которые осаждаются на корнях сельскохозяйственных культур или поглощаются ими (продукты питания, не рассматриваемые в рамках данного проекта).

На рис. 1.5 представлена схема управления сточными водами, начиная с места образования и заканчивая их окончательным сбросом. Местами образования сточных вод являются домашние хозяйства, торговля и учреждения, промышленность и городские территории. Стоки с земной поверхности в сельской местности, включая сельскохозяйственные зоны, не включаются в понятие «сточные воды».

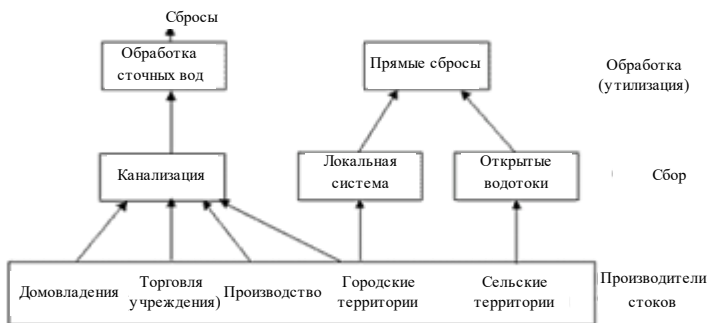


Рис. 1.5. Управление сточными водами

Сточные воды транспортируются в закрытых трубопроводных системах за исключением очень редких случаев, когда сборные емкости опорожняются в автоцистерны для вывоза сточных вод. В канализационных системах для перекачки сточных вод используется минимальное количество энергии, что, однако, зависит от топографических особенностей местности. Сточные воды, просачиваясь из канализационной системы через открытые стыки или разрушенные трубы, могут загрязнять окружающую почву, а затем и грунтовые воды.

Дождевая вода, стекающая с крыш и с поверхности городских улиц и площадей, отводится в некоторых случаях через общую со сточными водами систему на станции очистки сточных вод. После сильных дождей перепускные конструкции в канализационной системе могут выпустить разбавленную дождем сточную воду в принимающие ее водные объекты в необработанном виде. Это может привести к резкому ухудшению микробиологического качества потребляемой воды и сделать воду небезопасной для купания. Здесь проблема заключается в том, что контроль состояния воды для купания основывается на результатах наблюдений за предыдущий год без учета реально складывающейся ситуации с перепускной водой (более подробно информация о воде для купания анализируется в подразделе 1.8).

Основное воздействие сточных вод на воду для купания происходит через переливы неочищенных сточных вод во время сильных дождей, но не менее важны также стоки с территорий в сельской местности, а также стоки разбросанных по сельской местности поселений, не соединенных со станциями очистки сточных вод. Сточные воды сбрасываются в дренажные системы, канавы, водотоки, озера и в море,

создавая антисанитарные условия, особенно в принимающих их водных объектах с невысоким водообменом.

Другим потенциальным источником просачивания сточных вод являются канализационные трубы, которые никогда не бывают полностью герметичными. Тем не менее в Дании было зарегистрировано лишь несколько случаев загрязнения питьевой воды просочившимися сточными водами. Одним из объяснений данного обстоятельства может служить тот факт, что, возможно, места просачивания закупориваются взвешенными частицами, находящимися в сточных водах.

Стоки с городских территорий, попадающие напрямую в принимающие их водные объекты, вызывают загрязнение азотными соединениями (например, из дождевой воды), тяжелыми металлами (например, выбрасываемыми транспортом, промышленными и складскими площадками и смываемыми с крыш) и нефтепродуктами (например, оставляемыми транспортом, проливаемыми на заправочных станциях и складских площадках). Степень загрязнения поверхностных вод микробиологическими субстанциями, содержащимися в поверхностных стоках, неизвестна.

Сельскохозяйственные сточные воды включают хозяйственно-бытовые сточные воды сельских населенных пунктов, производственные сточные воды предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции и стоки животноводческих комплексов. К отдельно рассматриваемым рассредоточенным источникам загрязнения относится смыв с сельскохозяйственных полей ядохимикатов и минеральных удобрений.

На *животноводческих комплексах* накапливается значительное количество навоза, который в случае отсутствия или нарушения специальной технологии хранения и использования может быть опасен для подземных и поверхностных водных объектов. Поэтому в последние годы во многих европейских странах особое внимание уделяется разработке и внедрению эффективных технологий по утилизации, очистке и использованию стоков животноводческих комплексов, в том числе по использованию этих стоков для создания биогазовых установок.

Нефтепродукты существенно влияют на кислородный режим водного объекта. Кроме того, образующаяся на водной поверхности пленка препятствует процессу реаэрации водного объекта. Загрязнение поверхностного стока нефтепродуктами чаще всего происходит по непредвиденным причинам, в основном обусловленным неудовлетворительным состоянием и экологически неправильной эксплуатацией

транспортных средств. По данным экспериментальных исследований Н. А. Правосицкого, для средних городских условий содержание нефтепродуктов в дождевых, талых и поливочных водах может превышать 25 мг/л.

Серьезная опасность загрязнения водных объектов талыми, дождевыми и поливочными водами уже осознана, и во многих странах мира осуществляются мероприятия по очистке этих вод и их отведению за пределы города или за пределы водных объектов особой экологической значимости.

Шахтно-рудничные и карьерные воды являются одним из основных источников загрязнения рек и водоемов в районах концентрации горной и нефтедобывающей промышленности. Эти воды обладают высокой минерализацией (до 30 г/л), мутностью, повышенной кислотностью, щелочностью и жесткостью. Откачиваемые из глубоких подземных горизонтов подземные воды должны учитываться в приходной части водохозяйственного баланса. В то же время откачка подземных вод в местах горных выработок приводит к образованию депрессионных воронок, усыханию колодцев, а при наличии гидравлической связи подземных вод с речными – к уменьшению водности рек. Таким образом, чаще всего в районе откачки подземных вод водность рек уменьшается, а ниже створа сброса шахтно-рудничных вод – увеличивается.

Коллекторно-дренажные воды подразделяются на возвратные воды оросительных систем и коллекторно-дренажные воды осушительных систем.

Первые оказывают прямое воздействие на водный режим и учитываются в водно-балансовых расчетах. Их доля составляет от 2 до 70 % от объема забора воды на орошение (в среднем – 30–35 %). Минерализация и солевой состав этих вод значительны и могут достигать более 20 г/л. Оказывающие лишь косвенное влияние на водный режим коллекторно-дренажные воды осушительных систем в балансовых расчетах, как правило, не учитываются. В то же время следует иметь в виду, что в первые годы своего существования эти воды обогащены взвешенными и биогенными веществами вследствие разложения органических веществ, в частности торфа.

Коллекторно-дренажные воды оросительных систем часто отводятся в понижения местности, в результате чего образуются довольно значительные по размеру и объему воды озера.

Балластные и мочевые воды различных судов обычно доставляются на береговые и плавучие станции очистки. Пассажирские суда оборудуются установками по очистке хозяйственно-бытовых сточных вод и сжиганию мусора. Объемы балластных вод сравнительно невелики, однако они могут стать источником биологического загрязнения.

Требования промышленности, предъявляемые к качеству воды и ее подаче. Вода в промышленном производстве используется для разнообразных целей, а именно:

- для выпуска продукции;
- удовлетворения потребностей работающего персонала
- охлаждения машин и механизмов;
- промывки изделий и деталей (в металлообработке, машиностроении и др.);
- пожаротушения и создания резервов для этих целей;
- полива зеленых насаждений территории, уборки производственных помещений.

Как и другие водопользователи, промышленность имеет свои особенности водопользования и водопотребления. Они состоят в следующем:

- промышленность нуждается в больших количествах воды и является одним из крупнейших ее потребителей;
- требования к количеству и качеству воды в различных отраслях производства характеризуются чрезвычайным разнообразием – от дистиллированной воды до природной неочищенной и сточных производственных вод;
- многофункциональность воды;
- системы водоснабжения должны иметь высокую степень надежности, но для различных отраслей промышленности разную;
- наблюдается большая зависимость расхода воды от технологии производства и системы водоснабжения;
- равномерность использования воды в течение года, а во многих отраслях – и в течение суток;
- для большинства отраслей характерно значительное безвозвратное водопотребление;
- в загрязнении водных объектов промышленным стоком принадлежит ведущая роль.

Формы использования воды (или ее функции в промышленности) отличаются большим разнообразием:

– вода используется как сырье для выпуска продукции, а именно: в пищевой и перерабатывающей промышленности, для получения кислот, спиртов, удобрений (минеральных), получения кислорода (кислородные станции) и др.;

– как растворитель;

– как теплоноситель – в теплоэнергетике;

– как охладитель – в металлургии и металлообработке, в теплоэнергетике. Этот вид использования воды является в промышленности основным;

– как среда, транспортирующая растворенные примеси. Например, при добыче из бедных руд золота, урана с помощью перевода в водный раствор и извлечения его на поверхность;

– как гидравлический транспорт. В горнодобывающей промышленности – это основной вид водопотребления. Это транспортировка добытого полезного ископаемого на обогатительные фабрики, транспортировка шлака и золы, образующихся при сжигании угля на ТЭЦ и ГРЭС.

Объем воды, необходимый для нормальной деятельности предприятия, определяется:

– исходя из характера использования воды, т. е. ее функций в производственном процессе;

– вида и объема выпускаемой продукции;

– принятой технологии производства;

– системы промышленного водоснабжения;

– качества и свойств применяемой исходной воды.

Он определяется через удельную норму водопотребления, т. е. количество воды, необходимой для выпуска единицы продукции. Она зависит:

– от вида выпускаемой продукции;

– мощности предприятия;

– схемы технологического процесса;

– системы водоснабжения;

– режима использования воды;

– климатических условий.

По мере укрупнения и интенсификации производства удельное водопотребление уменьшается. По отраслям производства в зависимости от указанных факторов она колеблется существенно. Даже на предприятиях одной отрасли в зависимости от применяемой технологии

для выпуска одной и той же продукции укрупненная удельная норма водопотребления различается в 510 раз. Так, для получения 1 т угля требуется 3–5 м³ воды, 1 т бумаги – 400–800 м³, 1 т синтетического волокна – 2500–5000 м³. Кроме того, на предприятиях одной отрасли в расчете водопотребления используют не удельные, а укрупненные нормы. В нее входят все расходы воды на предприятии, т. е. производственные (включая приготовление пара), хозяйственно-питьевые (от 25 до 35 л/смену), на души, столовые, прачечные (40–60 л на 1 человека), а также выпускаемые в водоем сточные воды (очищенные и неочищенные), фильтрационные расходы из прудов – осветителей или охладителей, хвостохранилищ и шламонакопителей, пожаротушение – до 60 л/с при продолжительности в течение 3 ч.

Потребление воды в течение суток довольно равномерно, коэффициент часовой неравномерности $K_{\text{час}} \leq 1,1\text{--}1,2$.

Укрупненные нормы используются и при проектировании новых предприятий и реконструкции старых, а также для составления генеральных схем комплексного использования и охраны водных ресурсов отдельных районов или всей страны.

Вода для промышленных предприятий подается с использованием различных схем. Они существенно влияют на объем водопотребления и подразделяются:

- на прямоточные;
- оборотные;
- повторные;
- комбинированные.

Использование той или иной схемы зависит от дефицита водных ресурсов, а также от экономических и экологических требований. Наиболее простая – прямоточная схема (рис. 1.6, а).

Объем полного водопотребления $W_{\text{п}}$, характеризующий водоемкость производства, определяется по формуле

$$W_{\text{п}} = W_{\text{бв}} + W_{\text{сб}}, \quad (1.10)$$

где $W_{\text{п}}$ – объем полного водопотребления;

$W_{\text{бв}}$ – объем безвозвратного водопотребления;

$W_{\text{сб}}$ – объем сбросных вод.

Вода с помощью насосной станции забирается из водного объекта (источника), подается к предприятию и после использования и соответствующей очистки сбрасывается в водоток на соответствующем

расстоянии от водозабора. Эти системы используются при достаточности водных ресурсов при малом водопотреблении и незначительном загрязнении использованных вод.

При большом водопотреблении, особенно при дефиците воды и возможностях ее загрязнения, используют системы оборотного водоснабжения (рис. 1.6, б).

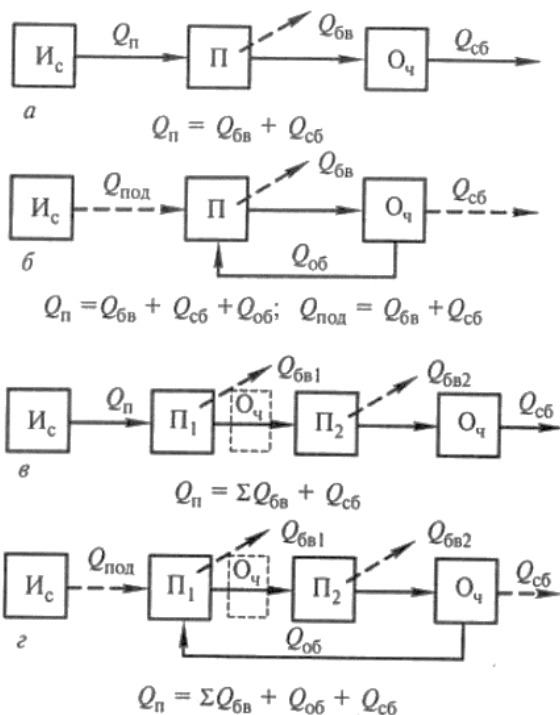


Рис. 1.6. Схемы использования воды в промышленности: а – прямоточная; б – оборотная; в – повторная; г – комбинированная; $Q_{\text{п}}$ – полное водопотребление; $Q_{\text{под}}$ – подпитывание; $Q_{\text{бв}}$ – безвозвратное водопотребление; $Q_{\text{об}}$ – оборотные воды; $Q_{\text{сб}}$ – воды, отводимые в водоем; $I_{\text{с}}$ – источник воды; П, П₁, П₂ – потребители воды; О_ч – сооружения для отчистки вод

При этой схеме отработанные воды, пройдя охлаждающие или очистные устройства, вновь направляются в производственный цикл.

Предусматривается периодическое пополнение системы свежей водой для компенсации потерь.

Объем полного водопотребления при такой схеме водоснабжения определяется по формуле

$$W_{\Pi} = W_{\text{бв}} + W_{\text{сб}} + W_{\text{об}}, \quad (1.11)$$

$$W_{\text{под}} = W_{\text{бв}} + W_{\text{сб}}, \quad (1.12)$$

где $W_{\text{об}}$ – объем отработанных вод;

$W_{\text{под}}$ – объем подпитывающих вод.

Если вода используется для охлаждения, то системы оборотного водоснабжения подразделяют на открытую и закрытую. В открытой вода охлаждается путем ее контакта с воздухом в градирнях, брызгальных бассейнах или прудах-охладителях. В закрытых оборотная вода не имеет контакта с атмосферным воздухом и охлаждается в теплообменных аппаратах и испарителях холодильных станций.

Если отработанная вода загрязнена, то в схеме оборотного водоснабжения предусматривают очистные сооружения.

Применение оборотного водоснабжения дает существенную экономию воды. Такие системы используются и дают большой экономический эффект при расположении промышленных площадок выше уровня водоема или на больших расстояниях от водоисточника, так как в обоих случаях требуются промежуточные подкачивающие станции обеспечения подачи воды.

Сущность повторной системы водоснабжения (рис. 1.6, в) состоит в том, что после завершения технологической операции в одном цехе отработанная вода без дополнительной очистки или обработки поступает в другой цех, где тоже обеспечивает выпуск продукции. Иногда возможно многократное использование воды в ряде цехов, после чего она в загрязненном виде поступает на очистные сооружения. Во многих странах Западной Европы кратность ее использования достигает 10–14 раз.

Отработанная вода часто используется для гидравлического удаления окалины, шлака и золы (гидрозолоудаление). В отдельных случаях горячие отработанные воды можно использовать для обогрева жилых помещений и парников, а теплые воды от ТЭЦ – для орошения, обводнения, рыбоводства. Многократное использование воды в технологических процессах часто загрязняет воду настолько, что для дальнейшего использования требуется локальная очистка.

Выглядит вся система следующим образом:

$$W_{\text{под}} = W_{\text{бв1}} + W_{\text{бв2}} + W_{\text{сб}}. \quad (1.13)$$

Комбинированная система (рис. 1.6, з) является наиболее перспективной системой водоснабжения

$$W_{\text{под}} = W_{\text{бв1}} + W_{\text{бв2}} + W_{\text{сб}}; \quad (1.14)$$

$$W_{\text{п}} = \sum W_{\text{бв}} + W_{\text{сб}} + \sum W_{\text{об}}. \quad (1.15)$$

Дальнейший прогресс в водном хозяйстве и обществе в целом связывается с развитием оборотных, повторных и комбинированных систем водоснабжения для всего предприятия или его отдельных цехов. При этом требуется устройство локальных очистных сооружений и охладителей без выпуска сточных вод в водоемы. Сброс допускается в том случае, если для повторного использования вод в системе оборотного водоснабжения требуется ее обработка химическими реагентами.

При определении объемов воды, потребляемой этими системами, используют следующие показатели:

- объем полного водопотребления $W_{\text{п}}$;
- объем свежей воды $W_{\text{под}}$;
- оборотный объем $W_{\text{об}}$;
- безвозвратное водопотребление в промышленности $W_{\text{бв}}$. Оно формируется за счет следующих источников:

- а) объемов воды, вошедших в состав продукции и отходы;
- б) потерь воды в процессе водопотребления и в водопроводной сети;
- в) потерь воды в процессе производства (очистки и охлаждения);
- г) объемов загрязненных стоков, подлежащих уничтожению из-за трудностей или неэкономичности очистки. Это выпаривание, сжигание, закачка в подземные изолированные горизонты.

Объемы безвозвратного водопотребления в промышленности зависят от функции воды и системы водоснабжения и измеряются величиной удельных безвозвратных потерь, т. е. потерь воды на единицу выпускаемой продукции. Они колеблются от 2 % для оборотной системы водоснабжения.

По видам производства безвозвратные потери дифференцируются очень значительно. Так, при добыче нефти вода извлекается из одного горизонта и закачивается в нефтесодержащие пласты. Для горизонта, из которого извлекаются, они теряются безвозвратно. В нефтеперерабатывающей промышленности около 50 % потребления свежей воды

теряется безвозвратно. Около 75 % общего безвозвратного потребления в промышленности входит в состав продукции, т. е. это не бесполезные потери.

Наименьшие потери – при охлаждении воды на ТЭС – составляют всего 1 %, причем в прямоточных системах они меньше, чем в оборотных, так как в открытых оборотных системах добавляются потери на испарения, ветровой унос, фильтрацию через дно и борта прудов-охладителей.

Для разбавления сбросных, т. е. очищенных промышленных вод, в зависимости от отраслей промышленности и экономических районов требуется воды в 8–10 раз больше, чем объем сбрасываемых вод. Разбавляют сточные очищенные воды речными, либо в водохранилищах. Если спуск осуществляется в нижний бьеф гидроузла, то из водохранилища производят специальные пуски. В некоторых случаях строятся специальные водохранилища.

При оборотной системе объемы сбрасываемых вод значительно меньше. Они образуются:

- при «продувке» системы, т. е. ее очистке для предупреждения застоя и поддержания в ней солевого баланса (для «освежения» воды);

- в том случае, если воды нецелесообразно или невозможно использовать повторно по технологическим или иным причинам.

Потребление свежей воды при оборотном водоснабжении значительно меньше, чем при прямоточном. Так, для выработки 1 т стали при оборотной системе необходимо забирать свежей воды в 10 раз меньше, чем при прямоточной; при выработке каучука – в 12 раз, медной руды – в 20 раз.

При повторной схеме водоотведение включает сбросные воды последнего звена, т. е. объем сбросных вод тем меньше, чем больше число звеньев. В некоторых случаях стока вообще может не быть – если после последнего звена образовавшиеся сточные воды уничтожаются, в том числе путем закачки в нефтяные пласты или сжигания.

В целом совершенствование технологии производства должно приводить к сокращению сбросных вод.

Таким образом, при оборотной, повторной и комбинированной системах водоснабжения потери объемы безвозвратного потребления больше, а объемы стоков меньше, чем при прямоточных системах.

Требования к качеству воды разнообразны и зависят от функции воды в производстве.

Названные ранее 6 функций воды можно объединить в 4 группы:

I – теплоноситель (это функции теплоносителя и охладителя);

II – среда (это растворение и транспортировка растворенных и нерастворенных компонентов);

III – сырье (т. е. вода, входящая в состав продукции);

IV – смешанное (комплексное) использование.

В каждой группе и в каждом конкретном производстве требования к качеству воды определяются требованиями технологического процесса.

Однако для всех функциональных групп использования воды имеются общие требования. Они состоят в следующем:

- вода, используемая для хозяйственно-питьевых нужд, работающих на производстве, должна отвечать требованиям к питьевой воде в коммунальном водоснабжении;

- вода, используемая для технологических нужд, должна быть безвредной для работающих на производстве и не обладать отрицательными органолептическими свойствами (особенно при открытых системах охлаждения);

- вода не должна оказывать коррозионного воздействия на аппаратуру, трубопроводы и сооружения;

- вода не должна выделять карбонатных отложений, так как они вызывают зарастание труб, образуют корки на стенках паровых котлов и резко снижают их КПД;

- вода не должна вызывать развитие биологических обрастаний;

- вода не должна снижать технико-экономические показатели производственного процесса и создавать аварийный режим.

От качества воды, используемой в производстве, зависит качество продукции и срок работы оборудования.

Наиболее высокие требования предъявляются к воде, служащей технологическим сырьем и входящей в состав продукции. Это вода III группы.

Требования к воде регламентируются техническими условиями отрасли или предприятия (ТУ).

В ряде отраслей требования к качеству воды выше, чем к питьевой воде. Так, при изготовлении фото- и киноплёнки, фотобумаги в воде не должно быть Fe, Mn, P (H₂SiO₃), ограничивается окисляемость воды (т. е. ΣОВ) и содержание хлоридов.

Пищевая промышленность предъявляет свои требования. Так, при производстве пива допускается лишь незначительное содержание

CaSO_4 . При производстве вина, молочных продуктов, консервов вода не должна содержать CaCl_2 и MgCl_2 , а в сахарном производстве легко разлагающихся ОБ, т. е. БПК должно быть низким.

В хлопчатобумажной промышленности ПО должна быть близка к 0, не должна иметь цветности, Fe – до 0,1 мг/л, должна быть высокая прозрачность.

Наименьшие требования предъявляются к воде, используемой как теплоноситель и для гидротранспорта, т. е. I и III группы. Она не должна содержать механических примесей более нормы и крупнее допустимых размеров, не должна вызывать коррозию металла, разрушение бетона, биологическое обрастание охладителей.

В паросиловом хозяйстве дополнительно к указанным требованиям вода не должна давать накипи и вспениваний. Образованию накипи в наибольшей мере способствуют соли, растворимость которых уменьшается с увеличением температуры – CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 , MgSiO_3 , CaSO_4 . Они образуют твердую накипь на стенках котлов. Натриевые соли – Na_2CO_3 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 , Na_3PO_4 , NaCl – осаждаются только из высококонцентрированных растворов, формируя накипь в виде рыхлого шлама. Вспенивание воды в котлах создает фосфаты, щелочи, смазочные масла, СПАВ. Кроме вспенивания, они загрязняют пар и отлагаются на лопатках турбин на ТЭЦ и ТЭС. Уменьшению вспенивания способствуют хлориды и сульфаты, так как они коагулируют коллоиды фосфатов, что способствует переводу последних в осадок.

Вода, используемая для охлаждения машинных агрегатов, должна иметь $t \leq 25\text{--}30^\circ\text{C}$. Обратная вода для этих целей охлаждается на градирнях или других сооружениях. Вода должна быть термостабильной. Это значит, что при многократном нагревании и охлаждении до первоначальной температуры она не должна выделять в теплообменных аппаратах, холодильниках и трубопроводах CaCO_3 и другие соли более 0,25 г/м² за 1 час или образовывать слой более 0,08 мм/ч.

При смешанном использовании воды (группа IV), она одновременно может быть транспортирующей, поглощающей, эпэтрагирующей (т. е. извлекающей) средой и служит теплоносителем (например, при очистке газов). Поэтому качество воды должно удовлетворять требованиям, предъявляемым к воде I–III категорий в зависимости от ее роли в комплексном процессе. Перед каждым циклом использования в системах оборотного водоснабжения вода перед повторным применением очищается от загрязнений и охлаждается.

Следует отметить, что термостабильность и коррозионность воды, используемой для охлаждения или обогащения продукта при их непо-

средственном соприкосновении, обуславливаются свойствами этого продукта. Поэтому в формировании свойств оборотной воды свойства и качество природной воды решающей роли не играют.

В целом качество воды, используемой как теплоноситель и среда, т. е. I и II групп, разделяется на 3 категории.

Первая категория – это вода, используемая как теплоноситель. Она имеет 3 вида требований в зависимости от температур охлаждения.

Вторая категория включает воду, используемую на обогатительных фабриках, при гидро- и золоудалении, т. е. воду без нагрева.

Третья категория – это вода, используемая для улавливания и чистки газов, гашения пожара, т. е. вода, работающая с нагревом.

Для доведения воды до необходимого качества применяются различные способы очистки. Наиболее простой способ – это удаление грубодисперсных примесей, взвешенных веществ и гумусовых соединений. Для удаления грубодисперсных веществ применяют отстойники, для взвешенных и органических – коагулирование и фильтрацию через песчаные фильтры, т. е. перевод взвесей в осадок и их осаждение на фильтрах.

Чтобы исключить биологическое обрастание трубопроводов и оборудования, воду периодически хлорируют, а охладители воды (градирни) обрабатывают CuSO_4 (медным купоросом).

Чтобы избежать коррозии металла и бетона, воду обрабатывают специальными ингибиторами, в первую очередь, поддерживают на определенном уровне pH. Кроме pH, показателями агрессивности воды к металлу является содержание хлоридов (Cl) и сульфатов (SO_4), температура, общее количество солей. С повышением концентрации растворенных солей более 1000 мг/л, Cl и SO_4 более 150 мг/л и снижением карбонатной жесткости менее 2 мг-экв/л, с увеличением температуры до 70 °С коррозия металла увеличивается. Поэтому термальные воды, в том числе засоленные, являются агрессивными. Там, где требуется добавка F, применяют фторирование (в воду добавляют NaF), при его избытке применяют серноокислотную обработку. Для обезжелезивания воды (т. е. перевод Fe^{2+} в Fe^{3+}) применяют аэрацию, затем коагуляцию, обработку KMnO_4 и др.

Для снижения жесткости вод применяют содовое умягчение, а для подземных вод (т. е. при большой жесткости) – ионный обмен, электролиз, дистилляцию, гиперфильтрацию.

Теплоэнергетика своими стоками вызывает главным образом термическое загрязнение водных объектов, частично – механическое.

При использовании воды в качестве среды технологических процессов она загрязняется в основном грубодисперсными взвешями. Наибольшее и разнообразнейшее химическое загрязнение вода получает при использовании в качестве сырья и растворителя. Смешанное использование обеспечивает разнообразное загрязнение.

Рациональное использование водных ресурсов в промышленности обеспечивается технико-экономическим обоснованием развития территории, которое включает:

- создание эффективной структуры производства основных видов продукции;
- сохранение природной среды;
- комплексного использования водных ресурсов.

Таким образом, понятие «рациональное использование водных ресурсов» шире, чем «комплексное использование водных ресурсов».

Факторы, свидетельствующие о рациональном использовании водных ресурсов промышленным предприятием:

- объем безводных технологий – это позволяет уменьшить потребление воды и уменьшить количество стоков;
- размещение производств, обеспечивающее последовательное многократное использование воды в технологическом процессе (позволяет сократить потребление свежей воды);
- уровень совершенства методов локальной очистки сточных вод (сокращает количество загрязнений в сточных водах);
- разделение водохозяйственной системы на группы локальных замкнутых систем технического водоснабжения с очисткой сточных вод в соответствии с требованиями оборотного водоснабжения;
- оптимизация процессов водообеспечения и водоочистки: распределение воды для технологических операций, регенерация отработанных растворов, извлечение из сточных вод ценных отходов, обезвреживание и утилизация осадков;
- полнота использования водных ресурсов, включающая применение сточных вод города и промышленных предприятий на сельскохозяйственных полях орошения (ЗПО) и других объектах.

Пути экономии воды в промышленности. Водосберегающие технологии являются основой рационального использования вод. Многообразие промышленного производства обуславливает и разнообразие водосберегающих мероприятий. Их общая задача – сократить удельный расход воды (на единицу выпускаемой продукции) и расход свежей воды.

Общая структура водосберегающих мероприятий представлена на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Структура водосберегающих мероприятий

Первоначальным этапом разработки рациональных систем водоснабжения промышленных предприятий является совершенствование маловодных технологий. Они разрабатываются в соответствии с функциями воды в производстве. Обратим внимание на то, что в промышленных технологиях 70 % воды используется в качестве хладагента (т. е. отводящего тепло), 15–20 % – в качестве экстрагента, 10–15 % – транспортирующего агента.

Замена водяного охлаждения воздушным, сухая очистка газов и воздуха, каскадные системы промывки, пневмосистемы транспортирования и другие технические решения позволяют сократить удельное водопотребление на 20–30 %.

Сокращение потребления свежей воды в результате ее многократного использования и привлечения сточных вод как способ экономии связан с определенными трудностями. Этот способ требует научных исследований, в частности, выявления закономерностей формирования их состава в результате смежных физико-химических процессов, про-

текающих в этих системах. Это позволит прогнозировать их состав, определять условия использования и способы очистки, а в конечном счете – разработать комплекс управления системой.

Необходимо интенсифицировать режим работы оборотных систем водоснабжения. Это может снизить потребление свежей воды и сброс отработанных вод на 5–6 км³/год. Но оборотные системы не являются экологически чистыми, поэтому при их создании необходимо учитывать не только техническую и экономическую стороны, но и экологическую.

Технический аспект заключается в предотвращении солевых и механических отложений, коррозии и биологических обрастаний до допустимых пределов – 0,1 мм/год.

Среди экологических аспектов важно учитывать вынос капельной влаги (из градирни) и сброс части оборотной воды из системы, а также утечки из систем. Количество загрязнений, выносимых из оборотной системы, зависит от режима ее работы. В экстремальных случаях происходит рассредоточенный вынос загрязнений в атмосферу с капельной влагой. Поэтому вынос капельной влаги и количества загрязнений регулируются соответствующими нормативами в зависимости от принятой схемы водоотведения.

Следует совмещать технологии, при которых в одних процессах тепло выделяется, а другими поглощается.

Также необходимо рационально использовать дополнительные источники водных ресурсов, а именно городские очищенные стоки, шахтные и карьерные воды.

Кардинальным решением экологической проблемы является создание беспроductивного режима работы оборотных систем и применение высокоэффективных водоуловителей на градирнях. Данная система водосбережения представляет собой теоретическую разработку, существенно отличающуюся от реальных условий. Фактическое водопользование все еще очень часто имеет экстенсивный характер. В каждую пятилетку потребление воды в промышленности возросло на 15 %. Безотходные и водосберегающие технологии имеются, но внедряются недостаточно. Но в конце XX в. эти технологии стали символом рационального использования водных ресурсов и бережного отношения к природе.

Влияние промышленности на других участников ВХК и окружающую среду. Промышленность требует надежности подачи воды, равной 95–97 % (по числу бесперебойных лет), которая базируется в

основном на использовании речного стока. Требуемую надежность может обеспечить только регулирование стока.

Требования промышленного водоснабжения к уровневому режиму водохранилищ комплексных гидроузлов аналогичны требованиям коммунально-бытового водоснабжения.

При использовании водохранилища для охлаждения теплых вод необходима большая площадь его зеркала, так как охлаждение происходит главным образом за счет испарения с водной поверхности. Ущерб сельскому хозяйству наносят термическое и частично механическое загрязнения.

В целом водохранилища используют для промышленного водоснабжения из обоих бьефов (в нижнем – за счет специальных конусов, для подпитки оборотного водоснабжения, охлаждения, разбавления сточных вод).

В результате качество воды в водохранилищах ухудшается. По экспертным оценкам, $\frac{2}{3}$ загрязняющих веществ попадают в них с промышленными стоками. Наибольший удельный вес имеют стоки нефтехимической, металлургической, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, что резко отрицательно влияет на остальных участников ВХК. Сложным является влияние теплых вод.

Положительное влияние состоит в удлинении периода навигации, улучшении условий для отдыха, рыбоводства, орошения.

Отрицательное влияние повышения температуры воды приводит к цветению воды в результате развития сине-зеленых водорослей, появлению туманов. Особенно это сказывается в южных районах, где температура и так высока. Для рыбы температура более 30 °С губительна. Поэтому температура воды в водохранилище в результате сброса сточных вод не должна превышать естественную более чем на 3 °С летом и 5 °С зимой.

В связи с этим очень важно оценить комплекс положительных и отрицательных влияний сброса и найти методы нейтрализации вредного воздуха и использования положительного.

Необходимо совершенствование очистных сооружений. Но далее очень большие затраты не обеспечивают охраны окружающей среды от негативного влияния промышленных стоков. Более перспективно уменьшение водоотведения.

Водопользование в сельском хозяйстве. Водопользование в сельском хозяйстве включает орошение, водоснабжение и обводнение земель. В водохозяйственный комплекс входят также системы осушения

переувлажненных и заболоченных угодий, сооружения сброса дренажных вод и другие коллекторно-дренажные сооружения.

Продуктивность земельных угодий в значительной мере зависит от их влагообеспеченности. Поэтому важнейшей задачей сельскохозяйственного водопользования в деле обеспечения высокой продуктивности сельскохозяйственных культур является поддержание влажности почвы в необходимых пределах на протяжении всего вегетационного периода.

Орошение и обводнение. Регулирование естественной влажности почвы осуществляется в результате реализации мелиоративных мероприятий. Главной задачей мелиорации земель является обеспечение устойчивости и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, повышение производительности труда и рост доходов предприятий. Мелиорация позволяет вовлекать в сельскохозяйственный оборот малопродуктивные и ранее неиспользованные земли, преобразуя их в высокопроизводительные сельскохозяйственные угодья.

Мелиорация – это совокупность организационно-хозяйственных и технических мероприятий по коренному улучшению земель с неблагоприятными водными и воздушными режимами, подвергшихся физическому действию ветра или воды. Внедрение мелиорации обеспечивает устойчивость урожаев и способствует рациональному и комплексному использованию водных и земельных ресурсов.

В отличие от агротехнических мероприятий (вспашка, боронование, борьба с сорняками и др.), действие которых, как правило, продолжается не более года и в течение этого времени окупается прибавкой урожая, действие мелиоративных мероприятий рассчитано на долгие годы. Построенная оросительная система в корне изменяет условия произрастания сельскохозяйственных культур на орошаемой территории, и ее действие продолжается десятилетия, пока узлы и сооружения находятся в исправном состоянии.

Оросительные мелиорации включают комплекс мероприятий по искусственному увлажнению почвы, осушительные – по удалению из почвы избытка влаги. Двойное регулирование влажности обеспечивает и искусственное увлажнение почвы, и удаление из нее избытка влаги.

Опреснительные мелиорации обеспечивают удаление из почвы избытка солей, вредных для сельскохозяйственных культур. Противозерозийные мелиорации предотвращают потери сельскохозяйственных угодий вследствие водной или ветровой эрозии.

Мелиоративные мероприятия, применяемые для улучшения земельных угодий, подразделяются на несколько видов:

- гидротехнические – оросительные, обводнительные или дренажные системы, плотины, водозаборные устройства, каналы;
- агротехнические – специальная обработка почвы (мелиоративная вспашка, профилирование, плантаж, а также применение правильных севооборотов, сроков и норм полива);
- химические – внесение в почву органических и минеральных удобрений, химических веществ (извести, гипса и др.), ядохимикатов;
- лесотехнические – полесозащитные лесополосы и противоэрозионные лесонасаждения, облесение и закрепление песков, оврагов, горных склонов и берегов рек, а также улучшение лесных угодий;
- рекультивационные – восстановление профиля и плодородия почв территорий, использованных ранее под карьеры, рудники, горные выработки, и возвращение их в сельское хозяйство;
- культурно-технические – удаление леса и кустарников, корчевка пней, удаление камней, планировка (выравнивание) поверхности и др.

Оросительные системы по времени действия или периодичности работы могут быть *регулярными* и *разового действия*. К первым относятся *самотечное, механическое и смешанное* орошение, ко вторым – *наводковое и лиманное*.

В состав сооружений *регулярного действия* с поверхностным способом орошения входят: источник орошения, головное водозаборное сооружение, магистральный канал и каналы второго, третьего и других порядков, оросительные борозды, водосборные каналы и сооружения на них. Выбор варианта решения и компоновка элементов системы производится с учетом природных условий на основе технико-экономического анализа, учитывающего методы производства работ и условия эксплуатации систем.

Оросительная система проектируется по следующей схеме (рис. 1.8): *магистральный*, или главный, самотечный канал, прокладываемый по наивысшим отметкам местности так, чтобы уровни в нем могли господствовать над всей орошаемой площадью, а вода могла самотеком поступать в каналы низших порядков; *распределительный* канал, проводимый по максимальному уклону местности и обслуживающий отдельные поля севооборота; *оросители* – временные земельные каналы, распределяющие воду через нарезные оросительные борозды внутри полей севооборота; *водосборные* каналы (или закрытые дрены) для удаления излишней воды.

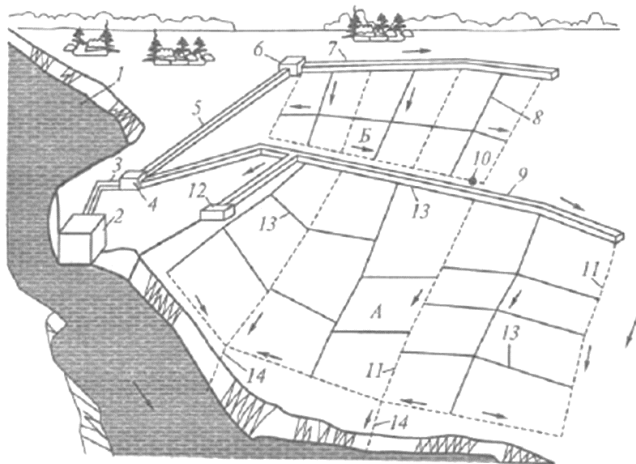


Рис. 1.8. Схема оросительной системы: *A* – зона самотечного орошения; *B* – зона машинного орошения; 1 – река; 2 – головное сооружение; 3 – холостая часть магистрального канала; 4 – насосная станина; 5 – напорный трубопровод; 6 – открытый бассейн; 7 – ветвь магистрального канала; 8 – межхозяйственное распределение; 9 – рабочая часть магистрального канала; 10 – дюкер; 11 – водоотводящие каналы; 12 – ГЭС; 13 – внутрихозяйственные распределители; 14 – сбросной канал

К сооружениям оросительной сети относятся: головной шлюз-регулятор открытого либо закрытого типа (рис. 1.9), подпорные или перегораживающие сооружения, сбросные (концевые) шлюзы.

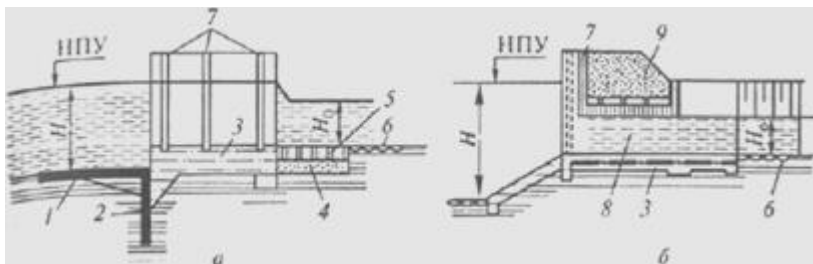


Рис. 1.9 Сооружения по оросительной сети: *a* – головной шлюз-регулятор открытого типа; *б* – трубчатый шлюз-регулятор закрытого типа; 1 – крепление понура; 2 – шпунт; 3 – водобойная часть; 4 – обратный фильтр; 5 – сквозной флотбет; 6 – крепление выходной части; 7 – пазы шандоров и затвора; 8 – труба; 9 – обратная засыпка; H – уровень воды перед сооружением; H_0 – уровень воды за сооружением

Осушение проводится на избыточно увлажненных землях сельскохозяйственных угодий и представляет собой комплекс мероприятий по искусственному удалению части поверхностных и подземных вод и понижению уровней грунтовых вод. Наиболее широко развито горизонтальное осушение земель.

При осушении сеть открытых каналов неглубокого заложения или закрытых дрен и труб собирает воду с осушаемой территории и отводит ее самотеком в водоприемник (рис. 1.10).

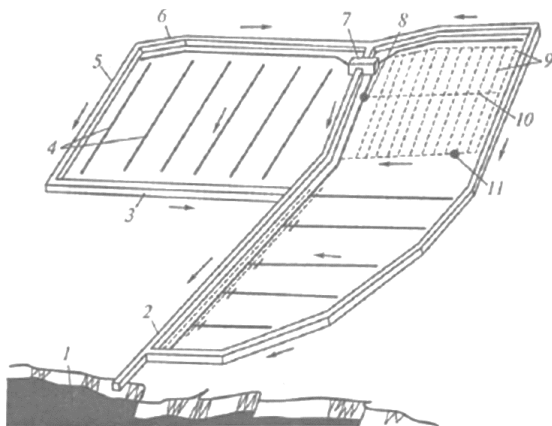


Рис. 1.10. Схема осушительной системы: 1 – водоприемник; 2 – магистральный канал; 3 – открытый коллектор; 4 – открытые осушители; 5 – нагорно-ловчий канал; 6 – полевая дорога; 7 – трубчатый переезд; 8 – устьевое сооружение; 9 – закрытые дрены; 10 – закрытый коллектор; 11 – смотровой колодец

В состав *осушительных систем* входят оградительные устройства: дамбы, нагорные и ловчие каналы, предупреждающие поступление поверхностных и грунтовых вод на осушаемую площадь; регулирующие сооружения – каналы из открытой сети (осушители и собиратели) и дрены – на закрытой сети, понижающие уровень грунтовых вод до проектной отметки; проводящие сооружения: открытые коллекторы, магистральный канал или трубопроводы (при закрытой сети), принимающие воду от оградительных устройств и регулирующих сооружений и отводящие ее к водоприемнику.

Водоприемники обычно располагаются в балках, оврагах и руслах реки.

Одним из способов, реализующих рациональное использование водных ресурсов, в осушении является создание польдерных осушительных систем в поймах рек, которые позволяют рационально использовать как поверхностные, так и грунтовые воды.

В то же время широкое применение различных способов обработки почвы, в том числе глубокое рыхление с окультуриванием подпочвенного слоя почвы и кротованием, а также внесением больших доз минеральных и органических удобрений, приводят к интенсификации выноса питательных веществ в водоприемник с последующим его загрязнением.

Поэтому осушительную мелиорацию как участника ВХК можно рассматривать в нескольких аспектах.

Во-первых, при осушении происходит сработка «вековых» запасов грунтовых вод и на некоторое время (до 7 лет) сток рек-водоприемников увеличивается. Расходы летней межени могут возрасти в 1,5–2 раза.

В то же время несколько уменьшается максимальный сток из-за создания в зоне аэрации некоторой емкости, способной вместить осадки и талые воды. Однако эти водные ресурсы не следует считать потерянными, так как они идут на транспирацию и участвуют в создании сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, осушение, трансформируя режим стока, влияет определенным образом на водные ресурсы.

Во-вторых, в зоне неустойчивого увлажнения осушаемые земли необходимо в засушливые периоды увлажнять с помощью подъема грунтовых вод или орошения дождеванием. Это переводит осушительные системы в категорию осушительно-увлажнительных или оросительных и делает их в составе ВХК водопотребителями.

В-третьих, интенсивные способы земледелия, глубокое рыхление, кротование, а также значительные дозы внесения минеральных удобрений превращают осушительные системы в источник загрязнения рек-водоприемников, так как водоотведение может составить 30–50 % водоподачи (осадки + оросительные нормы).

В-четвертых, осушение земель с грунтовым типом водного питания приводит к понижению уровня грунтовых вод не только на осушаемой территории, но и на прилегающих землях. Таким образом, осушение влияет на экологию сопряженных биоценозов. Для комплексного решения водохозяйственных проблем при осушительных мелиорациях необходимо:

– создавать системы, позволяющие осуществлять регулирование стока с осушаемых территорий. Для этого осушительные каналы и дрены должны иметь устройства, прекращающие сброс дренажных вод в засушливые периоды вегетации. В ряде случаев осушительную сеть можно использовать для ускорения подачи воды в почву;

– более эффективно использовать местные водные ресурсы за счет создания водохранилищ и прудов, собирающих дренажный и местный поверхностный сток для использования его на увлажнение, водоснабжение, рыбоводство, здравоохранение и отдых;

– при мелиорации пойменных земель регулирование водоприемников проводить осматрительно, учитывая, что возможны переосушка территории и уменьшение общей водности речного бассейна. Шире использовать польдерное осушение, включающее систему защитных дамб, каналов, дрен и насосных станций, предназначенных для откачки воды с обвалованной территории. Точное регулирование уровня грунтовых вод на таких системах предотвращает переосушку и способствует увеличению водности речного бассейна;

– создавать мелиоративные системы комплексного регулирования водного, питательного и теплового режимов, позволяющие в 1,5–2 раза увеличивать продуктивность осушаемых земель и повышать эффективность использования оросительной воды;

– осуществлять оборотное использование дренажного стока для орошения осушаемых земель и в целях предотвращения загрязнения окружающей среды;

– снижать отрицательное влияние осушительных систем на прилегающие территории;

– использовать водохранилища и озера на осушаемых землях для рыбоводства.

Для успешного произрастания каждое растение должно получать определенное количество воды, тепла, света и элементов питания. Регулирование количества тепла и света пока практически не достигнуто современной агротехникой, и задача земледелия состоит в регулировании водного и питательного режимов растений путем современных поливов и внесения удобрений. Урожай на орошаемых землях выше и лучшего качества, чем на неорошаемых.

Количество воды, потребляемое за вегетационный период, определяется по формуле

$$E = K_b U, \quad (1.16)$$

где E – транспирация (потребление воды данным видом растения), м^3 ;

K_v – коэффициент водопотребления, $\text{м}^3/\text{ц}$;

U – урожай культуры, ц/га .

Числовое значение K_v зависит от вида культуры, климатических факторов, типа почв, урожайности. Например, значения K_v для пшеницы составляет 40–180 $\text{м}^3/\text{ц}$; кукурузы – 60–150 $\text{м}^3/\text{ц}$; сахарной свеклы – 5–30 $\text{м}^3/\text{ц}$; риса – 70 $\text{м}^3/\text{ц}$. Увеличение подачи воды приводит к повышению урожайности до известного предела, после которого наблюдается обратное явление.

Количество воды, которое необходимо подать на орошаемую территорию за весь вегетационный период, называют *оросительной нормой*. Оросительная норма соответствует разности между оптимальным водопотреблением возделываемых культур и естественным увлажнением почвы и зависит от природных условий района орошения.

Оросительная норма без учета потерь q_0 определяется выражением

$$q_0 = E - O - \Delta Q + И, \quad (1.17)$$

где O – осадки;

ΔQ – запасы воды в почве;

$И$ – испарение.

На практике забор воды на орошение существенно превышает оросительную норму, так как при транспортировке воды часть ее теряется на фильтрацию, испарение, утечки. С учетом этих потерь оросительная норма q_n должна быть увеличена исходя из вышеперечисленных факторов:

$$q_n = \frac{q_0 k}{\eta}, \quad (1.18)$$

где k – коэффициент, учитывающий потери воды на испарение, $k = 1,05\text{--}1,30$;

η – КПД оросительной сети ($\eta = 0,7\text{--}0,9$ для каналов в земляном русле и $\eta = 0,95\text{--}0,98$ у лотков и трубопроводов).

Оросительная норма делится на несколько поливов для обеспечения необходимого увлажнения пахотного горизонта (активного слоя) почвы. Поэтому оросительную норму подразделяют на несколько поливных норм, объем которых зависит от водно-физических характеристик почвы, особенностей орошаемой культуры и способа полива. Число поливов и их сроки зависят от орошаемой культуры, способа орошения и природных условий.

Орошение сточными водами. Для удовлетворения потребностей населения и сельского производства в условиях дефицита природной воды можно использовать хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды после предварительного их обезвреживания.

Использование сточных вод в земледелии позволяет увлажнить и удобрить почву, а следовательно, поднять продуктивность сельского хозяйства. Применяют сточные воды для орошения после соответствующей обработки, позволяющей сократить содержание в них патогенных бактерий, вирусов и яиц гельминтов. При орошении происходит почвенная очистка сточных вод, эффективность которой зависит от вида грунтов, характера рельефа местности, уровня грунтовых вод, количества атмосферных осадков, продолжительности вегетационного периода и т. п. Для орошения могут быть использованы также стоки пищевой промышленности: сахарных, крахмальных, дрожжевых, пивоваренных заводов.

Земледельческие поля орошения – это специализированная мелиоративная система для приема предварительно очищенных сточных вод, используемых для орошения и удобрения сельскохозяйственных угодий, а также доочистки стоков в естественных условиях.

Устройство ЗПО возможно при следующих почвенно-климатических условиях: хорошая фильтрационная способность грунтов – песков, супесей, легких суглинков; спокойный, или слабовыраженный, рельеф местности с уклоном до 0,02–0,03; уровень грунтовых вод на глубине более 1,5 м от поверхности земли; длительный вегетационный период развития растений и небольшое количество осадков (около 200–300 мм).

Использование сточных вод в ЗПО позволяет:

- обеспечить разрушение органических веществ в стоках путем минерализации или гумификации;
- освободить стоки от патогенных бактерий, вирусов и яиц гельминтов путем их поглощения и дальнейшего отмирания под влиянием естественных факторов самоочищения в фильтрующем слое почвы;
- предотвратить накопление химических веществ в почве до предела, определяющего ухудшение процессов самоочищения почв и процессов, снижающих урожайность;
- устранить загрязнение грунтовых вод химическими веществами и патогенными бактериями;
- предупредить загрязнение почвенного и атмосферного воздуха.

Все это достигается правильным подбором гидравлической нагрузки стоков на почву.

Наилучший вариант структурной схемы ЗПО определяют следующие факторы:

- природные условия (климат, рельеф, гидрогеология, почва, водный баланс и т. п.);
- хозяйственная деятельность (состояние и перспектива развития сельского хозяйства, наличие рабочей силы и опыта орошения и т. п.);
- характеристика сточных вод (объем, состав, режим подачи, влияние сброса сточных вод на водные объекты и т. п.);
- сведения о комплексном использовании водных ресурсов (состав водопользования, объемы водопотребления и водоотведения, прогнозы качества воды, наличие регистрационных и санитарных зон, заинтересованность водопользователей в совместном использовании сточных вод).

Земледельческие поля орошения бывают трех видов:

- для приема стоков и орошения в течение всего года (почвогрунты с высоким коэффициентом фильтрации);
- для приема и аккумуляции стоков с орошением только в вегетационный период;
- для приема стоков и орошения только в вегетационный период.

На практике применяют различные схемы ЗПО и их сочетания. При этом компоновка сооружений системы орошения должна отвечать требованиям комплексного использования водных ресурсов при наименьших приведенных затратах. Основные схемы ЗПО представлены на рис. 1.11.

На таких землях регламентируется возможность возделывания технических, кормовых культур, а также древесно-кустарниковых насаждений.

Введение в севообороты многолетних трав, организация культурных пастбищ позволяют равномерно использовать стоки в течение года, увеличивать саморегулирующую способность и плодородие почвы. Запрещается использовать в ЗПО стоки промышленных предприятий по переработке сырья животного происхождения, инфекционных больниц, боен, ветеринарных лечебниц.

На ЗПО рекомендуются определенные циклы орошения. Например, на пастбищах межполевые периоды составляют 8–14 дней; перед уборкой – 15–30 дней; перед выпасом скота – 20 дней.

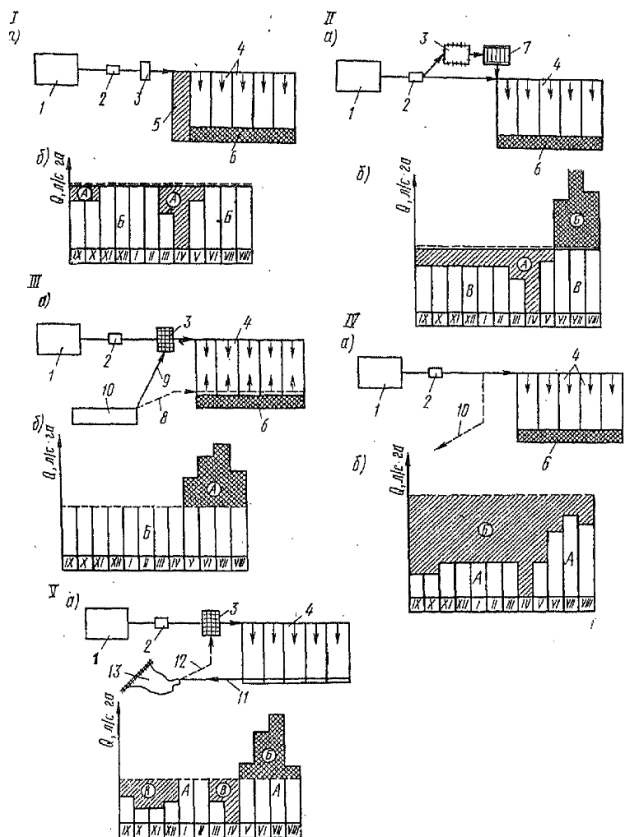


Рис. 1.11. Схема земельных полей орошения: I–V – вид схемы; а – компоновка сооружений; б – график водопользования; 1 – объект системы водоотведения; 2 – очистные сооружения; 3 – аккумулирующая емкость; 4 – основные севооборотные участки; 5 – регулирующая емкость для восприятия избытков стоков (почва хорошей фильтрации); 6 – буферные площадки для ливневых и паводковых вод (3–5 % от общей площади); 7 – воды для дополнительного орошения; 8 – биологический пруд; 9 – свежая вода для разбавления сточных вод; 10 – подача сточных вод другим потребителям; 11 – поверхностно-коллекторно-дренажные воды; 12 – подача воды для повторного использования; 13 – пруд-накопитель; I А – подача воды на резервный участок 5; Б – подача воды на основные севооборотные участки 4; II А – аккумулятирование воды в прудах-накопителях; Б – подача воды из прудов; В – подача воды из очистных сооружений; III А – подача воды из очистного сооружения; Б – дополнительная подача воды; IV А – подача воды на ЗПО; Б – подача воды другим водопотребителям; V А – подача воды на ЗПО из очистного сооружения; Б – подача воды на ЗПО из буферного пруда; В – поступление коллекторно-дренажных вод в буферный пруд

При устройстве и эксплуатации ЗПО необходимо выполнять требования по охране природы и соблюдать санитарно-гигиенические правила. Земледельческие поля орошения располагают в местах, удаленных более чем на 2 км от берегов водоема рыбохозяйственного назначения (для ценных рыб ширина зоны может быть увеличена). При отведении дренажных вод регламентируется ПДК биогенных веществ, удобрений и ядохимикатов. Условия санитарной безопасности соблюдаются в процессе орошения и водоотведения коллекторно-дренажных стоков.

Орошение теплыми водами. Теплые воды используют для орошения полей, создания требуемого температурного режима в теплицах, а также для обогрева зданий животноводческих комплексов. Вода из водохранилищ – охладителей энергетических объектов – забирается из верхних слоев (температура их на 8–15 °С выше температуры природных слоев). Теплые воды имеют заметное положительное влияние на урожайность при их подаче в весенний и осенний периоды. Орошение теплыми водами интенсифицирует микробиологические процессы в почве.

Внедрение новых высокопроизводительных машин, механизмов и поливной техники, высокоэффективных способов орошения с использованием систем автоматики и телеуправления позволит значительно повысить эффективность сельского хозяйства в зонах с неблагоприятным климатом.

Существуют различные способы полива земель: поверхностный (самотечный), дождевание и подпочвенное орошение.

Поверхностное орошение – наиболее распространенный способ увлажнения почвы. При этом методе полива вода самотеком распределяется по поверхности почвы и впитывается в нее. На ровных и спланированных площадях культур осуществляют полив по бороздам, с наполнением борозды $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{3}$ ее глубины. Для орошения трав и зерновых культур, высеваемых узкорядным или перекрестным способом, применяют полив напуском по полосам. Поливные полосы шириной 3,5 м ограничивают невысокими земляными валиками. Поверхностное орошение является древним видом и имеет следующие недостатки: неравномерное увлажнение поверхности (по длине); возможность размыва почвы; большая инфильтрация; чрезмерное испарение влаги; большое количество воды, просачиваемой в грунт, и подъем уровня подземных вод; засоление почв.

Дождевание является более совершенным видом орошения, при котором создается равномерный по площади искусственный дождь.

Дождевание обеспечивает более равномерное увлажнение почвы, резко сокращает поливные нормы (соответственно непроизводительные расходы воды) и позволяет дозировать объемы полива. Это удобно для предпосевных и освежающих поливов. Большая теплоемкость капельной воды способна повышать температуру воздуха во время заморозков, предохраняя от них посевы. При дождевании нередко вносят в почву удобрения. Для подачи и распределения капельных водных струй применяют коротко-, средне- и длинноструйные дождевальные машины.

Технология полива зависит от природных условий, способа полива, требований агротехники и рода культур. Для рационального использования водных ресурсов при орошении рекомендуется увязывать графики полива.

Подпочвенное орошение осуществляется подачей воды в проложенные в земле (на глубине 0,4–0,5 м) трубы или специальные ходы – кротовины. При этом вода поступает непосредственно в корневую систему без потерь. Эти системы орошения прогрессивны, но дорогостоящи. Дождевание и подпочвенное орошение сочетают с капельным.

Капельное орошение осуществляют путем подачи воды к растению по трубкам малого диаметра (0,5–2 см) через капельницы. Вода через специальные фильтры по пластмассовым трубам с наконечниками-капельницами распределяется по орошаемому участку непосредственно под корневую систему растений. Специальный механизм так регулирует подачу воды, чтобы свести к минимуму потери воды на испарение и таким образом сократить расход воды. Метод капельного орошения используют для полива садов и виноградников.

В условиях засухи (при высоких температурах и низкой влажности воздуха) наблюдается увядание растений даже при увлажнении почвы. Это происходит из-за превалирования процесса транспирации воды растениями над ее поглощением корневой системой. В таких случаях используют мелкодисперсное дождевание (создание очень мелкого дождя, почти тумана). Такое орошение служит средством защиты растений от вредного воздействия чрезмерно сухой атмосферы. Эффективность действия удобрений и химических средств защиты растений повышается при распределении их с поливной водой. Высокий технический уровень современных оросительных систем позволяет оперативно внедрять эффективные ресурсо- и энергосберегающие технологии распределения удобрений и химических средств защиты растений, а также химических мелиорантов с поливной водой, используя для

этих целей автоматизированные многоопорные дождевальные машины. Эти технологии хорошо сочетаются с почвозащитными приемами возделывания почвы, позволяют исключить отдельные операции по распределению удобрений, химических средств защиты растений и химических мелиорантов на орошаемых землях.

Удобрительное орошение обеспечивает растения питательными веществами в те фазы развития, когда они наиболее чувствительны к их недостатку. Использование современных машин позволяет оперативно и с большой точностью выдавать требуемое количество воды и питательных веществ, направленно управлять ростом и развитием растений. Увеличение урожая от совместного влияния воды и питательных веществ превышает сумму прибавок от раздельного действия этих факторов. Комплекс растворенных элементов питания, подаваемый в виде подкормок, стимулирует транспирацию, поглощение элементов питания и другие физиологические процессы в растениях, благодаря чему более эффективно используется вода, подаваемая на орошение.

Пути повышения эффективности орошения. Одна из важнейших проблем орошаемого земледелия – экономия воды, борьба с ее непроизводительными расходами и потерями. Нерациональный расход воды нередко происходит из-за несовершенства ирригационных систем, построенных без водорегулирующих устройств и водоизмерительных приборов, без коллекторно-дренажной сети. Такие оросительные системы подлежат реконструкции для рационализации структуры посевов и оросительных норм, а также снижения всех видов потерь воды.

В первую очередь необходимо снижение потерь воды на испарение и фильтрацию во время транспортировки ее от источников к орошаемым площадям и во время полива. Для этого переходят от каналов в земляном русле к каналам, облицованным водонепроницаемыми материалами, и к закрытой оросительной сети. Экономия воды может дать распространение подпочвенных аэрозольных и капельных способов орошения, а также внедрение рациональных поливных норм и составление тщательно увязанных графиков полива с учетом агротехнических планов водопользования и обработки почвы.

При дождевании и поверхностных способах полива нередко наблюдаются разрушение и смыв почвы на орошаемой территории, т. е. ирригационная эрозия. Для предотвращения этого явления рекомендуется проводить предполивное рыхление. В засушливых районах одной из важнейших проблем является борьба с вторичным засолением земель. При больших нормах полива происходит подъем уровня

засоленных грунтовых вод, влагоиспарение и образование соли. Такое засоление называют вторичным. При содержании солей в почве свыше 0,3 % массы сухой почвы начинается угнетение растений.

Требования водных рекреаций к состоянию водных ресурсов.

Важной областью водопользования является организация отдыха и укрепление здоровья населения. Большую часть рекреационных сооружений располагают либо непосредственно на берегах водоемов, либо вблизи них. Водоемы – центры отдыха населения многих городов страны. На отдаленных от города водоемах организуют длительный отдых, лечение, спортивное рыболовство. Схема размещения зон рекреации показана на рис. 1.12.

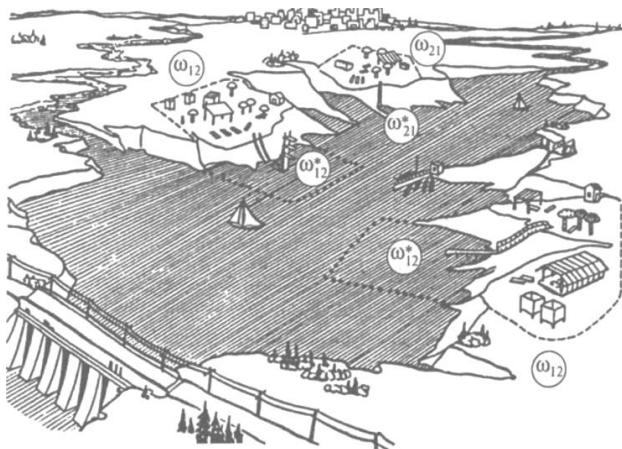


Рис. 1.12. Схема размещения зон рекреации на водохранилище:
 ω – зона отдыха на берегу; ω^* – зона отдыха на воде

Площадь территории рекреации A равна, м^2

$$A = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^q \omega_{ik} + \sum_{j=1}^l \omega_{ij}^* \right), \quad (1.19)$$

где ω_{ik} , ω_{ij}^* – зоны отдыха соответственно на берегу и на воде;

i – виды отдыха, которых в общем случае может быть n ;

q , l – прибрежная территория и акватория с наибольшим числом зон отдыха.

Обозначив удельную допустимую нагрузку в пределах зоны рекреации через α для суши и α^* для водной поверхности, можно определить суммарную нагрузку рекреационной системы W по формуле

$$W = \sum_{i=1}^q \left(\sum_{k=1}^q \alpha_{ik} \omega_{ik} + \sum_{j=1}^l \alpha_{ij}^* \omega_{ij}^* \right). \quad (1.20)$$

Величины α и α^* еще не имеют типовых нормативных значений. Параметры A и W выбирают на основе технико-экономического анализа при сопоставлении вариантов. Критерием оптимальности проектных решений при этом может выступать наибольшее значение рекреационного потенциала при наименьших приведенных затратах. Освоение вновь созданных объектов рекреации – длительный процесс, поэтому в расчетах необходимо учитывать фактор времени и оперировать динамическими приведенными затратами.

Рекреационные водные объекты характеризуются следующими свойствами: тип ландшафта; форма, глубина и площадь водоема, уклон берегов, наличие пляжей; богатство водной фауны, тип прибрежной растительности; температура воды, продолжительность комфортных дней; качество воды, чистота прибрежной территории; наличие природных и исторических памятников; удаленность от крупных городов, обеспеченность транспортом и подъездными путями.

Для оценки уровня рекреационного потенциала объекта используют комплексный показатель качества k , вычисляемый методом средневзвешенного числа

$$k = \sum_{i=1}^n k_i \alpha_i, \quad (1.21)$$

где k_i – показатель i -го свойства объекта, баллов;

α_i – коэффициент весомости показателей k_i , доли единицы ($\sum \alpha_i = 1$).

Из формулы (1.21) следует, что k характеризует n различных свойств водного объекта, используемого в рекреационных целях. Оценка рекреационных свойств водного объекта в баллах (по пятибалльной системе) и отвечающие им коэффициенты весомости приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8. Оценка рекреационных свойств объекта для массового отдыха

Свойство	Количественная характеристика параметра k_i , баллов					α_i
	1	2	3	4	5	
Дно водоема	Илисто-торфяное	Глинистое	Каменистое	Гравийное	Песчаное	0,12
Ширина мелководья, м	50	40	30	20	10	0,08
Качество воды	С видимыми следами загрязнений	С содержанием запахов и взвеси сверх нормы	В пределах нормы	В пределах норм для питьевого водоснабжения	Исключительно чистые водоемы с ключевым питанием	0,15
Площадь прибрежной культурной зоны, м ² /чел.	17	18	19	20	21	0,15
Водная фауна	Бедный вид и малоценный состав	Ихтиопродуктивность 5–15 кг/га	Промысловый вид продуктивностью 30 кг/га	Рациональный состав ихтиофауны	Ценные виды рыб	0,10
Прибрежная растительность	Болотистая с редким кустарником	Мелколесье и еловые леса	Луговая растительность	Смешанный лес	Светлые сосновые леса	0,12
Эстетика ландшафтов	Слабая выразительность рельефа	Однообразный ландшафт	Выразительный ландшафт	Живописные виды ландшафта	Яркие многоплановые виды ландшафта	0,08
Площадь акватории, м ² /чел.	<50	60	70	80	90	0,10
Историко-культурные памятники	Отсутствие достопримечательностей	Рядовые памятники	Более значительные памятники	Памятники большой художественной ценности	Памятники, охраняемые законом	0,05
Уровень благоустройства	Незначительное благоустройство	Дополнительное благоустройство пляжей	Дополнительные пункты питания	Ночлег	Капитальные сооружения	0,05

При использовании водоемов для отдыха должны выполняться высокие требования к качеству воды и определенные требования к режиму водоемов. Особенно это важно в бассейнах и водоемах, предназначенных для купания и спортивного рыболовства. Поэтому организованные места массового отдыха на воде включают в зоны санитарной охраны. Водо- и грязелечебницы и санатории расходуют на одного больного 400–500 л/сут воды, а иногда до 800 л/сут. В плавательных бассейнах (в закрытых помещениях) расходуется на одного человека в сутки до 100 л воды с учетом приема душа, а на стадионах и в спортзалах – до 50 л. При проектировании спортивных комплексов предусматривают расход воды на нужды зрителей из расчета 3 л/сут.

Районы купания и рыболовства должны отличаться высоким качеством воды. Поэтому вблизи зон отдыха недопустим выпуск промышленных стоков или сточных вод, а прибрежные полосы и дно водоемов следует периодически чистить. Для таких видов спорта, как гребля, парусный спорт, водные лыжи, качество воды не играет решающей роли, но, поскольку они обычно сочетаются с купанием, к качеству воды и в этих случаях предъявляют высокие требования. В ряде мест использование моторных лодок и катеров в целях охраны водоемов и водотоков от загрязнения горючими смазочными веществами и от переработки берегов волной резко ограничено, особенно на малых реках.

Все зоны отдыха, включающие прибрежные полосы и акватории, должны находиться под постоянным контролем и наблюдением; на их территории исключается всякое строительство. Эффективность этого вида водопользования далеко не всегда может быть оценена простым экономическим эффектом, так как оно служит прежде всего для удовлетворения социальных потребностей населения. Всякая территориальная рекреационная система должна быть управляемой. Умелое и комплексное управление развитием объектов рекреации сохраняют природные ресурсы от истощения и загрязнения.

При проектировании раздел водных рекреаций охватывает разработку предложений по охране атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, растительного и животного мира. Создание нормальных условий для функционирования водных рекреаций неразделимо с улучшением санитарно-гигиенических и санитарно-эпидемиологических условий, обогащением ландшафта и других факторов, способствующих сохранению экологического равновесия и развитию экономики. Для решения этих задач следует проанализировать состояние

окружающей среды (характеристика современного состояния, выявление имеющихся диспропорций и недостатков) с учетом имеющихся промышленных и хозяйственных ресурсов. Для получения экологической характеристики территории, занятой водной рекреацией, следует рассмотреть следующие вопросы: состояние окружающей среды в результате воздействия на нее системы хозяйства, природопользования, расселения и использования территории; сопоставление антропогенных нагрузок и их влияние на природную среду (плотность населения, уровень развития промышленного и сельскохозяйственного производства, степень токсичности промышленности и сельского хозяйства и т. д.).

При развитии промышленного и гражданского строительства необходимо знать *демографическую емкость* района. Демографическая емкость района рассчитывается, когда перспективная плотность населения превышает 50–60 чел/км². Частичная демографическая емкость по наличию территорий, пригодных для промышленного и гражданского строительства E_1 (чел.), рассчитывается по формуле

$$E_1 = \frac{A_1}{A_0}, \quad (1.22)$$

где A_1 – территории, получившие наивысшую оценку, га;

A_0 – потребность жителя в территории в зависимости от характера производственной базы района, составляющая 20–30 га.

Частная демографическая емкость территории по *поверхностным водам* E_2 составляет:

$$E_2 = \frac{Q}{\sum B_n k}, \quad (1.23)$$

где Q – сумма расхода воды в водотоках при входе в район, м³/сут;

B_n – нормативная водообеспеченность одного жителя, м³/сут;

k – коэффициент, учитывающий необходимость разбавления сточных вод.

Частная демографическая емкость территории по *подземным водам* E_3 составляет

$$E_3 = \frac{\sum \Delta A}{B_n}, \quad (1.24)$$

где Δ – эксплуатационный модуль подземного стока, м³/(сут · га);

A – территория района, га;

B_n – нормативная водообеспеченность одного жителя, $B_n = 0,40 \text{ м}^3/\text{сут.}$

При определении демографической емкости территории по наличию рекреационных ресурсов ориентировочно принимают: численность отдыхающих в «пиковый» период составляет 40 % населения района, которое распределяется следующим образом: в лесу – 75, у воды – 25. Таким образом, частная демографическая емкость территории по условиям организации отдыха в лесу E_4 равна

$$E_4 = A \cdot 10,5 \left[\frac{1000}{100NM} \right], \quad (1.25)$$

где L – лесистость района, %;

0,5 – коэффициент, учитывающий необходимость организации зеленых зон городов;

N – ориентировочный норматив потребности 1000 жителей в рекреационных территориях (при средней допустимой рекреационной нагрузке 5 чел/га леса этот норматив составляет 2 км², в других случаях он будет иным);

M – коэффициент, учитывающий распределение отдыхающих в лесу и у воды, $M = 0,1-0,3$.

По условиям организации отдыха у воды частная демографическая емкость территории равна

$$E_2 = \frac{Lc}{0,5M_1}, \quad (1.26)$$

где L – длина водотоков, пригодных для купания, м;

c – коэффициент, учитывающий возможность организации пляжей, $c = 0,3-0,5$;

0,5 – ориентировочный норматив потребности одного жителя в пляжах, м;

M_1 – коэффициент, учитывающий распределение отдыхающих в лесу и у воды $M_1 = 0,1-0,4$.

Частичные демографические емкости района (по территории, воде, рекреационным ресурсам, пригородной сельскохозяйственной базе) следует сопоставить между собой и в качестве окончательного показателя демографической емкости территории района принять наименьшее значение.

Репродуктивная способность водных ресурсов (поверхностных вод) определяется на основе модуля поверхностного стока данного участка территории и коэффициента, учитывающего неравномерность стока в зависимости от лесистости, вертикальной и горизонтальной расчлененности территории и из соотношения в районе участков с различным модулем поверхностного стока. Репродуктивность территории по воде Π (м^3) равна

$$\Pi = \sum_{i=1}^n A_{\text{в}} \lambda k_2, \quad (1.27)$$

где $A_{\text{в}}$ – территория, занимаемая участками с данным модулем поверхностного стока, га;

λ – модуль поверхностного стока данного участка, $\text{л}/\text{м}^2$;

k_2 – коэффициент неравномерности, в зависимости от конкретных условий может быть принят 0,1–1,0.

Применительно к подземным водам определение репродуктивности территории производится аналогично, с учетом коэффициентов фильтрации и возможного отбора воды из подземных источников.

Влияние рекреации на других участников ВХК. На водохранилищах комплексных гидроузлов возникают противоречия между рекреацией и другими участниками водохозяйственного комплекса.

Основное отрицательное влияние рекреационного использования водохранилищ заключается в загрязнении водоемов при купании, водном туризме, от моторных лодок и катеров. Поэтому запрещается рекреационное использование водохранилищ в зонах, примыкающих к водозаборам хозяйственно-питьевого назначения. К таким зонам относятся также акватории, используемые для рыборазведения, и заповедные участки.

В свою очередь, на рекреацию отрицательно влияют промышленное и коммунально-бытовое водоснабжение, водный транспорт, которые загрязняют водные ресурсы при сбросе сточных вод, а также гидроэнергетика, в интересах которой проводится суточное регулирование стока, вызывающее резкие колебания уровней воды. Согласование требований к водохранилищам со стороны участников ВХК проводится с учетом достижения максимального народнохозяйственного эффекта и удовлетворения социальных потребностей.

Водный транспорт и лесосплав и их влияние на водные ресурсы.

Внутренние водные пути подразделяют на естественные и искусственные. *Естественные водные пути* – свободные реки и озера, *искусственные* – каналы, водохранилища и реки, режим которых существенно изменен возведением гидротехнических сооружений.

Речной транспорт использует главным образом естественные водные пути. Наряду с этим используются водохранилища, каналы, шлюзовые участки рек. Регулирование стока и аккумуляция воды создают благоприятные условия для работы водного транспорта в верхнем бьефе водохранилища: обеспечивают гарантированные судоходные глубины (не менее 3,2 м), сокращают длину и увеличивают ширину судового хода, позволяют использовать крупнотоннажные суда, увеличивают грузооборот.

Гарантированные глубины для бесперебойной работы водного транспорта в нижнем бьефе на меженьный период создаются навигационными попусками.

Рост перевозок обеспечивается за счет применения быстроходных грузовых судов, использования судов большой осадки и большого водоизмещения.

Для плавания речных судов выполняются работы по обеспечению необходимых глубин, возведению речных портов и причалов, строительству шлюзов или судоподъемников. Решение этих задач достигается различными путями (например, для обеспечения необходимых глубин проводят дноуглубительные работы или строят водоподпорную плотину и шлюз).

Пассажирские перевозки осуществляются на местных, скоростных линиях, где используются быстроходные суда на подводных крыльях. Речной пассажирский флот широко используется в организации водного туризма и отдыха, что определяет его высокие комфортные данные.

На реках с гидроузлами вода расходуется не только на поддержание необходимых судоходных глубин, но и шлюзование судов. Масштабы водопотребления на шлюзование зависят от размера шлюзовых камер и от числа шлюзований в сутки. При дефиците воды целесообразно проведение встречных шлюзований, которые позволяют экономить на этой операции до 20–30 % расхода воды.

Различают *магистральные* речные пути (в том числе пути, обеспечивающие межгосударственные перевозки), *межрайонные* и *местные*, обеспечивающие перевозку грузов и пассажиров внутри района.

Научно-технический прогресс позволил существенно расширить возможности водного транспорта. Использование судов на подводных крыльях и на воздушной подушке позволяет преодолеть мелководье и ликвидирует самый существенный недостаток водного транспорта – малые скорости. В настоящее время суда такого типа с успехом используют для пассажирского сообщения, в том числе для внутрирайонных перевозок по малым рекам.

Исследования показывают, что водный транспорт способен конкурировать с другими видами транспорта. На реках навигация осуществляется при глубинах, определяемых бытовыми расходами. По маловодному периоду оценивается глубина допускаемой осадки судов. Увеличение минимальных глубин возможно за счет углубления дна или удаления порогов на отдельных участках русла рек. Это позволяет повысить допустимую осадку судов, их водоизмещение и, как следствие, уменьшить необходимое число судов, обеспечивающих заданный грузооборот.

Оптимальную для судоходства глубину определяют на основании расчетов. Для безопасного движения судов необходим достаточный слой воды, килевой запас глубины, расположенный между днищем судна в месте его наибольшей осадки и дном реки.

Минимальная судоходная глубина S (м) определяется выражением

$$S = \Delta S_{\max} + \Delta S_{\min} + \Delta S_0 + \Delta S_B, \quad (1.28)$$

где $\Delta S_{\max}$ – максимальная осадка судна при нулевой скорости (на остановке);

$\Delta S_{\min}$ – минимальный килевой запас под днищем судна;

ΔS_0 – увеличение осадки судна при движении;

ΔS_B – запас глубины на волну.

Минимальный запас под днищем судна $\Delta S_{\min}$ в зависимости от характеристики грунта принимают для мягких грунтов 0,1 м. Увеличение осадки судна при движении, связанное с расположением движителей в кормовой части, составляет $0,035V_0$ (V_0 – максимальная скорость движения судна), т. е. примерно 0,1 м при скорости движения 10 км/ч. Запас глубины на волну ΔS_B принимают равным $0,3h_B$, в том числе, если

$$0,3h_B - \Delta S > 0, \quad (1.29)$$

где h_B – высота волны, м.

Сравнивая несколько полученных значений глубины, выбирают то, при котором затраты будут минимальны.

Увеличение грузооборота в водном транспорте связано с применением судов, имеющих большую скорость хода и большее водоизмещение. Однако увеличение водоизмещения приводит к более низкой осадке судна. Это сопряжено с необходимостью искусственного повышения судоходных глубин либо путем проведения дноуглубительных работ, либо шлюзованием данного участка реки.

Сооружениями речного порта являются его причалы для погрузочно-разгрузочных операций. Основными факторами, определяющими эксплуатационные качества и пропускную способность порта, являются конструкция, расположение, оборудование, класс капитальности, общая длина причала.

Причалные сооружения бывают стационарные и плавучие. Основные типы причалов (рис. 1.13): вертикальный (вариант I), откосные (варианты II и III) и комбинированные (варианты IV и V).

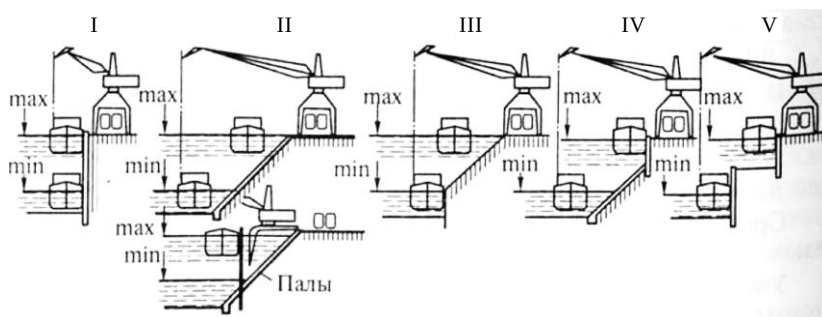


Рис. 1.13. Типы речных причалов

Наиболее распространены вертикальные конструкции причалов, к которым суда подходят вплотную бортом и могут швартоваться в течение всей навигации при всех возможных отметках уровня воды.

Для пропуска судов при значительном перепаде уровней между верхним и нижним бьефами возводят судоподъемное сооружение. Судоподъемники бывают вертикальные, продольные наклонные, поперечные наклонные или клиновые. Вид судоподъемника определяют с учетом следующих факторов: водоизмещения расчетного судна; обеспеченности верхнего бьефа гидроузла водой, которая используется для

пропуска судов; перепада уровней; амплитуды колебаний воды в верхнем и нижнем бьефах.

Лесосплав является видом специального водопользования. Лесосплав, как и судоходство, не предъявляет требований к качеству воды, но сам является источником загрязнения водотоков затонувшей древесиной и различными ее отходами. Молевой сплав леса в настоящее время запрещен законом и допускается лишь в исключительных случаях.

Отношение рыбохозяйственного водопользования к качеству водных ресурсов. Под товарным рыбопроизводством понимают выращивание пищевой рыбы в прудах, садках и др. Воспроизводство рыбных запасов осуществляется в основном разведением и выращиванием молоди рыб для заселения естественных и искусственных водохранилищ. Важным рыбохозяйственным мероприятием является строительство рыбохозяйственных сооружений: рыбоходов, рыбоподъемников, защитных рыбозаградительных конструкций, искусственных нерестилищ, гидротехнических сооружений по поддержанию необходимого водного режима.

При комплексном водопользовании необходимо предусматривать меры по сохранению естественных рыбных запасов, развитию искусственного рыбоводства и восстановлению рыбных запасов. Интересы рыбного хозяйства следует учитывать при разработке и проведении любых водохозяйственных мероприятий. Процессы воспроизводства промысловых рыб протекают стихийно в условиях естественного режима водоемов, поэтому в стране ведется планомерное рыбозаведение. Для этого строят рыбоводные заводы для инкубации икры, создают нерестово-выростные хозяйства, широко развивают рыбные хозяйства на прудах и озерах.

Нормальное обитание и воспроизводство рыбы требуют соответствующей глубины и температуры воды, особенно во время нереста и развития молоди, необходимой кормовой базы и достаточного количества растворенного кислорода, отсутствия в воде токсичных и ядовитых веществ и т. д. Поэтому требования рыбного хозяйства к количественному и качественному состоянию водных ресурсов очень высоки.

Хозяйственное воздействие человека на природную среду наносит существенный ущерб водному хозяйству. В связи с этим при ведении рыбного хозяйства следует учитывать возможные факторы загрязнения воды в результате интенсивного развития сине-зеленых водорос-

лей и высшей водной растительности. Ущерб рыбному хозяйству наносят водозаборные сооружения, не имеющие специальных рыбо-защитных устройств. Насосные станции оросительных систем засасывают вместе с водой огромное количество рыбной молоди.

В стране активно разрабатываются мероприятия по сохранению естественного воспроизводства и разведения рыб на рыбных заводах и нерестово-выростных хозяйствах. Для сохранения естественного воспроизводства проходных и полупроходных рыб предусматривается пропуск через гидроузлы производителей, идущих на нерест, и обратный скат молоди в местах нагула. Водозаборные сооружения и другие опасные места во всех случаях оборудуют рыбозащитными и направляющими устройствами. В искусственных прудах и водоемах, в нерестилищах и путях миграции рыбы создают благоприятные гидробиологические режимы путем паводковых попусков воды из водохранилищ. Они позволяют регулировать водный, солевой и гидробиологический режимы.

Рыбопропускные сооружения предназначены для пропуска проходных и полупроходных рыб из нижнего в верхний бьеф с целью естественного их воспроизводства. Они делятся на рыбоходные и рыбоподъемные. При напоре воды гидроузла менее 10 м возводятся рыбоходные сооружения в виде обходных каналов, лотков и прудков, в которых рыба самостоятельно способна преодолеть разность высоты между отметками верхнего и нижнего бьефов. Схемы рыбоходных сооружений представлены на рис. 1.14–1.16.

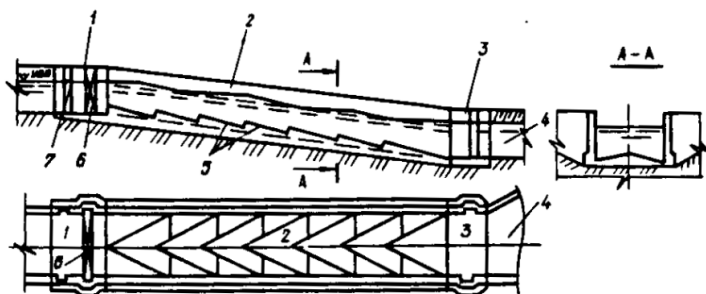


Рис. 1.14. Лотковый рыбоход:

- 1 – верхняя голова; 2 – тракт; 3 – входной оголовок;
4 – подходный участок; 5 – устройство для гашения скорости воды в тракте;
6 – устройство для регулирования расхода; 7 – пазы ремонтных загораждений

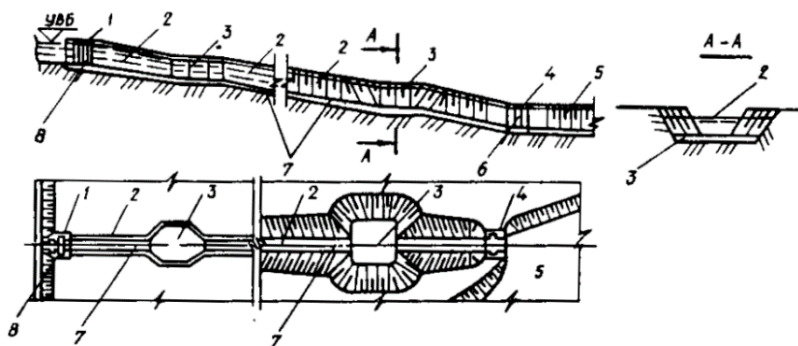


Рис. 1.15. Прудковый рыбоход:

1 – верхняя голова; 2 – камеры тракта; 3 – прудки для отдыха рыб;
4 – входной оголовок; 5 – подходный участок; 6 – пазы ремонтных
заграждений; 7 – тракт; 8 – устройство для регулирования расхода

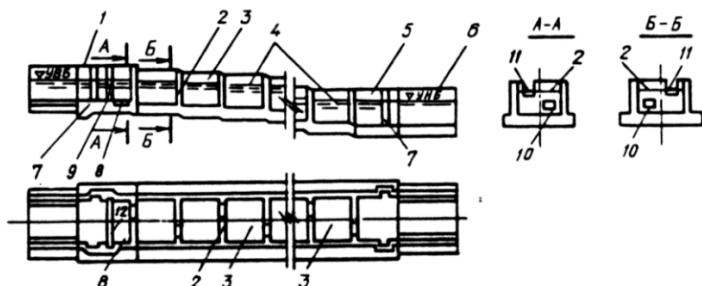


Рис. 1.16. Лестничный рыбоход:

1 – верхняя голова; 2 – разделительные стенки; 3 – камеры тракта;
4 – тракт; 5 – входной оголовок; 6 – подходный участок;
7 – пазы ремонтных заграждений; 8 – ихтиологическое устройство; 9 – блок питания;
10 – донные вливные отверстия; 11 – поверхностные вливные отверстия;
12 – устройство для регулирования расхода

Рыбоподъемные сооружения (рис. 1.17–1.19) предусматривают для перемещения рыб в верхний бьеф путем шлюзования или транспортирования в специальных емкостях. Эти сооружения возводят на крупных равнинных реках с разнообразной ихтиофауной, а также на каскадах близко расположенных гидроузлов.

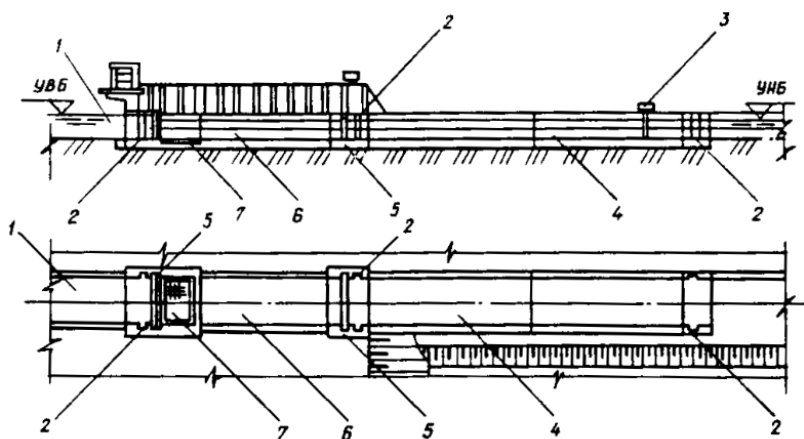


Рис. 1.17. Рыбопропускной шлюз:

1 – верховой (выходной) лоток; 2 – аварийно-ремонтные заграждения;
3 – побудительное устройство; 4 – рыбонакопитель; 5 – затворы эксплуатационные
с блоком питания; 6 – рабочая камера; 7 – ихтиологическое устройство

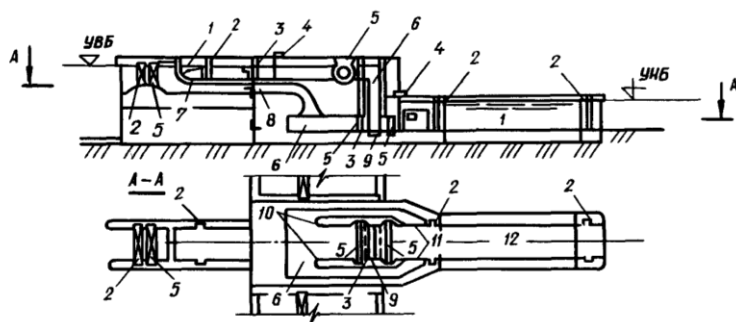


Рис. 1.18. Гидравлический рыбоподъемник:

1 – верховой (выходной) лоток; 2 – аварийно-ремонтные заграждения;
3 – сетчатые затворы; 4 – побудительное устройство; 5 – затворы эксплуатационные
и блоков питания; 6 – блок питания; 7 – выплывные отверстия; 8 – ихтиологическое
устройство; 9 – подъемная площадка; 10 – обходные галереи; 11 – стационарные
рыбозащитные решетки; 12 – рыбонакопитель

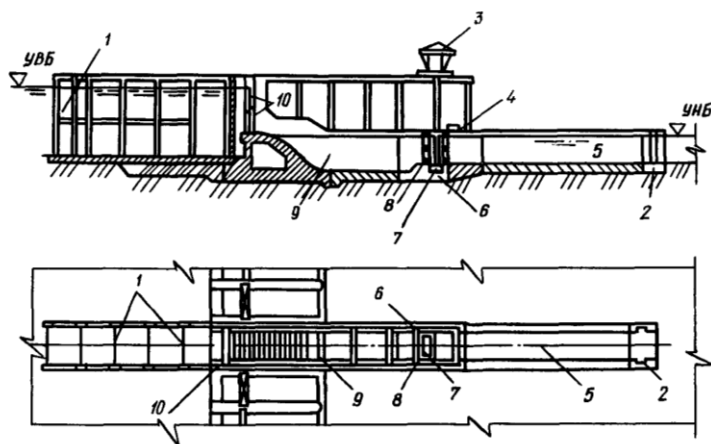


Рис. 1.19. Механический рыбоподъемник: 1 – верховой выходной лоток; 2 – аварийно-ремонтные заграждения; 3 – кран; 4 – побудительное устройство; 5 – рыбонакопитель; 6 – рабочая камера; 7 – ниша контейнера с подъемной площадкой; 8 – сетчатые затворы; 9 – блок питания; 10 – затвор блока питания

Параметры рыбопропускных сооружений определяют в зависимости от допустимых скоростей потока: пороговой (скорость течения, при которой у рыбы появляется реакция на поток воды); сносящей (скорость течения, при которой рыбу сносит поток воды); рывковой (наибольшая скорость течения, которую рыба может преодолеть в течение малого промежутка времени). Рыбоподъемные сооружения бывают стационарные и передвижные (плавающие).

Стационарные сооружения предусматривают тогда, когда места концентрации рыбы не зависят от режима работы гидроузла и потоки рыбы можно сконцентрировать направляющими устройствами.

Передвижные сооружения устраивают при неблагоприятных и сложных гидрологических условиях для строительства стационарных сооружений, а также в рассредоточенных и периодически меняющихся местах концентрации рыбных потоков.

Рыбоподъемные сооружения предназначены для перемещения рыбы из нижнего в верхний бьеф. К рыбоподъемникам относят рыбопропускные шлюзы, гидравлические и механические подъемники, а также мобильные плавающие установки. Эти сооружения имеют дополнительные устройства с подсветкой (ихтиологические площадки), позволяю-

щие осуществлять контроль за перемещением рыб, их видовым составом и численностью.

Рыбопропускной шлюз по принципу работы аналогичен судоходному. Он снабжен: блоком питания, создающим привлекающий поток воды в нижнем бьефе; лотком-рыбонакопителем; побудительными сетками для перевода рыб из рыбонакопителя в рабочую камеру и из нее в нижний бьеф.

Устройство рыбопропускных шлюзов целесообразно на гидроузлах с напорами до 15–20 м. На средненапорных гидроузлах используют гидравлические или механические рыбоподъемники.

Гидравлический рыбоподъемник работает, как и рыбопропускной шлюз, но при значительных напорах рабочую камеру в таком рыбоподъемнике более рационально располагать вертикально в виде шахты. В этом случае рыба, переведенная из рыбонакопителя в рабочую камеру, после наполнения последней водой поднимается горизонтальным сетчатым побудительным устройством до уровня верхового выходного лотка и затем вертикальным побудительным устройством выводится в верхний бьеф.

В качестве блока питания могут применяться гидравлические турбинные агрегаты соответствующей пропускной способности, позволяющие использовать пропускаемую воду для выработки электроэнергии.

С целью непрерывной работы рыбоподъемник делают двухкамерным, поэтому в период шлюзования в одной камере другая открыта для привлечения и накопления рыбы.

В механическом рыбоподъемнике рыба из нижнего бьефа в верхний перемещается с помощью козлового крана в наполненном водой контейнере, в который рыбу переводят из рыбонакопителя с помощью побудительного устройства.

Достоинство механических рыбоподъемников заключается в отсутствии шлюзовой камеры со сложным процессом маневрирования рабочими затворами.

Размещение рыбопропускных сооружений в створе гидроузла – одна из сложных задач, так как предсказать поведение рыбы в нижнем бьефе и места ее концентрации перед сооружением, особенно в условиях изменяющихся режимов гидроузла, трудно.

Наблюдения за поведением рыбы в искусственных водоемах показали на необходимость устройства в гидроузлах нескольких рыбопропускных сооружений в сочетании с направляющими рыбозаградите-

лями, устанавливаемыми в отводящем русле гидроузла, а также возможно и целесообразно использовать судоходные шлюзы для пропуска рыбы на гидроузлах, когда судоходный шлюз расположен благоприятно по отношению к миграционному пути рыб. Для обеспечения эффективности такого пропуска необходимо создавать транзитный поток воды через шлюз в периоды между шлюзованием судов, установить при необходимости направляющие рыбозаградители и проводить специальное шлюзование для пропуска только рыб, особенно в ночное время.

В настоящее время при проектировании гидроузлов рыбопропускные сооружения рассматривают как основные, влияющие на выбор створа и компоновку сооружений гидроузла.

При выборе места рыбопропускного сооружения необходимо учитывать естественное стремление рыб двигаться на нерест против течения, поэтому нужно выделить привлекающий поток, исходящий из рыбонакопителя в общем потоке гидроузла от ГЭС и плотины. При этом скорость в привлекающем шлейфе должна отличаться от спутных потоков не менее чем на 0,2 м/с и быть не меньше пороговых (минимальных, при которых у рыб появляется реакция на поток) и не больше сносящих (при которых рыб сносит потоком). Скорости потока, применяемые при проектировании рыбопропускных сооружений для различных пород рыбы, приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9. Скорости потока, принимаемые при проектировании рыбопропускных сооружений, м/с

Вид рыбы	Скорость потока		
	пороговая	привлекающая	сносящая
Осетровые: взрослая особь молодь	0,15–0,2 –	0,6–0,9 –	0,9–1,2 0,15–0,20
Лососевые: взрослая особь молодь	0,2–0,25 –	0,8–1,0 –	1,1–1,6 0,25–0,35
Частиковые: взрослая особь молодь	0,15–0,2 –	0,5–0,7 –	0,9–1,2 0,15–0,25

Сложность выбора места стационарного рыбопропускного сооружения в гидроузле привела к созданию мобильной плавучей установки, размещаемой ниже гидроузла в местах наибольшей концентрации рыб. Такая установка состоит из плавучего лотка-рыбонакопителя

с побудительным и сопрягающим устройствами, ихтиологической площадки и контейнера для перевозки рыбы.

Здесь накопленную в рыбакопителе рыбу с помощью побудительного устройства сначала переводят на ихтиологическую площадку для учета, а затем в самоходный контейнер, в котором ее транспортируют через судоходные шлюзы в верхний бьеф.

Плавающие установки позволяют периодически менять их местоположение, приспособляясь к различным режимам работы гидроузла. Применение их особенно целесообразно на гидроузлах с пиковыми ГЭС. В период пиковых нагрузок скорости потока в нижнем бьефе могут оказаться недопустимыми для прохода рыбы к плотине, при остановке же агрегатов и пропуске только санитарных расходов ориентирующий поток выражен слишком слабо. В этом случае привлечение и накопление рыбы целесообразно вдали от гидроузла. При каскадном расположении гидроузлов в ряде случаев целесообразно возводить рыбопропускные сооружения только на нижнем гидроузле, а затем транспортировать накопленных производителей через весь каскад в самоходных плавучих контейнерах или в специальных контейнерах с системой жизнеобеспечения, предусматривающей обогащение воды кислородом, заданные температурные режимы и создание в рабочей камере контейнера ориентирующего потока, который, поддерживая упорядоченную ориентацию рыбы, уменьшает ее механическое травмирование. Последние контейнеры перевозят автомобилями или по железной дороге.

При проектировании рыбопропускных комплексов следует учитывать, что их возведение целесообразно лишь в том случае, если после строительства гидроузла естественные нерестилища выше гидроузла сохраняются или возможно строительство искусственных нерестилищ; а также возможно размещение на нерестилищах такого числа производителей рыб, которое необходимо для сохранения стада, и имеются условия для роста и развития молоди рыб; обеспечены условия для ската молоди и производителей рыб через сооружения гидроузла.

На энергетических гидроузлах в целях экономии воды рыбохозяйственные попуски для затопления нерестилищ стараются сократить, что приводит к их высыханию и гибели икры. В этом случае целесообразно ниже гидроузла построить невысокую плотину, поддерживающую необходимый уровень на весь период нереста и выклева рыбной молоди.

Рыбозащитные сооружения (рис. 1.20) служат для предупреждения попадания рыб в опасные для них зоны гидроузлов и в различные водозаборы. По своему действию на рыб их разделяют на следующие основные виды:

1) экранные рыбозаградители не пропускающие через себя рыбу: жалюзи, сетчатые, фильтрующие;

2) физиологические, производящие отпугивающее или направляющее действие на рыбу, рыбозаградители: электрические, пневматические, зрительно-световые, звуковые;

3) рыбоотводящие (инженерно-экологические): каналы, располагаемые в местах наибольшей концентрации рыб, отводящие рыбу за пределы опасных зон;

4) рыбоотгораживающие (экологические), использующие поведение (размещение в потоке) рыб различного вида и в разное время: запани, зонные ограждения (стационарные или перемещающиеся), зонтичные оголовки водозаборов, глубинные оголовки водозаборов, поверхностные водозаборы.

Наиболее эффективны рыбозащитные сооружения, препятствующие попаданию в водозаборы ранней молоди рыб, пассивно перемещающейся с потоком, – сетчатые и фильтрующие рыбозаградители. Вряде случаев достаточно эффективными могут оказаться экологические способы защиты рыбной молоди, требующие менее сложных устройств.

Физиологические рыбозащитные устройства, а также жалюзи целесообразны для защиты взрослых особей и поздней молоди, реагирующих на различные раздражители и ориентиры.

Сетчатые рыбозаградители получили наибольшее распространение, так как они могут полностью предотвращать попадание рыб в водозаборы. Размеры отверстий (ячей) сетчатого полотна зависят от размеров защищаемых рыб.

Применение сетчатых рыбозаградителей требует решения ряда сложных задач.

1. Для обеспечения жизнеспособности задерживаемой рыбы последняя должна без касания проходить вдоль сетчатого полотна к рыбоотводящему тракту. Для этого фронт полотна необходимо располагать под острым углом к потоку и обеспечивать малые скорости фильтрации воды через сетку. Эта скорость должна быть не более половины сносящей скорости для защищаемых рыб. С целью уменьшения

вероятности касания рыбы с сеткой длина пути вдоль сетчатого полотна не должна превышать 5–10 м. Этим зачастую лимитируют размеры рыбозаградителей. Малые скорости потока через сетку требуют больших площадей сетчатого полотна, что затрудняет их применение на крупных водозаборах, а малая прочность полотен не позволяет использовать их для предотвращения попадания рыбы в опасные зоны гидроузлов.

2. Мелкое сетчатое полотно быстро забивается мусором, и его необходимо очищать. Для этого применяют струйные устройства, выполняемые в виде перфорированных труб (флейт), располагаемых с тыльной стороны сетчатого полотна, в которые нагнетают воду под высоким давлением. В период очистки флейта перемещается вдоль сетки (в плоских сетках) или сетка движется около неподвижной флейты (конусный рыбозаградитель). В новых конструкциях самоочищающихся рыбозаградителей сетчатое полотно в процессе работы разворачивается обратной стороной к потоку, обеспечивая смыв мусора (рыбозаградители с наклонно движущейся сеткой, с центральным рыбоотводом, турникетного типа).

3. В большинстве случаев сетчатые рыбозаградители требуют водрата задержанной рыбы в водоем на достаточно большое расстояние от водозабора. Наиболее просто эту задачу можно решить с помощью открытого канала со скоростями не ниже сносных, но для этого необходимо рыбу, поступающую в рыбоотвод рыбозащитного сооружения, поднять на 2–3 м в голову отводного канала. В качестве рыбоподъемников потенциально могут служить тихоходные осевые и центробежные насосы, объемные насосы, эжекторы, лифты и эрлифты.

Водохранилища создают водные пространства для разведения рыбы. Для успешного ведения рыбного хозяйства проводятся следующие мероприятия: расчистка ложа водохранилища от леса и кустарника, мелиорация нерестилищ, строительство рыбоводных заводов. Водохранилища резко изменяют ихтиологические условия рек. Вместо быстротекущих рек образуются слаботочные водоемы, изменяются уровенные и температурные режимы. Это приводит к исчезновению ценных и появлению преимущественно «сорных» рыб.

Наиболее ценной по вкусовым качествам является продукция пресноводных водоемов. Поэтому большое значение придают искусственным рыбоводным предприятиям: рыбопитомникам для получения посадочного материала и нагульным прудам (рис. 1.21).

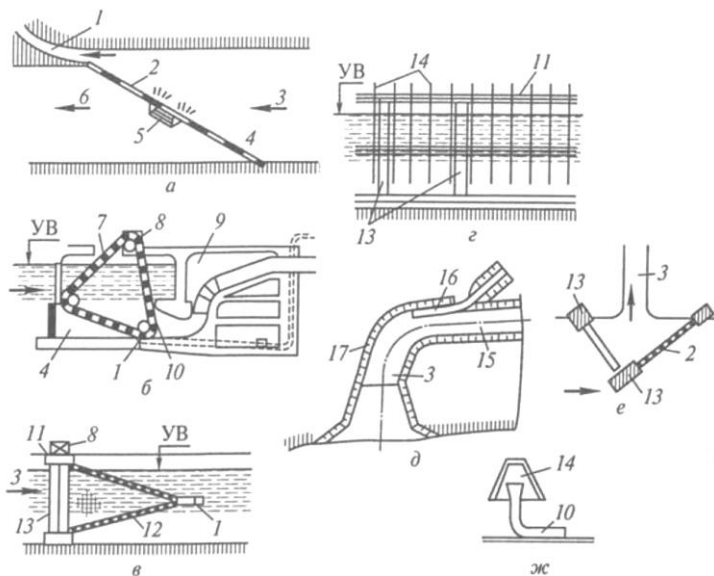


Рис. 1.20. Основные виды рыбозащитных сооружений:
а – плоские сетки с рыбоотводом; *б* – ленточные вращающиеся сетки с рыбоотводом;
в – конусные с рыбоотводом; *г* – электрические рыбозаградители;
д – обходные тракты (каналы); *е* – перемещающиеся зоны ограждения;
ж – зонтичные оголовки водозаборов; 1, 16 – рыбоотводящий тракт и его оголовок;
 2 – рыбозаградительный экран; 3, 15, 17 – водозаборный магистральный
 и криволинейный каналы; 4 – аванкамера; 5 – промывное устройство;
 6 – арьеркамера; 7 – вращающаяся сетка; 8 – привод; 9 – насосная станция;
 10 – водозабор насосной станции; 11 – мост; 12 – конусный рыбозаградитель;
 13 – опорные быки; 14 – зонтичный оголовок

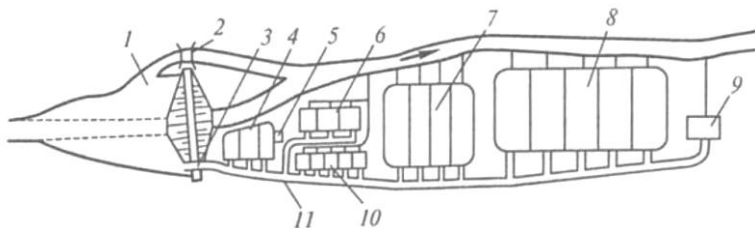


Рис. 1.21. Схема рыбохозяйственного комплекса: 1 – головной пруд;
 2 – паводковый водосброс, 3 – водозабор, 4 – зимовальные пруды, 5 – садки;
 6 – летние маточные пруды; 7 – выростные пруды; 8 – нагульные пруды;
 9 – карантинный пруд; 10 – нерестовые пруды; 11 – магистральный канал

Рыбопродуктивность прудового рыбного хозяйства значительно выше, чем в естественных водоемах и водохранилищах, за счет создания наиболее благоприятных гидробиологических условий и искусственного кормления рыб. В последние годы широкое распространение получило садковое рыбное хозяйство. В нем нагул рыбы осуществляется в специальных сетчатых садках, удерживаемых в водоемах с помощью понтонов. При искусственном кормлении и большой плотности посадки в садках получают бестера 150–180 т/га. Многие хозяйства выращивают в садках форель. Садковые хозяйства целесообразны на прудах-охладителях ТЭС, где теплые воды увеличивают вегетационный период и скорость роста рыб.

Теплые воды при развитии рыболовства используют при создании полносистемных рыбоводных хозяйств с бассейнами, сетчатыми садками, цехами для икры и приготовления корма (непрерывная технология получения посадочного материала и выращивание на протяжении всего года); в водохранилищах-охладителях для нагула теплолюбивых рыб (карп и др.); при организации питомников по выращиванию посадочного материала для товарных хозяйств, сочетающих прудовое и садковое рыбоводство.

Наиболее прогрессивным является метод выращивания рыбы в бассейнах (железобетонные сооружения с регулируемым расходом воды, обеспечивающим температуру в течение всего года). Наряду с этим в теплой воде интенсивно развиваются паразиты, вызывающие заболевание рыб и снижение качества продукции. Не решены вопросы удаления остатков корма рыб, снижающих качество воды. Проблемы рыбного хозяйства должны решаться с участием государственных учреждений, занимающихся комплексным использованием водных ресурсов.

Для успешного развития рыбного хозяйства необходимо выполнение следующих условий:

- полное прекращение загрязнения природных вод;
- реконструкция старых и строительство новых рыбопускных сооружений в составе гидроузлов на реках, имеющих большое рыбопромысловое значение;
- повышение рыбохозяйственной эффективности существующих и вновь создаваемых водохранилищ путем проведения комплексных мелиоративных мероприятий;
- обеспечение благоприятных условий для размножения ценных видов рыб в низовьях рек за счет попусков из водохранилищ, а также

строительство водodelителей и создание комплекса специальных устройств, обеспечивающих воспроизводство рыб;

– дальнейшее расширение и создание новых прудовых рыбоводных хозяйств.

Требования гидроэнергетики к режиму водоисточника. Гидроэлектростанции, вырабатывающие электроэнергию, не требуют топлива, обеспечивают высокий коэффициент использования водных ресурсов и в некоторых случаях создают лучшие условия для их охраны. Они характеризуются положительным и отрицательным влиянием гидроэнергетики на другие отрасли народного хозяйства. Многие из них, обладая большими водохранилищами, заметно изменяют гидрологический режим водотоков и сложившуюся экологическую обстановку прилегающих территорий.

Преграждение плотинами путей нерестовых миграций, разрушение нерестилищ в верхнем бьефе и сокращение паводковых попусков для затопления на период нереста и выклева личинок полуживых систем в нижних бьефах наносит ущерб рыбному хозяйству. Сокращение паводковых разливов рек может привести к осухождению пойменных земель и снижению продуктивности лугов и пастбищ.

При работе ГЭС в пиковом режиме пропускаемые через турбины расходы воды резко изменяются, что в зимний период может вызвать вымораживание лугов и других периодически затопляемых угодий.

Выпуск в нижний бьеф воды из донных слоев водохранилища, имеющей повышенную температуру, создает незамерзающую полынью длиной до нескольких десятков километров, которая затрудняет связь берегов и вызывает туманы, мешающие эксплуатации ближайших аэродромов.

Требования гидроэнергетики к водным ресурсам сводятся к обеспечению достаточно стабильных в течение года расхода и напора. Для эффективной работы гидротурбин напор при сработке комплексных водохранилищ не должен падать больше чем на 30–40 %.

Требования теплоэнергетики к качеству воды. Предприятия теплоэнергетики подразделяются на электростанции, вырабатывающие в основном электрическую энергию – конденсационные электростанции (КЭС) – и производящие электрическую и тепловую энергию (ТЭЦ). Удельные расходы технической воды на предприятиях теплоэнергетики, работающих на газомазутном топливе, с оборотными системами водоснабжения и испарительными градирнями приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10. Удельные расходы воды при выработке энергии

Параметры пара для КЭС, МПа	Удельный расход технической воды при выработке электроэнергии		Параметры пара для ТЭЦ, МПа	Удельный расход технической воды при выработке электроэнергии	
	электрической, м ³ /МВтч	тепловой, м ³ /Гкал		электрической, м ³ /МВтч	тепловой, м ³ /Гкал
8,8	6,86	–	3,4	9,4	0,49
12,7	5,81	–	8,8	5	0,42
23,5	4,96	–	12,7	3,88	0,42
			23,5	2,94	0,39

В отрасли примерно 60 % воды находится в обороте и 5 % используется повторно-последовательно. Удельные расходы воды на предприятиях отрасли составляют 14 м³/(кВт · ч), из них 0,06 м³/(кВт · ч) свежей воды и 0,08 м³/(кВт · ч) оборотной и повторно используемой.

Основными потребителями воды на предприятиях теплоэнергетики являются следующие системы: генерации пара в котлах; охлаждения; пароснабжения; гидравлического удаления юлы и шлама на ТЭС, работающих на твердых топливах, и др. Распределение расхода потребляемой воды зависит от вида ТЭС. На КЭС около 96 % используемой воды расходуется на восполнение потерь в системах охлаждения, а добавка в пароводяной цикл составляет около 4 %. На ТЭЦ потребляемая вода расходуется следующим образом: подгонка воды для пароводяного цикла – 25–35 %; подпитка теплосети – 20–30 %, добавка в систему охлаждения – 35–55 %. В зависимости от сезона года ТЭЦ работает в различных режимах. В летний период в связи с отключением отопления жилых, общественных и производственных помещений расход воды на теплосеть снижается, а на цели охлаждения увеличивается.

Использование воды в каждой из указанных систем характеризуется своими особенностями и предъявляет специфические требования к химическим и санитарно-гигиеническим показателям состава используемой воды (табл. 1.11).

Удельная потребность в охлаждающей воде для конденсаторов турбин ТЭС на органическом топливе составляет 100 м³/ч на 1 МВт мощности. Таким образом, для мощных ТЭС необходим очень большой расход воды, что лимитирует использование прямоточных схем водоснабжения. При проектировании новых ТЭС системы охлаждения как в нашей стране, так и за рубежом принимаются исключительно оборотными.

Таблица 1.11. Требования к качеству воды

Показатель	Качество воды		
	для подпитки теплосети		для систем охлаждения
	закрытой без водозабора	открытой с водозабором	
Температура, °С	Не нормируется	Не нормируется	25–28
Запах, баллов	3	2	2
pH	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5
Жесткость, моль/л	Не нормируется	7	20–80
Солесодержание, мг/л	Не нормируется	1000	3000–5000
Содержание взвешенных веществ, мг/л	20	1,5	20
Содержание нефтепродуктов, мг/л	5	0,1	5
Содержание хлоридов, мг/л	Не нормируется	350	400–1000
Содержание сульфатов, мг/л	Не нормируется	500	500–600
Содержание нитратов, мг/л	Не нормируется	10	Не нормируется
Содержание нитритов, мг/л	Не нормируется	Не нормируется	3
Содержание железа общего, мг/л	4	0,3	4
Содержание меди, мг/л	Не нормируется	1	Не нормируется
Содержание марганца, мг/л	Не нормируется	0,1	Не нормируется
Содержание углекислоты свободной, мг/л	Не нормируется	Не нормируется	1,5–3
Содержание фосфора, мг/л	2,5	3,5	2,5
Содержание азота общего, мг/л	80	–	80
Содержание ванадия, мг/л	Не нормируется	10	Не нормируется
Содержание никеля, мг/л	Не нормируется	0,1	Не нормируется
Содержание фтора, мг/л	Не нормируется	0,7–1,5	Не нормируется
Содержание мышьяка, мг/л	Не нормируется	0,05	Не нормируется
Содержание ХПК, мг/л	Не нормируется	100	Не нормируется
Содержание БПК, мг/л	15–30	3	15–30

На большинстве ТЭЦ для охлаждения нагретой воды применяются башенные или ночные и капельно-плёночные градирни с естественной тягой. Площадь оросительного устройства башенных градирен достигает 3200–7000 м², а отдельные градирни имеют площадь орошения 10000 м². На КЭС широко применяются оборотные системы водного охлаждения с прудами-охладителями, для размещения которых требуются значительные площади. Так, например, для ГРЭС мощностью 3,2–6,4 ГВт с водохранилищем-охладителем требуется отчуждение земель в размере 2,3–4,5 тыс. га. В связи с этим в последнее время и на КЭС для охлаждения воды начинают использовать градирни.

Оборотные системы охлаждения тепловых электростанций характеризуются следующими показателями. Количество охлаждающей воды, необходимой для отвода тепла, конденсации пара и прочих нужд, на конденсационных электростанциях мощностью 2400 МВт составляет 250000–300000 м³/ч. При разности температур нагретой и охлажденной воды 7–9 °С в градирнях испаряется 1,2–1,5 % воды. Капельный унос влаги в зависимости от конструкции водоуловителей составляет 0,2–0,5 %. В паросиловых циклах температура и давление воды при последовательном сжатии, нагреве, расширении и отводе тепла изменяются в широких пределах. Температура может меняться до 650 °С, а давление – от 4 кПа до 40 МПа.

Плотность пара по мере повышения давления приближается к плотности воды до тех пор, пока критическое давление не достигнет 25,8 МПа. При более высоком давлении образуется сверхкритическая среда, которую нельзя рассматривать как пар или воду. Котлы, работающие под давлением выше 25,8 МПа, называют котлами сверхкритического давления.

В циклах с давлениями ниже критического, когда плотность пара меньше плотности воды, наблюдается фазовое превращение воды в пар и затем пар обратно в воду.

Хотя в большинстве случаев в циклах со сверхкритическим давлением целесообразнее использовать барабанные котлы, иногда все же устанавливаются прямоточные котлы с более низкими первоначальными затратами.

При производстве пара в условиях докритического давления барабанные котлы имеют два основных преимущества. Во-первых, в этих котлах получают пар высокой чистоты при менее жестких требованиях к качеству питательной воды. При механическом разделении фаз пара и рециркулирующей воды в котловой воде остается большее количе-

ство нежелательных твердых веществ. А поскольку скорость рециркуляции в котле примерно в 4 раза превышает скорость потока пара, выходящего из котла, то среда, поступающая из труб парогенератора в расположенный выше паросборник, будет содержать примерно 75 % воды. Это означает, что перегретый пар, в котором растворяются некоторые примеси, содержащиеся в котловой воде, не может находиться в барабане выше котла. Во-вторых, так как рециркулирующая в трубах котла смесь в основном является водой, эффективность теплопередачи и охлаждения металла труб выше, чем в условиях, когда по трубам проходит только пар.

В прямоточных котлах докритического давления происходит полное фазовое превращение, при котором с одной стороны подается вода, а с другой – выходит перегретый пар. В этом случае в котле не происходит рециркуляция и не предусмотрен барабан для механического разделения фаз пара и воды. Продувка таких котлов невозможна, поэтому для предупреждения образования отложений твердых веществ в системе при достижении температуры фазового превращения воды в пар требуется питательная вода намного более высокого качества по сравнению с качеством питательной воды для барабанных котлов.

В циклах с давлением выше критического фазовое превращение не происходит, следовательно, разделение фаз пара и воды невозможно. Поэтому в условиях сверхкритических давлений могут работать только прямоточные парогенераторы. Универсальные котлы, работающие под давлением, представляют собой прямоточные котлы, которые могут работать под давлениями выше или ниже критического. Исходя из требований, предъявляемых к сплавам металлов, используемых для изготовления труб, и к толщине труб, эти котлы экономически выгодно эксплуатировать при давлении примерно от 16 МПа до 24 МПа.

В циклах с более высоким докритическим давлением (22,0–22,8 МПа) различия в требованиях к качеству питательной воды, используемой для барабанных и прямоточных котлов, несколько уменьшаются. При таких давлениях барабанные котлы имеют преимущество, обеспечивая эффективное механическое разделение фаз пара и воды. Однако при уменьшении различий между плотностью пара и плотностью воды повышается растворимость в паре загрязнений, содержащихся в воде. Твердые вещества, растворенные в паре, не могут быть удалены при помощи установки в барабане котла устройств для механического разделения. Поэтому для имеющихся на электростанциях

котлов высокого давления концентрация твердых веществ в паре в значительной степени зависит от коэффициентов их растворимости в паре и воде при рабочем давлении.

Охрана труда при подаче воды для сельскохозяйственного и коммунально-бытового водопользования. К выполнению работ по эксплуатации и обслуживанию сетей и сооружений водоснабжения и канализации допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр без противопоказаний к выполнению данных работ, имеющие профессиональные навыки, а также прошедшие:

- вводный инструктаж при приеме на работу;
- первичный инструктаж на рабочем месте;
- первичный инструктаж по пожарной безопасности;
- обучение безопасным методам и приемам труда;
- стажировку на рабочем месте;
- проверку знаний по охране труда, пожарной безопасности;
- обучение и овладевшие приемами оказания первой помощи при несчастных случаях.

При эксплуатации и обслуживании сетей и сооружений водоснабжения и канализации необходимо учитывать наличие и возможность воздействия на работников следующих опасных и вредных производственных факторов:

- движущихся элементов оборудования (насосного, силового, механизированных решеток и т. п.);
- падающих предметов и инструментов (при работах в водопроводных и канализационных колодцах, на очистных сооружениях, в помещениях и т. п.);
- образование взрывоопасных смесей газов (в колодцах, насосных станциях и других помещениях и сооружениях);
- опасного уровня напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- пониженной температуры воздуха в производственных помещениях и сооружениях;
- повышенной влажности воздуха (в насосных станциях, в помещениях канализационного очистного сооружения (КОС) и др.);
- повышенного уровня шума и вибраций (в машинных залах насосных станций и других помещениях и сооружениях, где установлено технологическое оборудование);
- недостаточной освещенности рабочей зоны (в колодцах, камерах, каналах и т. п.);

– газообразных веществ общетоксического и другого вредного воздействия в колодцах, камерах, каналах, очистных сооружениях (сероводород, метан, пары бензина, эфира, углекислый газ и др.);

– патогенных микроорганизмов в сточных и природных водах (бактерии, вирусы, простейшие);

– яиц гельминтов в сточных водах.

Работникам положено выдавать специальную одежду и специальную обувь:

– костюм из термостойкой антистатической ткани;

– сапоги резиновые или ботинки кожаные;

– рукавицы комбинированные;

– полукombineзон хлопчатобумажный;

– костюм для защиты от пониженных температур с пристегивающейся утепляющей прокладкой из термостойкой антистатической ткани;

– валенки;

– галоши на валенки.

Работники обязаны правильно использовать предоставленные в их распоряжение специальную одежду, специальную обувь и другие средства индивидуальной защиты.

Ремонтный персонал обязан знать правила техники безопасности применительно к условиям работы. Если ремонтируется оборудование в местах применения отравляющих и вредных веществ (хлор, кислоты, щелочи и др.), то рабочие должны знать свойства этих веществ, правила обращения с ними, способы защиты и оказания первой помощи. Если работа производится в местах, где возможно появление газа, то рабочие должны знать:

– свойства газа, его концентрации, способы ее измерения;

– правила работы и поведения в этих местах;

– признаки отравления, правила эвакуации и оказания первой помощи пострадавшему;

– правила работы в средствах защиты органов дыхания.

Работник должен изучить правила пользования средствами пожаротушения. Не допускается использование пожарного инвентаря не по назначению.

Он должен знать и соблюдать правила личной гигиены. Принимать пищу, курить, отдыхать только в специально отведенных для этого помещениях и местах. Пить воду только из специально предназначенных для этого установок.

Перед началом работы работники обязаны надеть специальную одежду, специальную обувь и каску. Специальная одежда должна быть чистой и соответствовать требованиям выполняемой работы.

Перед началом выполнения работа должна быть оформлена нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.

Работники не должны приступать к обслуживанию сетей и сооружений водоснабжения и канализации при следующих нарушениях требований охраны труда:

- при неисправностях технологической оснастки и инструмента, указанных в инструкциях заводов-изготовителей, при которых не допускается их применение;

- несвоевременности проведения очередных испытаний или истечении срока эксплуатации основных и дополнительных средств защиты, установленных заводами-изготовителями и ГОСТами;

- захламленности и недостаточной освещенности рабочих мест и подходов к ним.

Обнаруженные нарушения требований охраны труда должны быть устранены собственными силами, а при невозможности сделать это работники обязаны незамедлительно сообщить о них руководителю работ. Подлежащее ремонту оборудование должно быть надежно отключено от всех коммуникаций воды, газа, воздуха и освобождено от рабочего давления.

При длительном ремонте или негерметичности запорной арматуры, ремонтируемое оборудование отключается от действующего дополнительно заглушками с хорошо видимыми хвостовиками.

Обход и осмотр трасс сетей водоснабжения и канализации осуществляется одним человеком. Во время осмотра не допускается открывать крышки люков колодцев. Осмотр трасс сетей с поверхности земли путем открывания люков выполняется бригадой (звеном), состоящей из двух работников. Бригада должна быть оснащена крючком для открывания люков, переносными знаками ограждения и другими необходимыми инструментами. Спуск в колодцы при осмотре трасс запрещается. Во время осмотра не допускается выполнять какие-либо ремонтные и восстановительные работы. Пользоваться открытым огнем и курить у открытых колодцев и камер запрещается.

При производстве земляных работ на территории населенных пунктов или на производственной территории организации котлованы, ямы, траншеи и канавы в местах, где происходит движение людей и

транспорта, должны быть ограждены. В местах перехода через траншеи, ямы, канавы должны быть установлены переходные мостики шириной не менее 1 м, огражденные с обеих сторон перилами высотой не менее 1,1 м, со сплошной обшивкой снизу перил на высоту не менее 0,15 м и с дополнительной ограждающей планкой на высоте 0,5 м от настила.

Участки работ и рабочие места, проезды к ним в темное время суток должны быть освещены. Производство работ в неосвещенных местах не допускается.

Работы, связанные со спуском работников в колодцы, камеры, резервуары, насосные станции без принудительной вентиляции, опорожненные напорные водоводы и канализационные коллектора, относятся к разряду опасных, к которым предъявляются дополнительные (повышенные) требования безопасности труда и они должны проводиться по наряду-допуску на выполнение работ повышенной опасности. В случае спуска в колодец (камеру, резервуар и т. п.) нескольких работников, каждый из них должен страховаться работником, находящимся на поверхности.

При возникновении на рабочем месте опасных условий труда ремонтный персонал должен немедленно прекратить работу, отойти на безопасное расстояние, о случившемся доложить руководителю работ. До устранения опасных факторов к работе не приступать.

При возникновении пожара необходимо оповестить окружающих любыми доступными средствами, принять меры по вызову пожарного подразделения и приступить к ликвидации очага возгорания подручными средствами пожаротушения.

При появлении признаков газа в воздухе рабочей зоны, работы немедленно прекратить, принять меры по его удалению путем естественного или принудительного вентилирования. О случившемся незамедлительно доложить руководителю работ. К работе нельзя приступать до устранения причин появления газа и положительного анализа воздуха рабочей зоны или продолжить производство работ с применением шлангового противогаса. Продолжительность работы в этом случае без перерыва разрешается не более 10 мин.

После окончания работ работники обязаны:

- очистить рабочее место от отходов используемых материалов и мусора, образовавшихся при выполнении работы;
- при необходимости закрыть люки колодцев (камер, резервуаров и т. п.), убрать ограждения;

- собрать ручной инструмент, приспособления, оснастку, неиспользованные материалы и средства индивидуальной защиты, применявшиеся в процессе работы, и поместить их в отведенное для хранения место;
- выполнить требования личной гигиены;
- сообщить руководителю работ обо всех неполадках, имевших место во время работы.

1.4. Водохозяйственные балансы как основа планирования использования водных ресурсов и развития водного хозяйства

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 народного хозяйства в отдаленном будущем и обоснования долгосрочных планов научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ (табл. 1.12).

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.

Таблица 1.12. **Водохозяйственный баланс на долгосрочный прогноз условного речного бассейна на 15 лет, км³**

Годы	Водные ресурсы с учетом подземных вод и много-летнего регулирования стока			Вид безвозвратного потребления							
	Сред-ний год	Зарегулирован-ный сток с обеспе-ченностью		Комму-нальное хозяйство	Промышлен-ность	Теплоэнерге-тика	Орошаемое земледелие при обеспе-ченности		Сельскохозяй-ственное водо-снабжение и обводнение	Рыбное хозяйство	Испарение с открытой поверхности водоема
		75 %	95 %				75 %	95 %			
1-й	28,4	22,0	15,7	0,2	0,35	0,11	3,05	2,44	0,12	0,08	2,3
5-й	28,4	22,0	15,7	0,2	0,58	0,26	4,30	3,44	0,42	0,20	2,3
10-й	28,4	22,0	15,7	0,3	0,82	0,37	6,39	5,11	0,55	0,31	2,4
15-й	28,4	22,0	15,7	0,4	1,01	0,45	8,25	6,60	0,61	0,61	2,4
Годы	Суммарное безвозвратное водопотребле-ние при обеспе-ченности		Пропуски			Суммарное водопо-требление с пропус-ками при обеспечен-ности		Баланс			
			Средний год	При обеспеченности				Сред-ний год	При обеспеченности		
	75 %	95 %		75 %	95 %	75 %	95 %		75 %	95 %	
1-й	6,21	5,60	22,5	22,5	12,0	28,71	17,60	−0,31	−6,71	−1,90	
5-й	8,26	7,40	22,0	22,0	11,5	39,26	18,90	−1,86	−8,26	−3,20	
10-й	11,14	8,86	16,2	16,2	7,5	27,34	17,36	−1,08	−5,34	−1,66	
15-й	11,46	11,81	16,2	16,2	7,5	28,66	19,31	−1,26	−7,66	−3,60	

В водохозяйственном прогнозировании существуют два взаимосвязанных определения. Это так называемые расчетная обеспеченность P и гарантированная отдача.

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 народнохозяйственного ущерба, вызываемого сокращением подачи воды. При определении этой величины обычно исходят из некоторых данных практики, в частности, рекомендуются значения расчетной обеспеченности, приведенные в табл. 1.13.

Таблица 1.13. Расчетная обеспеченность для различных видов водопользователей

Водопользователь	Расчетная обеспеченность, %
Питьевое водоснабжение	97–99
Промышленное водоснабжение	95–97
Орошение	75–80 (до 95)
Гидроэнергетика	90–95
Водный транспорт	80–90

Приведенные цифры являются приближенными и нуждаются в корректировке в каждом конкретном случае. Это зависит от масштаба каждого водохозяйственного объекта и его народнохозяйственного значения.

При разработке водохозяйственных балансов необходимы данные о безвозвратных потерях и их изменении в зависимости от времени и

совершенствования системы промышленного и сельскохозяйственного производства. Это дает возможность прогнозировать развитие систем оборотного и последовательного использования воды в промышленно-сти, намечать меры по сокращению оросительных норм или экономии воды.

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 влаголюбивые 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. 1.22.

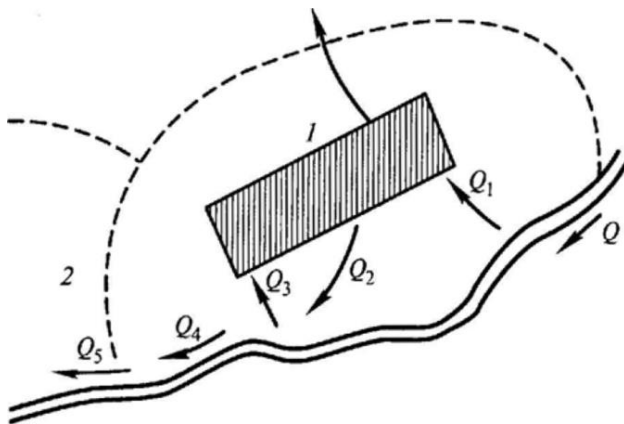


Рис. 1.22. Составляющие водохозяйственного баланса:
1, 2 – районы, для которых разрабатываются водохозяйственные балансы,
 $Q-Q_5$ – расходы

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

$$Q_3 = \alpha Q_2, \quad (1.30)$$

где $\alpha = 0,1-0,5$;

- наименьший допускаемый 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 %:

$$Q_5 = Q_1 - Q_3 + Q_4. \quad (1.31)$$

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

$$Q_6 = Q_1 - Q_2. \quad (1.32)$$

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:

$$V_1 = V_1' - V_1'' + V_1''' + V_1''', \quad (1.33)$$

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 :

$$V_2 = V_2' - V_2'' + V_2''', \quad (1.34)$$

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:

$$V_3 = V_1 - Q_2. \quad (1.35)$$

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

$$V_4 = V_3 - Q_6. \quad (1.36)$$

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

$$V_5 = V_4 - Q_4. \quad (1.37)$$

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 (табл. 1.14). Все составляющие водохозяйственного баланса соответствуют принятым обозначениям.

Из табл. 1.14 видно, что в осенне-зимние месяцы избыток стока, который можно использовать в дальнейшем для различных хозяйственных нужд, крайне незначителен. Поэтому в перспективе потребуются 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 размещение 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

$$Q_3 - Q_n > 0, \quad (1.38)$$

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.

Таблица 1.14. Водохозяйственный баланс района 1 для маловодного года обеспеченностью 95 % (млн. м³)

Составляющие водохозяйственного баланса	Месяцы												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего
1. Расходная часть													
Общий потребляемый расход	25	25	25	40	70	130	140	140	70	50	25	25	790
Общий возвратный расход, поступающий обратно в реку	18	18	18	18	32	65	70	70	35	22	18	18	402
Часть возвратного расхода, используемого повторно	10	10	10	10	20	40	42	42	21	11	10	10	236
Наименьший допускаемый расход в реке	20	20	20	30	40	70	70	50	50	50	40	30	490
Требуемый минимальный расход с обеспеченностью 95 %	35	35	35	60	90	160	168	148	99	89	55	45	1019
Безвозвратные потери воды	7	7	7	22	38	65	70	70	35	28	7	7	363
2. Приходная часть													
Поступление воды на данную территорию	55	50	50	110	340	750	320	150	140	130	70	60	2225
Регулирование стока:													
сработка водохранилищ	20	25	25	–	–	–	–	50	30	10	20	20	200
наполнение водохранилищ	–	–	–	45	160	140	–	–	–	–	–	–	345
потери на фильтрацию и испарение	1	1	1	1	8	18	20	20	8	1	1	1	81
объем воды, получаемый за счет использования водохранилищ	19	24	24	46	168	158	20	30	22	9	19	19	558
Общий объем зарегулированного стока	36	26	26	64	172	592	300	120	118	121	51	41	1667
Расход реки, поступающий в район 2	29	19	19	42	134	527	230	50	83	93	44	34	1304
Избыток располагаемого стока сверх минимума	9	–1	–1	12	94	457	160	0	33	4	4	4	775

Водохозяйственный баланс поверхностных вод В равен

$$B = C - \Delta C - \psi - C_{\tau} + \Delta V, \quad (1.39)$$

где C – сток с рассматриваемой территории;

ΔC – сток, формирующийся на участке;

ψ – потребление воды на участке;

C_{τ} – 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.

$$\psi = Q_p - \Delta Q_p - q, \quad (1.40)$$

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. 1.23.

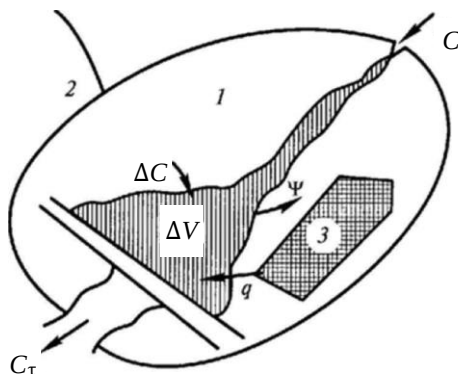


Рис. 1.23. Графическая интерпретация водохозяйственного баланса:

1, 2 – районы водохозяйственного баланса; 3 – отрасли народного хозяйства;
 C – 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_{τ} – 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 попусков, т. е. $V > 0$. В этом случае нет дефицита воды и возможно развитие потенциала народного хозяйства в данном регионе.

При $V < 0$ 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

$$\psi' = k_1 Q_p - \Delta Q_p - k_2 q; \quad (1.41)$$

$$C' = k_3 C_t, \quad (1.42)$$

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 ущербов 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 зачастую 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 строительство 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 V_I , оценивающего соотношения между естественными ресурсами заданной обеспеченности и фактическими потребностями в воде, для варианта V_{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 характера 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. 1.24).

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:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 - \Delta Q_7 - \Delta Q_8 - Q_9 - T \geq 0, \quad (1.43)$$

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.

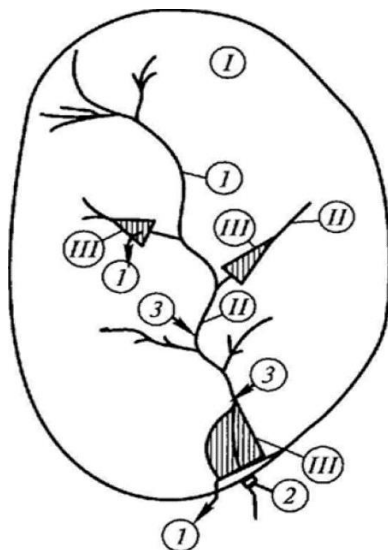


Рис. 1.24. Система управления ВХК бассейна:

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

Анализ совместной обеспеченности поверхностными и подземными водами имеет вид

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 - \Delta Q_8 - \Delta Q_9 - Q_{10} - Q_{11} - T \geq 0, \quad (1.44)$$

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

$$Q_{11} = Q_4 + Q_{12}. \quad (1.45)$$

Результаты расчетов по формулам (1.44) и (1.45) должны давать одну и ту же оценку состояния балансов по поверхностным водам.

Объем речных вод через нижний для участка створ равен

$$Q_{12} = Q_1 + Q_2 \pm Q_3 - Q_4 + Q_5 + Q_6 - \Delta Q_8 - Q_9 \geq 0 \quad (1.46)$$

или

$$Q_{12} = Q_1 + Q_2 \pm Q_3 + Q_5 + Q_6 - \Delta Q_8 - Q_9 + Q_{10} - Q_{11} \geq 0. \quad (1.47)$$

Безвозвратные потери воды по отношению к поверхностным водам составляют

$$P = Q_{11} - Q_6 + \Delta Q_8 + Q_9 - Q_{10}. \quad (1.48)$$

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:

$$B_{II} = Q^\Phi - R^\Phi; \quad (1.49)$$

$$B_{III} = Q(P) - R^{пл}; \quad (1.50)$$

$$B_{IV} = Q^\Phi - R^{пл}, \quad (1.51)$$

где $R^{пл}$ – расходная статья баланса по прогнозировавшимся 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:

$$Q_{10} = (1 - S)Q_{12}, \quad (1.52)$$

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

$$Q_r(P) \geq \sum_{j=1}^m \{Q_j(P) + Q(P)\}. \quad (1.51)$$

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:

$$Q_3^M(P) = \alpha(P, \beta) Q_r - Q_r(P) \geq 0. \quad (1.54)$$

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 опорожне-

ние). Символически правило работы водохранилищ «по водотоку» в принятых выше обозначениях записывают следующим образом:

при отрицательном балансе

$$Q_3^M(P) = \begin{cases} B, & \text{если } V_n - B \leq 0 \\ V_n, & \text{если } V_n - B < 0 \end{cases} \quad (1.55)$$

при положительном балансе

$$Q_3^M(P) = \begin{cases} B, & \text{если } V_n + B \geq V_p \\ V_n, & \text{если } V_n + B > V_p \end{cases} \quad (1.56)$$

где V_n – полезный объем водохранилищ на начало интервала;

V_p – суммарный располагаемый регулирующий объем в данный маловодный год.

$$V_p = \sum V + V_M + Q_3^M. \quad (1.57)$$

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 попусков, но и путем землечерпания или шлюзования. Заявки на рыбохозяйственные попуски 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 $K_{\text{лет}}^{\Phi}$ и $K_{\text{зим}}^{\Phi}$. 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

$$\frac{K_{\text{ф}}^{\Phi}[\text{K}]}{[\text{K}]} 100 \% \quad (1.58)$$

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 фонового показателя 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

$$Q_n^{\Phi} (K^{\Phi} - K_{\text{полн}}^{\Phi}) = Q_n^P (K^P - K_{\text{полн}}^P). \quad (1.59)$$

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

$$K^P = h(K^{\Phi} - K_{\text{полн}}^{\Phi}) + K_{\text{фон}}^P. \quad (1.60)$$

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.

Управление водохозяйственным комплексом бассейна. Управление осуществляют при прогнозировании развития водохозяйственных систем, их проектировании и эксплуатации. При прогнозе определяют состав водопотребителей, их размещение, объемы выделяемых им водных ресурсов, источники водоснабжения; при *проектировании* определяют основные параметры и состав водохозяйственных сооружений; при *эксплуатации* – объемы и режимы водоподачи.

Водохозяйственные системы управляются на основе применения системного анализа, который включает в себя как формальные (с использованием математического аппарата), так и неформальные (например, с помощью экспертиз) методы исследования сложных систем, функционирующих в условиях неопределенности.

Анализ системы состоит из трех этапов: анализа конечных целей, которые должны быть достигнуты; выбора критериев оценки способов достижения поставленных целей (альтернатив) и выбора наиболее подходящей альтернативы.

Цель – это конечный результат, на достижение которого направлено функционирование системы. Основная цель в управлении – комплексное и рациональное использование водных ресурсов для удовлетворения социальных и экономических потребностей общества. Однако сформулированная таким образом цель носит слишком общий характер. Поэтому возникает потребность в конкретизации цели, достигаемой путем декомпозиции (расчленения) ее на частные цели.

Анализ деятельности водохозяйственных систем позволяет выделить следующее:

- обеспечение населения водой для питьевых и коммунальных нужд;
- получение производственного эффекта на водохозяйственных объектах;
- водное благоустройство территорий;
- обеспечение оборонных мероприятий;

– охрана окружающей среды от вредного воздействия вод и водных ресурсов от загрязнения и истощения;

– сохранение и улучшение экологической системы и т. п.

Каждая цель формально может быть записана в виде целевой функции $F(x)$, которая выступает как критерий оценки путей достижения поставленных задач. Например, для экономических процессов (получения производственного эффекта) наиболее часто в качестве критерия применяют валовой доход, прибыль, объем валовой продукции, расчетные затраты труда, ресурсов, себестоимость продукции и т. п. Для социальных целей используют показатели качества воды, рекреационную ценность водоемов и т. п. Множественность критериев, из которых одни желательно обратить в максимум, а другие – в минимум, характерна для любой сложной задачи управления.

На третьем этапе находят альтернативу, наилучшим образом обеспечивающую достижение поставленных целей. Это составляет суть управления.

Моделирование – процесс построения и исследования моделей, отображающих реальную систему.

Математическая модель ВХС – математические выражения, показывающие связь между входными (независимыми, управляющими) и выходными переменными, характеризующими водохозяйственную систему, например, между объемом воды и экономическим эффектом от ее использования.

Модель может быть *числовой* (в виде формул), *логической* (в виде блок-схемы алгоритмов или программ расчетов), *графической*.

Построение математической модели содержит следующие этапы: выбор входных и выходных переменных; идентификация модели, которая заключается в определении числовых значений параметров (коэффициентов), входящих в модель; проверка адекватности (соответствия) модели моделируемому объекту.

Моделирование проводят в несколько этапов до достижения необходимой точности. Пока не существует единой математической модели водохозяйственных систем, которая учитывала бы все многообразие их особенностей. Поэтому для каждой конкретной системы разрабатывают специальную математическую модель, позволяющую выбрать ее параметры и провести анализ ее функционирования в условиях разной водности и водопотребления. Процесс принятия решений при управлении осуществляется в режимах имитации и оптимизации.

Имитация – это процесс управляемого эксперимента, проводимого над моделью ВХС. Имитацию проводят в тех случаях, когда аналитическое решение задачи управления невозможно, а непосредственное экспериментирование недопустимо или нецелесообразно. Подобная ситуация характерна для сложных водохозяйственных систем, для которых трудно предсказать последствия тех или иных управляющих решений. Имитация позволяет прогнозировать поведение системы в различных условиях, проверить и оценить различные методы управления, обучить специалистов-водохозяйственников управлению.

Имитационная модель – это описание процесса функционирования ВХС на языке ЭВМ. Ее особенностью является достаточно близкое к действительности воспроизведение исследуемого процесса, так как математический аппарат, применяемый при этом, не ограничен каким-то определенным классом уравнений.

Работа по постановке и проведению имитационного моделирования может быть условно разделена на следующие этапы:

- постановка задачи;
- назначение цели исследования;
- разработка модели системы;
- определение параметров управления;
- планирование эксперимента с применением программных продуктов при различных значениях управляющих параметров;
- анализ результатов эксперимента и принятие решений.

Эксперимент заключается в поиске таких управляющих воздействий, которые обеспечивают достижение поставленных целей управления. Он проводится в форме человеко-машинного диалога. Изменение управляющих параметров вызывает изменение результатов функционирования ВХС. Эти результаты, полученные на ЭВМ, анализирует специалист, который принимает решение о дальнейшем изменении управляющих параметров. Процесс продолжается до тех пор, пока найденное решение не будет признано удовлетворительным.

Имитационное моделирование находит широкое применение при построении правил управления сложными водохозяйственными системами, так как позволяет учесть многие неформальные, противоречивые условия их функционирования, трудно поддающиеся точному математическому описанию.

Анализ функционирования водохозяйственных систем возможен не только путем имитации на ЭВМ ее поведения в различных ситуациях.

В некоторых случаях, например, при решении крупных региональных задач оценочного характера, при разработке правил управления не очень сложными ВХС, частных задач управления, целесообразно применение методов оптимизации.

Оптимизация – это процесс нахождения наилучшего варианта решения из множества возможных. Например, выбор наилучшего варианта распределения воды между участниками при ее дефиците, наилучших (оптимальных) параметров системы и т. п. При оптимизации процесс функционирования ВХС записывается, как правило, в виде системы уравнений. Множество целей функционирования ВХС определяет многокритериальность задач управления ими. Однако не существует такой стратегии управления, которая обращает одновременно в максимум (или минимум) каждую из целевых функций ВХС, так как нередко отдельные цели противоречат друг другу (одна цель может быть достигнута за счет другой). Так, получение экономического эффекта при водопотреблении может повлечь за собой ухудшение качества воды и существующих экосистем, максимум рекреационного объема может быть достигнут за счет ухудшения показателей качества воды и т. д.

Таким образом, в условиях многокритериальности возникает проблема неопределенности целей. В этих условиях появляется необходимость поиска путей преодоления неопределенности целей, или, иначе говоря, поиска возможного компромисса, который даст возможность получить решение многокритериальной задачи. Так называемые компромиссные решения являются не строго оптимальными, но приемлемыми по ряду критериев. Задача обоснования решения по нескольким критериям не является до конца формализованной, и окончательный выбор решения осуществляет человек. Дело исследователя – помочь лицу, принимающему решение, сделать выбор не вслепую, а с учетом преимуществ и недостатков каждого варианта решения.

В этих случаях многокритериальную задачу сводят к задаче с единственным критерием (в этом методе используются коэффициенты весомости). Область эффективных решений находится путем исключения из рассмотрения тех вариантов решения, которые заведомо плохи. Для решения указанной задачи применяют также метод последовательных уступок. В этом методе экспертным путем проводят ранжирование целей. Сначала ищут решение, обращающее в максимум наиболее важный критерий. Далее значение этого критерия фиксируется на

некотором уровне, более низком, чем оптимум. При этом ограничении ищут решение, обращающее в максимум, следующий по предпочтительности критерий, который в дальнейшем также фиксируют на некотором, более низком уровне, и процесс оптимизируют по третьему критерию и т. д.

Полученное таким путем решение не является оптимальным ни по одному из критериев, но одновременно учитывает их все. Величину принимаемых уступок назначают экспертным путем. Обосновать их для каждого критерия возможно при предварительном изучении размаха варьирования значений критериев при оптимизации по каждому из них отдельно.

Метод выделения основного критерия наиболее часто применяется при сведении многокритериальной задачи к однокритериальной. При этом среди критериев выделяют некоторый основной, который необходимо обратить в минимум или максимум. На все остальные критерии накладывают некоторые ограничения, т. е. вводят систему контрольных показателей.

В качестве основного критерия чаще всего принимают экономический, так как только рубль является общей единицей измерения таких видов продукции, как электроэнергия, урожай, объем перевозок и т. п. Цели, которые не могут быть выражены в стоимостном измерении (социальные: от наводнения, удовлетворение коммунально-бытовых потребностей, оборона страны, охрана водных ресурсов, экосистем), вводятся в виде ограничений.

1.5. Особенности гидроэнергетики как участника водохозяйственного комплекса

Роль гидроэнергетики в развитии производительных сил и улучшения благосостояния населения. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов. В современных условиях гидроэнергетика – один из важнейших компонентов водохозяйственных комплексов. Она несет основную долю затрат по созданию гидроузлов. Полезный объем водохранилищ действующих гидроэлектростанций составляет 95 % от общего полезного объема всех водохранилищ.

Практически все узлы ГЭС имеют комплексное значение, обеспечивая гарантированное водоснабжение промышленности и населения, а также выработку электроэнергии.

Гидроэнергетика – неотъемлемая и эффективная часть электроэнергетики. Гидроэлектростанции обладают такими достоинствами, как неистощимость энергетических ресурсов, высокая степень их использования (до 90 %), низкие себестоимость вырабатываемой энергии и затраты труда на единицу мощности (в 10 раз меньше, чем на тепловых (ТЭЦ) и атомных (АЭС) электростанциях). Высокая маневренность ГЭС делает их незаменимыми компонентами энергосистем. Принимая на себя неравномерную часть нагрузки, энергосистемы, гидроэлектростанции создают условия для более равномерной работы тепловых и атомных электростанций, чем повышают их надежность и экономичность, улучшают показатели всей энергосистемы. Гидроаккумулирующие электростанции, кроме того, потребляя электроэнергию в ночное время, обеспечивают безостановочную работу агрегатов ТЭС и АЭС. Маневренность гидроэлектростанций позволяет использовать их в качестве эффективного, оперативного, нагрузочного и аварийного резерва энергосистемы.

Водохранилища ГЭС создают благоприятные условия для размещения на них мощных ТЭС и АЭС, требующих больших масс воды для охлаждения.

Гидроэлектростанции благодаря возможности полной автоматизации и телемеханизации, хорошим условиям труда для обслуживающего персонала, отсутствию вредных выбросов в атмосферу и гидросферу являются образцом современных промышленных предприятий.

Понятие об энергетических теоретическом, техническом и экономическом потенциалах рек. Для оценки потенциальных гидроэнергетических ресурсов (без учета потерь при преобразовании водной энергии в электрическую) определяется валовой гидроэнергетический потенциал. Он характеризуется среднегодовой годовой потенциальной энергией $\mathcal{E}_{\text{пот}}$ и среднегодовой потенциальной мощностью $N_{\text{пот}}$.

Годовая потенциальная энергия, исходя из 8760 ч использования в году потенциальной мощности, может определяться по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{пот}} = 8760 N_{\text{пот}}. \quad (1.61)$$

Валовой теоретический гидроэнергетический потенциал рек мира оценивается в 39100 млрд. кВт · ч.

Технический гидроэнергетический потенциал характеризует ту часть водной энергии, которую можно использовать технически.

При определении технического гидроэнергетического потенциала учитываются все потери, связанные с производством электроэнергии,

включая невозможность полного использования стока, что вызвано недостаточным объемом водохранилищ и ограничением мощности ГЭС, в связи с ограниченным использованием верховых и низовых участков рек с малой потенциальной мощностью, потерями на испарение с поверхности водохранилищ и на фильтрацию из водохранилищ, потерями напора и мощности в проточном тракте и энергетическом оборудовании ГЭС.

Экономически эффективный гидроэнергетический потенциал определяет ту часть технического потенциала, которую в настоящее время экономически целесообразно использовать. Следует отметить условность определения экономически эффективного потенциала, так как он базируется на технико-экономическом сравнении с альтернативными источниками электроэнергии, в качестве которых выступают тепловые электростанции, и не учитывает достаточно полно эффективность комплексного использования водных ресурсов. Кроме того, в связи с ростом стоимости органического топлива, а также увеличением стоимости строительства ТЭС с учетом ужесточения требований по охране окружающей среды и др. можно прогнозировать увеличение в перспективе экономически эффективного потенциала, который будет приближаться к техническому гидроэнергетическому потенциалу.

Несмотря на резкое повышение требований по охране окружающей среды, за 40 лет с 1975 г. мировой объем выработки электроэнергии на ГЭС вырос с 1165 до 2650 млрд. кВт · ч и составил около 19 % мирового производства электроэнергии. При этом используется только треть экономически эффективного гидроэнергетического потенциала. Во всем мире установленная мощность ГЭС, находящихся в эксплуатации, в 2000 г. составила 670 млн. кВт, к 2020 г. достигла 887 млн. кВт, а выработка – 3350 млрд. кВт · ч. Данные о гидроэнергетическом потенциале стран, обладающих наибольшими гидроэнергетическими ресурсами, и его использовании приведены в табл. 1.15.

Гидроэнергетические ресурсы не беспредельны, и приходит понимание, что они такое же национальное богатство, как нефть, газ, уголь, уран, в отличие от которых являются возобновляемыми ресурсами.

Самые крупные эксплуатируемые ГЭС имеют установленную мощность: Три ущелья (Китай) – 18,2 млн. кВт, Итайпу (Бразилия – Парагвай) – 12,6 (14,0) млн. кВт, Гури (Венесуэла) – 10,3 млн. кВт, Тукуру (Бразилия) – 7,2 млн. кВт, Гренд Кули (США) – 6,5 млн. кВт, Саяно-Шушенская – 6,4 млн. кВт и Красноярская (Россия) – 6 млн. кВт, Черчилл-Фолс – 5,4 млн. кВт и Ла Гранде (Канада) – 5,3 млн. кВт.

Таблица 1.15. Данные о гидроэнергетическом потенциале и его использовании в странах, имеющих наибольшие гидроэнергетические ресурсы

Страна	Гидроэнергетический потенциал, выработка		Освоение гидроэнергетического потенциала		
	Технический, млрд кВт · ч	Экономически эффективный, млрд кВт · ч	Мощность, млн. кВт	Выработка	
				млрд. кВт · ч	% от экономически эффективного потенциала
Китай	2474	1750	171,0	684,0	39
Россия	1670	852	49,7	180,0	21
Бразилия	1300	763,5	84,0	365,0	48
Канада	981	536	72,7	350,0	65
Конго	774	419	2,5	7,2	2
Индия	660	442	40,0	123,6	28
США	528,5	376	78,2	308,8	82
Таджикистан	–	263,5	4,0	16,1	6
Перу	395	260	3,3	19,5	7
Венесуэла	260,7	100	14,6	83,0	83
Турция	216	130	13,6	46,3	34

Анализируя мировой опыт развития энергетики, следует отметить, что практически все наиболее развитые страны в первую очередь интенсивно осваивали свои гидроэнергетические ресурсы и достигли высокого уровня их использования (табл. 1.16). Так, гидроэнергетические ресурсы в США использованы на 82 %, в Японии – на 90 %, в Италии, Франции, Швейцарии – на 95–98 %.

Таблица 1.16. Данные о гидроэнергетическом потенциале стран, максимально его использующих

Страна	Гидроэнергетический потенциал, выработка, млрд. кВт · ч		Освоение гидроэнергетического потенциала		
	технический	экономически эффективный	Мощность, млн. кВт	Выработка	
				млрд. кВт · ч	% от экономически эффективного потенциала
1	2	3	4	5	6
Европа					
Франция	72	71,5	25,2	69,8	98

1	2	3	4	5	6
Швейцария	41	35,5	13,4	34,5	97
Италия	69	54	17,5	51,6	96
Германия	25	20	4,5	17,2	86
Финляндия	16,9	16,0	3,1	13,9	86
Швеция	130	90	16,3	65,0	72
Австрия	56,2	53,7	11,9	37,6	70
Азия					
Япония	135,6	114,3	22,0	102,6	90
Северная и Центральная Америка					
США	528,5	376	78,2	308,8	82
Мексика	49,0	33	11,3	24,6	76
Канада	981	536	72,7	350,0	65
Южная Америка					
Венесуэла	260,7	100	14,6	83,0	83
Парагвай	85	68	8,4	54,2	79
Австралия и Океания					
Австралия	60	30	7,7	17,5	60

В мире сохраняется тенденция к постоянному увеличению использования вечно возобновляемых гидроэнергетических ресурсов, особенно в слаборазвитых и развивающихся странах, развитие энергетики в которых идет по пути первоочередного применения именно гидроэнергетических ресурсов. При этом строительство ГЭС в основном перемещается в предгорья и горные районы, где их отрицательное влияние на окружающую среду значительно уменьшается.

Годовые и суточные графики нагрузки энергосистем. Роль ГЭС в энергосистемах. Потребители электрической энергии и электроэнергетические системы. По характеру использования электрической энергии все потребители могут быть разделены на три основные группы:

- постоянные потребители, спрос на энергию которых в течение года не изменяется (большинство промышленных предприятий, нагрузка которых уменьшается лишь в выходные и праздничные дни);
- потребители с сезонно-изменяющейся нагрузкой (освещение, пригородный железнодорожный транспорт, водоснабжение);
- сезонные потребители (сельскохозяйственное производство, торфоразработки, машинное орошение и пр.).

Снабжение энергией потребителей обеспечивается обычно от целого ряда электростанций (тепловых, атомных и гидравлических), кото-

рые соединены между собой высоковольтными линиями передач и работают на общую сеть одного напряжения. Совокупность электростанций, подстанций и потребителей электроэнергии, связанных между собой высоковольтными линиями передач и электрическими сетями, при общем централизованном управлении называют электроэнергосистемой.

При объединении электрических станций в энергосистему значительно повышаются надежность и бесперебойность снабжения электрической энергией потребителей, повышается качество энергии в отношении постоянства частоты и напряжения тока, уменьшается суммарная установленная мощность электростанций благодаря несовпадению по времени максимальных нагрузок отдельных потребителей энергии, снижается резервная мощность, уменьшается себестоимость энергии.

График суммарной нагрузки потребителей, объединенных в одну общую систему, является графиком нагрузки энергосистемы.

Годовой график нагрузки имеет относительно небольшую неравномерность (рис. 1.25, *а*). Для промышленных районов максимум нагрузки обычно падает на зимний период, для сельскохозяйственных районов с сильно развитым машинным орошением – на лето.

Суточный график нагрузки (рис. 1.25, *б*) имеет очень большую неравномерность и характеризуется двумя пиками – утренним и вечерним, связанными со сменностью работы предприятий, осветительной и бытовой нагрузкой. Особенно высок пик вечерний, когда подключается большое число светильников, рекламных щитов, бытовых приборов и двигателей электротранспорта.

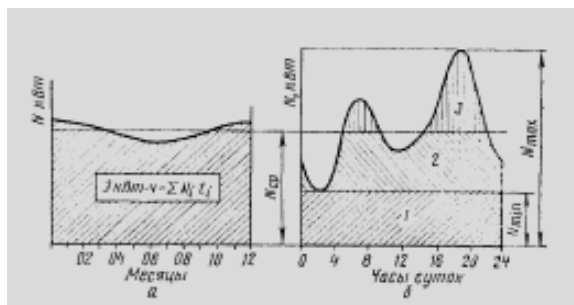


Рис. 1.25. Графики электрической нагрузки: *а* – годовой; *б* – суточный;
1 – базисная часть графика; 2 – средняя; 3 – пиковая

На графиках суточной нагрузки выделяют три характерные части: базисную (базис) – ниже линии минимальной мощности, где нагрузка постоянна в течение суток; среднюю (полупиковую) – между линиями минимальной и среднесуточной мощностей; пиковую – выше линии среднесуточной мощности.

Удовлетворение электрической энергией по заданному графику нагрузки всех потребителей называют покрытием графика нагрузки.

Для покрытия графика нагрузки мощность электростанций должна изменяться (рис. 1.25, б). Это затрудняет работу последних и снижает их КПД. Для сглаживания графиков нагрузки потребителей объединяют в энергосистемы, вводят льготные тарифы на электрическую энергию в ночные часы, переводят энергоемкие производства на круглосуточную работу. Выравниванию суточных графиков нагрузки может способствовать развитие машинного орошения, если работу насосных станций приурочивать к периодам провалов графика. В районах, где особенно трудно с подачей пиковой энергии, строят гидроаккумулирующие электростанции – ГАЭС, которые в часы провалов графика нагрузки работают в насосном режиме, перекачивая воду из нижнего бьефа в верхний, а в часы пиковой нагрузки – в турбинном, используя накачанную воду для выработки энергии. Неоценимую помощь энергосистемам в покрытии графика нагрузки оказывают гидроэлектростанции, легко воспринимающие неравномерную нагрузку. При наличии водохранилищ они очень экономно используют гидроресурсы, запасая воду в периоды малой нагрузки и используя ее в периоды пиков.

Под влиянием солнечной энергии на земном шаре происходит непрерывный кругооборот воды, которая, испаряясь с водной и земной поверхности, затем снова возвращается в виде осадков. Здесь под действием сил тяжести образуются водотоки – ручьи, речки, реки. В естественном состоянии речной поток непрерывно совершает работу, которая затрачивается на преодоление внутренних и внешних сопротивлений, на размыв русла и перенос продуктов размыва. В итоге механическая энергия водотока превращается в тепловую и рассеивается.

Энергия воды и основные способы ее использования. Человек с давних времен пытается получить эту энергию для своих целей. Наиболее эффективно она используется для выработки электроэнергии на специальных установках – гидроэлектрических станциях.

Для рационального использования энергии водотока необходимо сосредоточить падение воды в каком-либо одном месте. Для этого используют гидротехнические сооружения, создающие перепад уровней – напор. Он может быть создан с помощью плотин или деривационных водоводов.

Плотину возводят в конце используемого участка реки, создавая подпор. В водохранилище образуется кривая подпора, которая показывает, что часть напора h_w будет затрачиваться на перемещение воды в верхнем бьефе, поэтому действующий напор брутто на ГЭС ($H_{ГЭС}$) будет меньше падения реки. С помощью плотин можно создавать напор до 300–400 м.

Деривационный способ создания напора основан на разности уклонов в реке и в деривационном водоводе. Чем больше уклон реки и длиннее деривация, тем больший напор может быть получен. Деривация может быть безнапорной – канал, лоток, безнапорный туннель (рис. 1.26, *а*) или напорной – напорный туннель, трубопровод (рис. 1.26, *б*). В последней схеме уравнильный резервуар служит для смягчения гидравлического удара в турбинном водоводе.

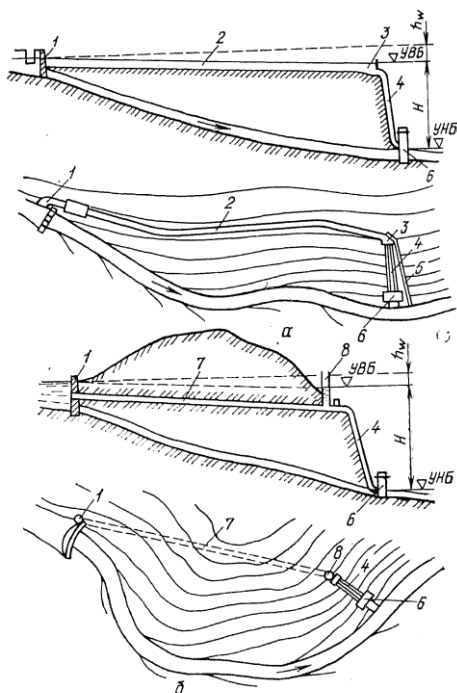


Рис. 1.26. Схемы деривационных ГЭС: *а* – с безнапорной деривацией; *б* – с напорной деривацией; 1 – головной водозаборный узел; 2 – деривационный канал; 3 – напорный бассейн; 4 – турбинный трубопровод; 5 – холостой водосброс; 6 – здание станции; 7 – напорный туннель; 8 – уравнильный резервуар

В практике встречаются смешанные схемы ГЭС: плотинно-деривационные, в которых напор создается как плотиной, так и деривацией, и смешанные деривационные, в которых имеются и напорные, и безнапорные водоводы.

Деривационные ГЭС сооружают на горных реках и предгорных участках, где имеются значительные уклоны. С помощью деривации могут быть получены напоры 1000 м и более. В деривационных схемах ГЭС часть напора также затрачивается на преодоление сопротивления в деривации (рис. 1.26). Кроме этого потери напора будут иметь место в турбинном водоводе, поэтому действующим напором ГЭС (напором нетто) является разность удельных энергий потока непосредственно перед турбиной и за ней – в нижнем бьефе.

1.6. Гидросиловое оборудование гидроэлектрических станций

Преобразование гидравлической энергии в электрическую. Установленная мощность ГЭС. Мощность водотока на некотором участке реки длиной L определяют следующим образом. Работа потока J (Дж), совершаемая силой тяжести на этом участке за время t , будет равна

$$J = \rho g W H, \quad (1.62)$$

где ρ – плотность воды;

g – ускорение свободного падения;

W – объем воды, протекающей по участку за время t ;

H – перепад высоты русла реки на участке L .

Выражая объем воды через секундный расход реки Q ($\text{м}^3/\text{с}$) и время t (с), получим

$$J = \rho g Q H t. \quad (1.63)$$

Мощность потока N (Вт), т. е. работа в единицу времени будет равна

$$N = \rho g Q H. \quad (1.64)$$

При $\rho g = 9,81 \text{ кН/м}^3$ получим мощность в киловаттах

$$N = 9,81 Q H. \quad (1.65)$$

Получаемая энергия $\mathcal{E}$ (кВт · ч) от водотока за время T (ч) будет равна

$$\mathcal{E} = N T. \quad (1.66)$$

Потери энергии в турбине учитывают ее коэффициентом полезного действия η_t , следовательно, полезная мощность на валу турбины N_t (кВт) будет равна

$$N_t = 9,81 Q_t H Q \eta_t. \quad (1.67)$$

Электрическая мощность на зажимах генератора N_r будет меньше на величину электрических потерь в нем, учитываемых КПД генератора η_r

$$N_r = 9,81 Q_t H Q \eta_t \eta_r. \quad (1.68)$$

Суммарную мощность всех генераторов станции называют установленной мощностью ГЭС $N_{уст}$ и определяют по формуле

$$N_{уст} = 9,81 Q_{ГЭС} H \eta_a. \quad (1.69)$$

При транспортировании электрической энергии к потребителям происходят потери в повышающих и понижающих трансформаторах, линиях передач (ЛЭП) и распределительных сетях. Поэтому до потребителя доходит лишь 50–70 % энергии водотока.

Гидросиловое оборудование. 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 1200. 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. 1.27.

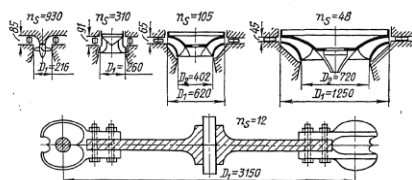


Рис. 1.27. Основные размеры рабочих колес гидротурбин разной быстроходности при $N = 1$ кВт и $H = 1$ м (размеры даны в см)

Схема установки с активной турбиной показана на рис. 1.28. 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. 1.28). 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 $H = 50\text{--}2000$ м.

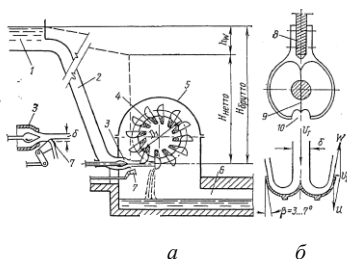


Рис. 1.28. Схема установки с активной (ковшовой) турбиной:
 а – схема установки; б – схемалопасты (ковша); 1 – напорный бассейн;
 2 – турбинный трубопровод; 3 – сопло с регулирующей иглой; 4 – рабочее колесо;
 5 – защитный кожух; 6 – отводящий канал; 7 – отклонитель струи;
 8 – диск рабочего колеса; 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. 1.29. Радиально-осевые турбины установлены на многих электростанциях с напорами более 50 м.

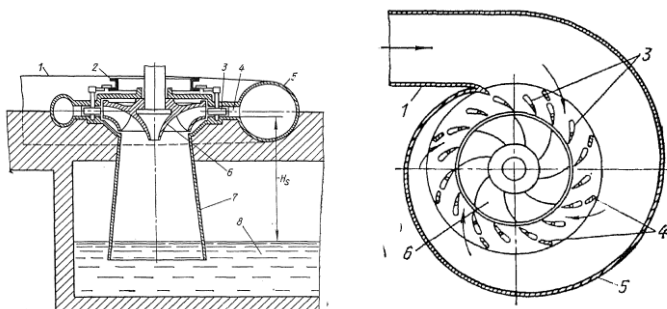


Рис. 1.29. Схема установки с радиально-осевой турбиной: 1 – трубопровод; 2 – поворотное кольцо привода лопаток направляющего аппарата; 3 – лопатки направляющего аппарата; 4 – статорные колонны; 5 – спиральная турбинная камера; 6 – рабочее колесо турбины; 7 – отсасывающая труба; 8 – отводящий канал

2. Пропеллерные турбины (Пр). Эти турбины (рис. 1.30) быстроходны ($n_s = 350\text{--}800$), применяют их при малых напорах (3–20 м). Рабочее колесо турбины напоминает пропеллер (рис. 1.31, а). Поток проходит по рабочему колесу в осевом направлении, поэтому их называют еще осевыми. Число лопастей принимают 4–6. Недостаток таких турбин – резкое падение КПД при снижении нагрузки. Высокий КПД наблюдается в очень узком диапазоне мощностей (рис. 1.31, а). По-

этому пропеллерные турбины применяют редко. Использование их целесообразно лишь при мало изменяющейся нагрузке или при большом числе агрегатов.

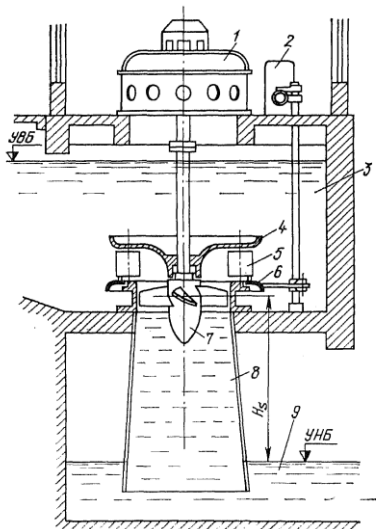


Рис. 1.30. Схема установки с пропеллерной турбиной в открытой турбинной камере:
1 – генератор; 2 – автоматический регулятор частоты вращения турбины; 3 – турбинная камера; 4 – крышка турбины; 5 – лопатки направляющего аппарата; 6 – поворотное кольцо привода лопаток направляющего аппарата; 7 – втулка 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. 1.31, 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. 1.31, б). Число лопастей изменяется от 4 до 8. С увеличением числа лопастей быстроходность турбины снижается. Поворотно-лопастные турбины имеют самую высокую быстроходность ($n_s = 350\text{--}1200$), и применяют их при напорах от 4 до 60 м.

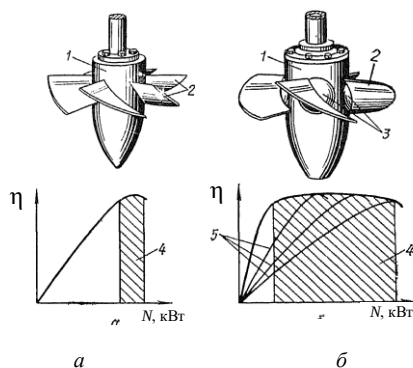


Рис. 1.31. Рабочие колеса и рабочие характеристики пропеллерной (а) и поворотно-лопастной (б) турбин: 1 – втулка рабочего колеса; 2 – лопасти турбины; 3 – поворотная втулка лопастей; 4 – зоны высоких КПД турбины; 5 – характеристики пропеллерных режимов турбины при различных углах установки лопастей

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. 1.30). 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. 1.31). 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.

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 перегородаживающую 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 – безнапорными 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. 1.32).

Подвод трубопровода к зданию может быть фронтальным (рис. 1.32, *а, в, з*) и продольным (рис. 1.32, *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.

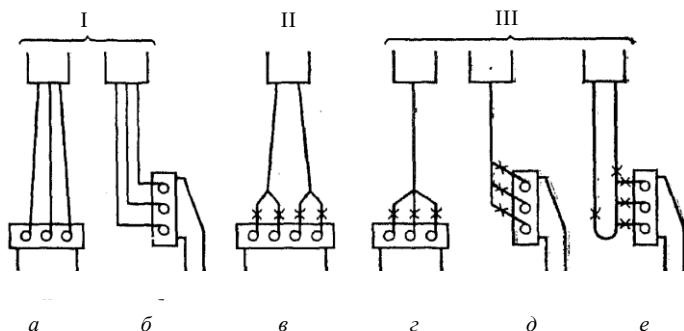


Рис. 1.32. Способы питания турбин при различном подводе трубопроводов к зданию станции: I – раздельное; II – групповое; III – объединенное;
а, в, з – фронтальный подвод; б, д, е – продольный подвод

Железобетонные трубопроводы обычно засыпают землей, что позволяет делать их без температурных компенсаторов. Деревянные и стальные делают открытыми.

Деревянные трубопроводы делают непрерывными и отбирают из отдельных брусьев из смолистых пород дерева. Напор удерживают стальные бандажы, затягиваемые с помощью специальных башмаков.

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.

Уравнительные резервуары. При регулировании турбин в турбинном водоводе возникает гидравлический удар, обычно не прямой, величина которого прямо пропорциональна длине водовода. При длинных напорных линиях удар может оказаться недопустимо большим по условию регулирования турбин и из экономических соображений. Уравнительный резервуар, соединяя водовод с атмосферой, делит его на два характерных участка с различными гидравлическими режимами (рис. 1.33).

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.

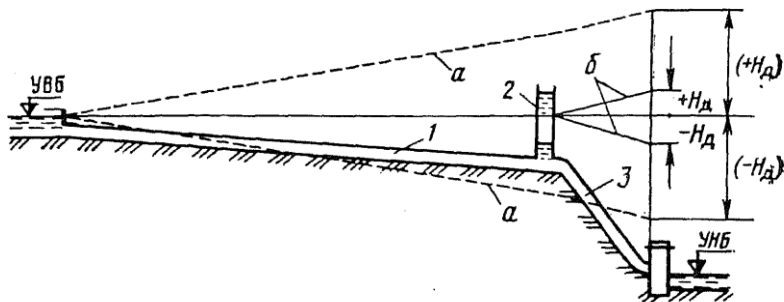


Рис. 1.33. Схема распространения максимального и минимального динамических давлений по длине трубопровода: а – при отсутствии уравнительного резервуара; б – при его наличии; 1 – деривационный трубопровод; 2 – уравнительный резервуар; 3 – турбинный трубопровод

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

Кавитация и допустимая высота отсасывания. Кавитация – это явление, связанное с холодным вскипанием воды. Известно, что температура кипения воды зависит от давления. Чем меньше давление, тем при более низкой температуре она закипает. При температуре 20 °С вода закипит, если давление снизится до 24 кПа, т. е. станет почти равным 0.

При вскипании воды в потоке образуются пузырьки пара. Пар, когда эти пузырьки попадут в зону, где давление больше упругости водяных паров при данной температуре, конденсируется, образуя пустоты. Эти пустоты моментально смыкаются, и происходит гидравлический удар с повышением давления до нескольких мегапаскалей.

Очагом кавитации в турбинах обычно является тыльная сторона лопастей турбин, где давление, близкое к нулю, образуется за счет разрежения, создаваемого отсасывающей трубой, и за счет отжима потока на выпуклой поверхности лопастей.

Разрушению элементов турбин способствуют также сопутствующие кавитации явления: выделение из воды в зоне разрежения кислорода, повышение температуры, вибрация. При сильно развитой кавитации турбины могут выйти из строя через 1–2 года. Разрушительное действие кавитации можно уменьшить, если применять специальные высокопрочные материалы и тщательно обрабатывать поверхность. При кавитации появляется шум, снижаются КПД и пропускная способность турбин.

Избежать кавитации можно, если не допускать снижения давления за пределы упругости водяных паров. Этого можно достичь без ущерба для выработки электроэнергии путем уменьшения высоты отсасывания H_s , но при этом ухудшаются условия строительства и эксплуатации ГЭС.

Предельную высоту поднятия турбины над уровнем нижнего бьефа находят по формуле (м)

$$H_s \leq 10 - \frac{900}{v} - \sigma H, \quad (1.70)$$

где v – абсолютная отметка положения турбины, м;

σ – коэффициент кавитации турбин;

H – напор ГЭС, м.

Коэффициент кавитации определяют опытным путем на специальных кавитационных стендах и дают для каждого типа турбин. Он тем больше, чем выше быстроходность турбин. Так, для РО турбин $\sigma = 0,03\text{--}0,27$, для ПЛ турбин $\sigma = 0,21\text{--}1,4$.

Если полученная по формуле (1.70) высота отсасывания окажется отрицательной, то турбину надо расположить на H_s ниже уровня воды в реке.

1.7. Подбор гидротурбин и компоновка ГЭС

Номенклатура гидротурбин. На различных электростанциях требуются свои рациональные турбины по мощности, типу, конструкции, размеру. С целью стандартизации промышленного производства и унификации маркировки разработаны номенклатуры турбин, объединяющие их в классы, системы и серии, охватывающие весь возможный диапазон напоров и мощностей.

Под классами понимают активные и реактивные турбины, под системой – тип турбины (ПЛ, РО, Пр, Кв), под серией – ряд турбин различных диаметров одной серии.

Современная номенклатура предусматривает маркировку турбин из трех частей: например, ПЛ 40/07-В-500 или РО 80/01-В-300 (первые буквы обозначают систему турбины; следующие числа обозначают: в числителе – предельный напор для данной турбины, в знаменателе – заводской номер; буква второй части марки обозначает положение вала турбины: В – вертикальное, Г – горизонтальное; цифра, следующая за буквой, обозначает диаметр рабочего колеса в сантиметрах).

Номенклатурой приняты следующие диаметры крупных гидротурбин: 180, 190, 200, 212, 224, 236, 250, 265, 280, 300, 315, 335, 355, 375, 400, 425, 450, 475, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1060 см.

Для облегчения выбора серии (типа) турбин составлены сводные графики областей применения (рис. 1.34), а для предварительного выбора основных параметров турбин данной серии (диаметра, частоты вращения и высоты отсасывания) – частные графики областей применения (рис. 1.35).

Механическая энергия гидротурбин передается на генераторы, которые вырабатывают электрическую энергию. На электростанциях применяют синхронные генераторы трехфазного тока. Подбирают их по требуемой активной мощности N_r и синхронной частоте вращения n . Синхронные частоты вращения зависят от числа пар полюсов генератора p , их определяют по формуле

$$n = \frac{60f}{p}, \quad (1.71)$$

где f – частота переменного тока.

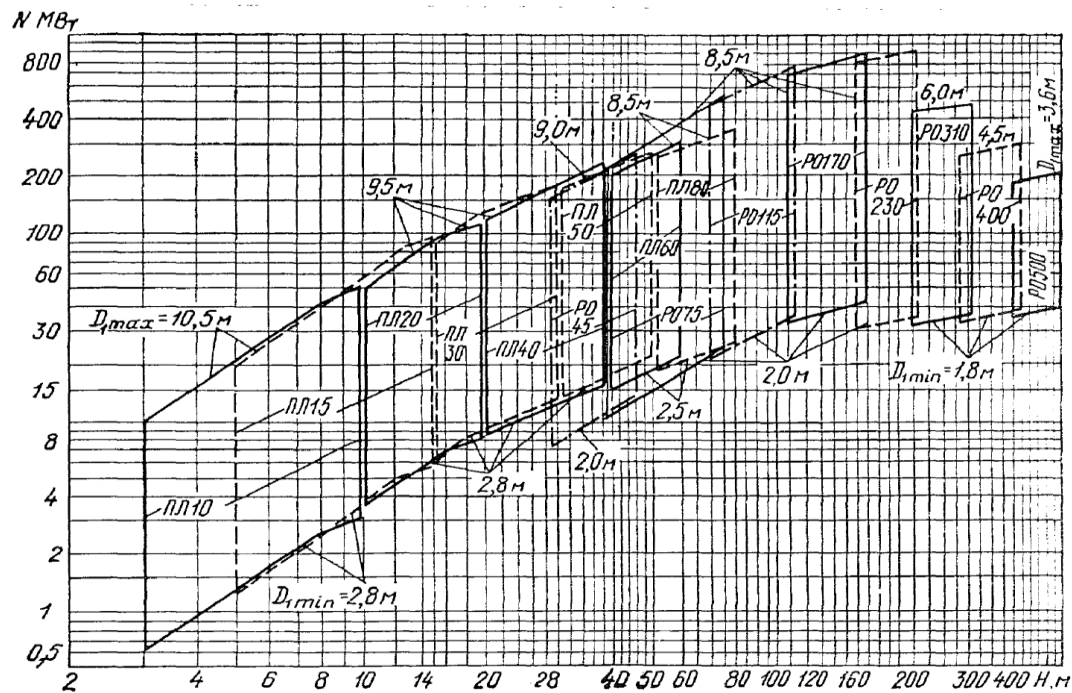


Рис. 1.34. Сводный график областей применения крупных вертикальных поворотно-лопастных и радиально-осевых гидротурбин

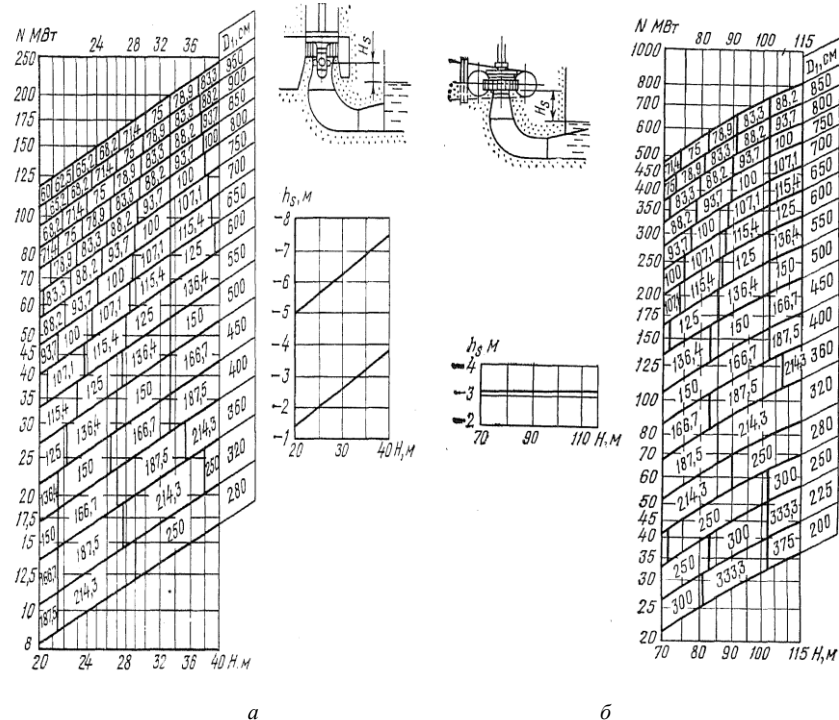


Рис. 1.35. Частные графики применения гидротурбин: а – поворотно-лопастной ПЛ40; б – радиально-осевой РО115

Марка генератора записывается так: СВ 425/150-20 (генератор синхронный, на вертикальном валу, наружный диаметр расточки статора составляет 425 см, длина активной стали – 150 см, число полюсов – 20; число пар полюсов $p = 10$, поэтому частота вращения этого генератора, определенная по формуле (3.71), $n = 3000 / 10 = 300 \text{ мин}^{-1}$.

Для поддержания синхронной частоты вращения агрегата применяются автоматические регуляторы турбин, которые следят за частотой вращения агрегата и при малейшем их изменении дают импульс на открытие или закрытие направляющего аппарата, обеспечивая равновесие между турбиной и генератором. Автоматический регулятор состоит из двух частей: маслonaпорной установки (МНУ), подающей масло в сервомоторы направляющего аппарата для его открытия или закрытия, и колонки регулятора, в которой сосредоточены механизмы автоматики.

Подобие гидротурбин. Получить наивысший КПД только на основе теоретических расчетов, как правило, не удастся. Требуется экспериментальная доработка всех элементов проточной части турбины, которая проводится на моделях в лабораториях. Для соблюдения полного гидродинамического подобия турбины с моделью необходимо:

1) геометрическое подобие всех элементов турбин, вплоть до подобия шероховатости поверхностей турбины и модели. Масштаб геометрического подобия λ определяется через отношение диаметров натурной турбины D_{1H} и ее модели D_{1M} . Масштаб $\lambda = D_{1H} / D_{1M}$;

2) кинематическое подобие, т. е. подобие режимов, называемых изогональными, при которых треугольники скоростей потока в геометрически подобных точках турбины и модели подобны и отношение соответствующих скоростей одинаково;

3) динамическое подобие, т. е. подобие всех действующих сил в геометрически подобных точках турбины и модели при изогональных режимах. Можно доказать, что для этого необходимо соблюдение чисел Рейнольдса Re и Фруда Fr .

Первые два условия всегда соблюдаются.

Соблюсти одновременно подобие чисел Fr и Re не представляется возможным. Однако при изучении вопросов, связанных с силами трения, подобием по Фруду можно пренебречь. Достаточно было бы соблюсти подобие чисел Рейнольдса. Практически это также оказывается невозможным. Но турбина и модель работают далеко за пределами критических чисел Рейнольдса, т. е. в зонах автомодельности. Поэто-

му, чтобы соблюсти условия моделирования, достаточно убедиться, что модель работает за пределами критического числа Рейнольдса.

Естественно, что при этих допущениях абсолютно полного подобия не получится и геометрически подобные турбины разных размеров, устанавливаемые на разные напоры, несколько отличаются друг от друга по КПД и другим параметрам.

Основные уравнения подобия можно получить сравнительно просто, если предположить, что КПД турбины не влияет на скорость потока воды в рабочем колесе. Тогда скорость потока на входе в рабочее колесо (рис. 1.36) можно представить, как функцию напора

$$V_1 = R_v \sqrt{2gH}. \quad (1.72)$$

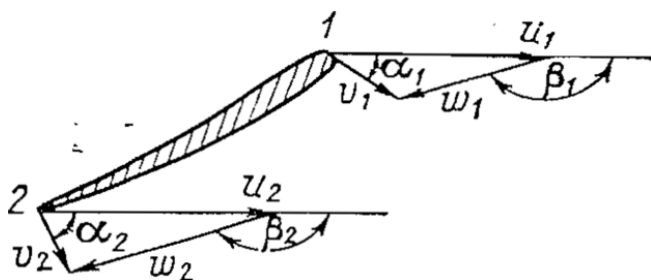


Рис. 1.36. Треугольники скоростей на входной 1 и выходной 2 кромках рабочей лопасти турбины

Для окружной скорости U_1 можно записать следующую зависимость:

$$U_1 = R_u \sqrt{2gH}. \quad (1.73)$$

При изогональном режиме скоростные коэффициенты R_v и R_u сохраняют свое значение, т. е. остаются одинаковыми для всех турбин данной серии. Так как

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}, \quad (1.74)$$

частота вращения n будет равна

$$n = \frac{60 U_1}{\pi D_1} = \frac{60 R_u \sqrt{2gH}}{\pi D_1}. \quad (1.75)$$

Обозначим через n'_1 постоянную величину

$$n'_1 = \frac{60 R_v \sqrt{2g}}{\pi D_1}. \quad (1.76)$$

Тогда можно записать

$$n = n'_1 \frac{\sqrt{H}}{D_1}. \quad (1.77)$$

Величина n'_1 называется приведенной частотой вращения. Как видно из уравнения (1.76), частоту n'_1 будет иметь турбина диаметром $D_1 = 1$ м при работе с напором $H = 1$ м.

Расход турбины Q можно подсчитать, умножив площадь f входного сечения на осевую составляющую скорости

$$V_z = V_1 \sin \alpha_1. \quad (1.78)$$

Площадь можно записать как

$$f = \frac{\pi D_1^2 k}{4}, \quad (1.79)$$

где k – коэффициент стеснения входного сечения лопастями рабочего колеса.

Таким образом, получаем

$$Q = f V_z = \frac{\pi D_1^2 k}{4} V_1 \sin \alpha_1 = \frac{\pi D_1^2 k}{4} R_v \sqrt{2gH} \sin \alpha_1. \quad (1.80)$$

Обозначим через Q'_1 постоянную величину

$$Q'_1 = \frac{\pi k}{4} R_v \sqrt{2g} \sin \alpha_1, \quad (1.81)$$

и тогда

$$Q = Q'_1 D_1^2 \sqrt{H}, \quad (1.82)$$

где Q'_1 – приведенный расход, т. е. расход турбины диаметром $D_1 = 1$ м при напоре $H = 1$ м.

Мощность турбины N можно определить исходя из следующей зависимости:

$$N = \rho g Q'_1 D_1^2 H^{1,5} \eta. \quad (1.83)$$

Обозначим через

$$N'_1 = \rho g Q'_1 \eta, \quad (1.84)$$

и тогда

$$N = N'_1 D_1^2 H^{1,5}. \quad (1.85)$$

Опираясь на уравнения (1.77), (1.82), (1.85), можно получить следующие зависимости:

$$n'_1 = \frac{n D_1}{\sqrt{H}}; \quad (1.86)$$

$$Q'_1 = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}}; \quad (1.87)$$

$$N'_1 = \frac{N}{D_1^2 H^{1,5}}. \quad (1.88)$$

Уравнения 1.86–1.88 называются уравнениями подобия гидротурбин в первом приближении. Однако в данных уравнениях не учитывается зависимость КПД гидротурбины от ее диаметра. Если учесть данный факт, то уравнение 1.86 примет следующий вид:

$$n = n'_1 \frac{\sqrt{H}}{D_1} \sqrt{\frac{\eta_r}{\eta_{г. м}}}. \quad (1.89)$$

На расход Q влияет как гидравлический, так и объемный КПД и тогда

$$Q = (Q'_1 + \Delta Q'_1) D_1^2 \sqrt{H}, \quad (1.90)$$

где

$$\Delta Q'_1 = Q'_1 \left(\sqrt{\frac{\eta_r}{\eta_{г. м}}} - 1 \right). \quad (1.91)$$

Мощность гидротурбины с учетом ее КПД можно определить по формуле

$$N = 9,81 Q'_1 D_1^2 H^{1,5} (\eta_m + \Delta \eta), \quad (1.92)$$

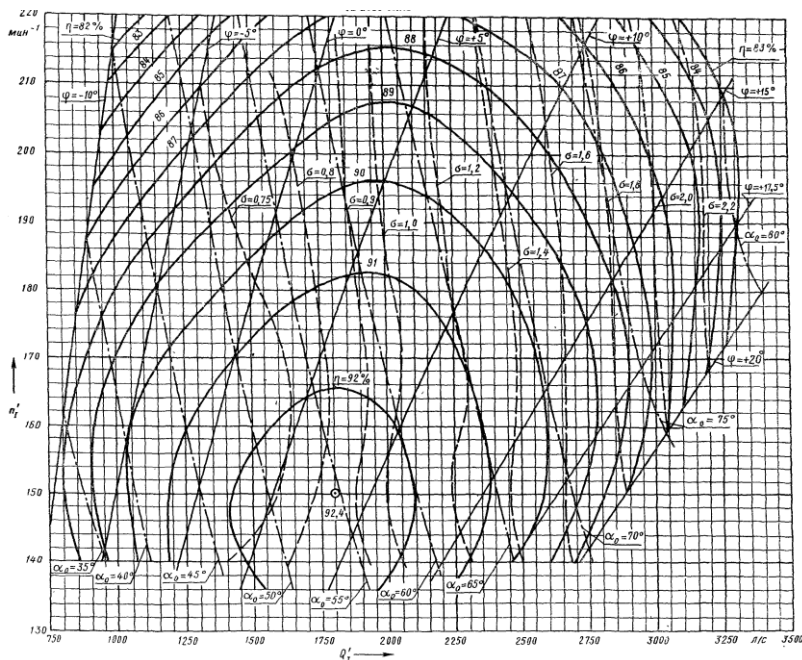
где η_m – КПД модели;

$\Delta \eta$ – поправка к КПД модели.

Диаметр турбины можно установить исходя из ее номинальной мощности N_T , расчетного расхода H_P и расчетного приведенного расхода воды Q'_{1P}

$$D_1 = \sqrt{\frac{N_T}{9,81 Q'_{1P} H_P^{1,5} (\eta_M + \Delta\eta)}}. \quad (1.93)$$

Главные универсальные характеристики гидротурбин. Основная характеристика, которая носит название главной универсальной характеристики (рис. 1.37), строится в координатах Q_1 . По оси абсцисс откладывают Q_1 , а ординат — η_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 $N = 0,95N_{\max}$.



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.

Микро- и макроэлектростанции, перспективы их развития. 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 использоваться 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 предопределяется 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.

Вместе с тем создание ГЭС связано с большими удельными первоначальными затратами (капитальными вложениями), которые на 1 кВт мощности в 2 раза и более выше таковых в тепловых электростанциях. Но при этом следует учитывать, что половина стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой на ГЭС, – это цена газа или мазута.

Возможно также негативное влияние водохранилищных ГЭС на окружающую природную среду и условия проживания людей в зонах

влияния. Это проявляется прежде всего в затоплении и последствиях подтопления земель. Однако для уменьшения (предупреждения) этого основным положением рационального использования гидроэнергоресурсов в природных условиях Беларуси с характерным для нее равнинным рельефом территории является проведение технической политики в гидроэнергостроительстве, направленной на уменьшение площадей затопления и подтопления путем соответствующего выбора створов и водоподпорных отметок гидроузлов, а также на ограничение площади образующихся мелководий и степени регулирования речного стока, чем достигается уменьшение периода водообмена и тем самым улучшение качества воды в водохранилище.

По утвержденной концерном «Белэнерго» Программе строительства и восстановления объектов гидроэнергетики на период до 2020 г. предусмотрено строительство ГЭС на основных реках Беларуси общей установленной мощностью 200 МВт и ряд малых ГЭС на их притоках мощностью каждой не менее 100 кВт с удельными затратами не более 2000 долл. США/кВт. Разработаны архитектурные проекты первых двух ГЭС средней мощности на Западной Двине и Немане – Полоцкой (28 МВт) и Гродненской (17 МВт).

Распределение общей установленной мощности ГЭС по административным областям согласно этой Программе характеризуется табл. 1.17.

Таблица 1.17. Мощности ГЭС по областям и годам

Область	Установленная мощность (МВт)					
	2003 г.	2006 г.	2009 г.	2013 г.	2016 г.	2020 г.
Брестская	0,10	0,52	0,79	1,08	1,37	1,37
Витебская	2,09	30,49	60,99	110,99	139,99	144,89
Гродненская	2,42	19,42	39,92	39,92	39,92	39,92
Минская	2,04	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24
Могилевская	4,05	4,33	4,67	30,67	30,67	30,67
Всего	10,70	57,00	108,60	148,90	214,20	219,1

Из таблицы следует, что большее развитие гидроэнергетики предусматривается в Витебской, Гродненской и Могилевской областях, что обусловлено нахождением в их границах участков бассейнов рек Западная Двина, Неман и Днепр, представляющих в Беларуси наибольшую энергетическую ценность.

Реализация принятой Программы развития гидроэнергетики будет способствовать более благоприятному режиму работы Белорусской

энергосистемы, уменьшению зависимости республики от импорта топлива.

Неразрывность процесса выработки и потребления электроэнергии требует от энергосистем оперативного маневрирования мощностями, что достигается вводом в эксплуатацию ГЭС, гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС), газотурбинных и специальных пиковых паратурбинных электростанций.

Оптимальным путем развития электроэнергетических систем считается создание необходимых маневренных мощностей на ГЭС или ГАЭС. При этом ГАЭС занимают особое место, поскольку являются как высокоманевренным источником пиковой мощности, так и потребителем-регулятором для заполнения ночного провала графика электрической нагрузки. В отличие от обычных ГЭС пиковая энергоотдача ГАЭС не зависит от водности года. Строительство ГАЭС требует значительно меньших размеров отчуждения земель, чем для речных ГЭС.

Следует отметить, что наиболее маневренные среди тепловых электростанций газотурбинные установки требуют на пуск агрегата из холодного состояния 15–20 мин, тогда как время пуска гидроагрегата ГЭС или ГАЭС только 2 мин.

Создание необходимых мощностей на обычных ГЭС часто не покрывает потребности энергосистемы в маневренной мощности (до 20 % от введенной мощности электростанций всех типов). Во многих странах наиболее экономически эффективные гидроэнергоресурсы либо уже использованы, либо ограничены, как в природных условиях Беларуси. В такой ситуации наиболее приемлемым путем решения проблемы является создание ГАЭС.

Следует также отметить, что в современных условиях, а в перспективе в особенности, участие ГЭС и ГАЭС в покрытии пиковой части суточного графика нагрузок и заполнения его провалов уже не является основным их назначением. Они должны поддерживать постоянными уровни напряжения и частоты в электроэнергетической системе, выполнять функции резерва быстрого ввода. Это обусловлено особенностями современных промышленных технологий, требующих высокой степени надежности электроснабжения и высокого качества электроэнергии.

Возможности использования гидроаккумулирования в электроэнергетике не ограничиваются традиционным путем создания ГАЭС для регулирования режима работы энергосистем. В комплексе с ГАЭС возможно более эффективное использование ветроэнергетических

установок, что обуславливается нерегулярным характером источника ветровой энергии. Так, в Нидерландах разработан проект энергокомплекса, включающего ветровую электростанцию мощностью 3000 МВт и ГАЭС мощностью 2400 МВт с обратимыми гидроагрегатами напором 23 м, причем бассейны ГАЭС размещены в заливе, отгороженном от моря дамбами.

В условиях Беларуси имеются пригодные площадки для размещения ветрогидроэнергетических комплексов с использованием водоподъемных устройств. Такие комплексы могут функционировать как для гидроаккумулирования энергии ветра, так и для расширения освоения низконапорного потенциала рек путем водоподъема части речного стока на возвышающиеся над руслами рек участки прилегающих земель с последующей сработкой накопленных объемов воды при производстве пиковой электроэнергии, например, для локального электроснабжения.

Компоновка гидроузлов с микро- и малыми гидроэлектростанциями. При проектировании малых ГЭС производится выбор между двумя основными компоновками:

- 1) плотинная компоновка;
- 2) деривационная компоновка.

Плотинная компоновка. Компоновка узла определяется параметрами плотины и здания ГЭС. Длину водосливного фронта $D_{\text{в}}$ плотины определяют, исходя из расчетного максимального расхода данного водотока $Q_{\text{в}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) и допустимого удельного расхода q ($\text{м}^3/\text{с}$) на один метр длины водосливного фронта.

Компоновка сооружений гидроузла должна обеспечивать безопасный пропуск воды в период строительства и оптимальную очередность возведения сооружений. При определении размеров водопропускных отверстий в период строительства, высоты перемычек и отметок верха возводимых сооружений в качестве расчетного расхода принимается расход реки с вероятностью превышения 2–5 % для сооружений I и II классов и 10 % для сооружений III и IV классов капитальности.

Существуют два основных типа компоновки сооружений гидроузла: пойменная и русловая. При пойменной компоновке все бетонные сооружения и часть земляной плотины возводятся на пойме одного или обоих (рис. 1.38) берегов.

Создание двух бетонных хозяйств может оказаться целесообразным при очень больших объемах работ, требующих расширения строительного фронта. Пойменная компоновка позволяет уменьшить высо-

ту перемычек котлована основных бетонных сооружений, а при высокой пойме может вообще исключить необходимость их возведения. Расход воды при этом идет по основному руслу, что значительно облегчает условия пропуска ледохода и паводковых расходов. После возведения первой очереди сооружений основное русло реки перекрывается обычно намывной плотиной. Намыв может производиться после перекрытия русла каменным банкетом. Пойменная компоновка сокращает сроки строительства гидроузла.



Рис. 1.38. Пример пойменной компоновки ГЭС: 1 – земляная плотина; 2 – водосливная плотина; 3 – здание ГЭС; 4 – повышающая подстанция; 5 – оградящая дамба; 6 – аванпорт; 7 – судоходный шлюз; 8 – судоходный канал

При русловой компоновке здание ГЭС и водосливная плотина располагаются в естественном русле реки (рис. 1.39).

При возведении перемычек и перекрытия русла его ширина не должна быть очень мала, а скорости в меженный период даже при отсутствии судоходства не должны превышать 2,5–3 м/с. Следует также учитывать условия судоходства, лесосплава и ледохода через свободную часть русла, а после перекрытия – сброс воды и льда через недостроенную плотину. Для беспрепятственного пропуска льда, как показал опыт проектирования и строительства, необходимо оставлять не

менее 30–40 % ширины русла и предусматривать в начале ледохода дробление льда на подходах к сооружению. Поэтому выбор наиболее узкого створа реки для строительства не всегда оправдан.

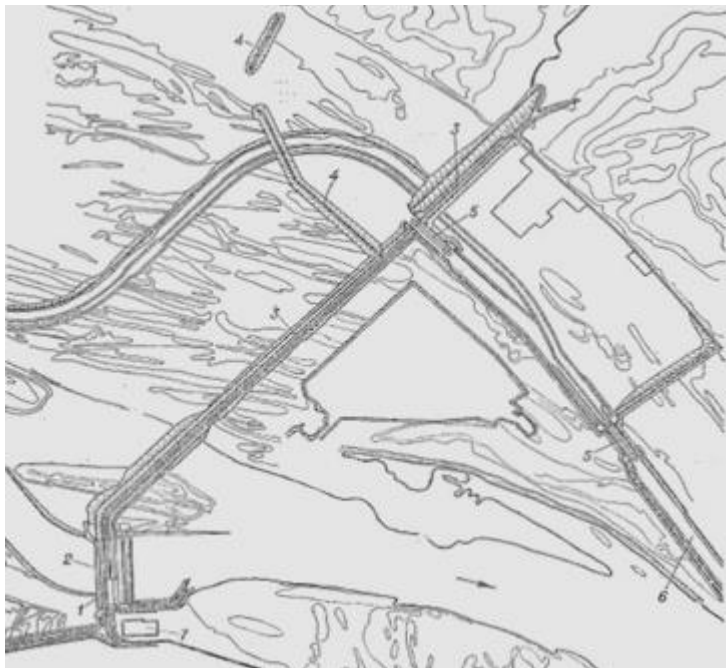


Рис. 1.39. Пример русловой компоновки ГЭС: 1 – здание ГЭС; 2 – водосливная плотина; 3 – грунтовая плотина; 4 – дамбы аванпорта; 5 – судоходный шлюз; 6 – судоходный канал; 7 – открытое распределительное устройство 220 и 110 кВ

В тех случаях, когда характер русла реки и скорости потока не позволяют возводить секционные перемычки или строительство их, сооружают строительный туннель или обходной канал, через которые отводят реку в обход строящейся плотины. Строительный канал может быть использован в эксплуатационный период для устройства водосбросов в обход гидроузла. Отечественная практика показывает, что на реках с нескальным основанием и тяжелыми условиями ледохода более целесообразной оказывается пойменная (или смешанная) компоновка гидроузла.

Русловая компоновка сооружений целесообразна преимущественно при наличии скального основания. Наиболее типичным для русловых ГЭС на больших равнинных реках является соединение в речном узле четырех основных крупных сооружений – здания ГЭС, плотины, судоходного шлюза и повышающей подстанции. Их взаимное расположение определяется местными условиями, а также требованиями к ним в эксплуатации.

Здание ГЭС, как правило, располагается у берега. Схема расположения здания ГЭС должна обеспечить подвод воды к турбинам с наименьшей потерей напора. Отвод воды от здания ГЭС в НБ должен производиться по кратчайшему пути и с условием, чтобы поток, пропускаемый через водосливной фронт, не создавал подпора в выходных сечениях отсасывающих труб. Возникновение сбойных течений в НБ может привести к понижению напора и мощности ГЭС, а также к неустойчивому режиму работы агрегатов.

Наиболее удобным по условиям эксплуатации и производства работ является расположение здания ГЭС по одной прямой линии с плотиной, направленной перпендикулярно к течению реки. Между зданием ГЭС и водосливной плотиной устраивается устой, выступающий в нижний и верхний бьефы. Устой в ВБ разделяет потоки воды, направляющиеся к плотине и зданию ГЭС; в НБ он отделяет участок бурного сопряжения бьефов за плотиной от участка с более спокойным течением воды, выходящей из отсасывающих труб ГЭС.

Водосливная плотина и здание ГЭС соединяются с берегом глухой (обычно земляной, реже бетонной) плотиной. Сопряжение земляной плотины с водосливной и со зданием ГЭС осуществляется при помощи железобетонного или бетонного устоя. При очень большом объеме и малой длине земляной плотины и большом объеме бетона сопрягающего устоя вместо этих сооружений может оказаться более экономичной постройка глухой бетонной плотины.

Распределительное устройство повышенного напряжения (повышающая подстанция) выполняется открытого (ОРУ) или закрытого (ЗРУ) типа и располагается вблизи здания ГЭС или в его пределах, в зависимости от типа ГЭС.

Повышающая подстанция, обычно открытого типа, располагается на берегу со стороны НБ здания станции.

При особо стесненных условиях створа ГЭС подстанцию располагают или на крыше ГЭС, или над отсасывающими трубами.

По отношению к зданию ГЭС возможны две основные схемы расположения шлюза: 1) у противоположного берега, 2) у одного берега вместе со зданием станции. Иногда шлюз располагается в русле реки между зданием и водосливной плотиной, что осложняет трассировку подъездных путей к шлюзу и зданию ГЭС, производство работ по основным сооружениям гидроузла и дамб подходных каналов к шлюзу.

Расположение здания электростанции и шлюза у различных берегов является наиболее удачным решением для эксплуатации ГЭС. Однако при этом возникает необходимость устройства двух бетонных хозяйств и строительных площадок, что при небольших объемах работ удорожает возведение гидроузла.

Расположение здания ГЭС и шлюза на одном берегу сопровождается известными неудобствами потому, что ГЭС оказывается отрезанной от берега шлюзом. Это вызывает необходимость устройства железнодорожного или автодорожного, а иногда и обоих мостов через шлюз для обеспечения транзитного сообщения через плотину. При близком расположении шлюза и здания ГЭС повышающая подстанция оказывается зажатой между шлюзом и ГЭС. Расширение площадки подстанции путем сдвига шлюза в сторону берега приводит к увеличению объема строительных работ. Перенесение повышающей подстанции на берег (за шлюз) усложняет электрическую связь со станцией.

Компоновка сооружений деривационных ГЭС. Головной узел. Компоновка головных узлов определяется типом и размерами плотины и водосбросных сооружений. Плотины возводятся, как правило, водосливные, с низкими порогами, оборудованные затворами, перекрывающими русло горных рек часто по всей ширине. Есть примеры с береговыми водосбросами (быстротоки или перепады).

Необходимость пропуска насосов, шуги и льда в НБ оказывает существенное влияние на характер и расположение сооружений головного узла. Возможность попадания насосов в деривацию заставляет принимать ряд предупредительных мер.

Одна из основных мер – пропуск возможно большого количества донных насосов через плотину.

В этом случае лучшим типом является плотина с низким порогом, перекрываемая затворами. Для пропуска донных насосов затворы открывают полностью или приподнимают частично. Поэтому лучшими будут затворы, поднимающиеся вверх: плоские, сегментные и цилиндрические. Удобны плоские сдвоенные затворы, позволяющие поднимать для пропуска насосов только нижнюю секцию затвора.

Особое значение имеет правильное расположение и устройство водозаборных сооружений. Входное сечение водозабора должно иметь порог, возвышающийся не менее чем на 1–2 м над дном реки. Этот порог задерживает донные наносы, не позволяя им проникнуть в деривацию. Достигается это рациональным расположением порога и промывных отверстий плотины.

Для установок с напорной деривацией типичны сравнительно высокие плотины и большие колебания уровня воды в водохранилище. Глубинный водоприемник напорной деривации размещается преимущественно в стороне от плотины. Деривация обычно осуществляется в виде канала или туннеля.

Водоприемники деривационных ГЭС. Забор воды в деривацию осуществляется из реки или водохранилища в пределах головного узла сооружений. Для забора воды применяют водоприемники, к которым предъявляются особые требования в отношении бесперебойной подачи воды в деривацию ГЭС. Водоприемники оборудуются затворами для прекращения доступа воды из ВБ при аварии, ревизии или ремонте деривации. Водоприемники деривационных ГЭС выполняются поверхностными и глубинными.

Водоприемники должны обеспечивать плавный подвод воды к деривации с минимальными потерями напора. Для предотвращения проникновения плавающих предметов в деривацию на входе в водоприемник устраивают запань или делают забральные балки. Особое внимание надлежит обращать на мероприятия, исключающие проникновение донных наносов и сокращение поступления взвешенных наносов в деривацию.

Выбор местоположения водоприемников является ответственной задачей, особенно если они проектируются на реках с неустойчивым руслом.

На рис. 1.40 изображена часто применяемая схема поверхностного водоприемника с указанием основных его элементов. Русло реки перегораживается плотиной с низким флотбетом. Образуется небольшой подпор уровня воды в ВБ, который облегчает поступление расходов воды в деривацию.

Наиболее интенсивное движение наносов происходит во время паводка. Донные наносы, передвигающиеся вдоль реки, входят в зону подпора плотины. Образующиеся гряды наносов, непрерывно перемещающаяся во время паводка вниз по течению, растут, что приводит к постепенному уменьшению скорости их перемещения. Мелкие частицы

наносов движутся во взвешенном состоянии. Попадая в подпертый бьеф плотины, они начинают постепенно выпадать из потока и заиливать подпертый участок реки. По мере заиливания бьефа скорость течения возрастает, что может привести к поступлению наносов во взвешенном состоянии в деривацию.

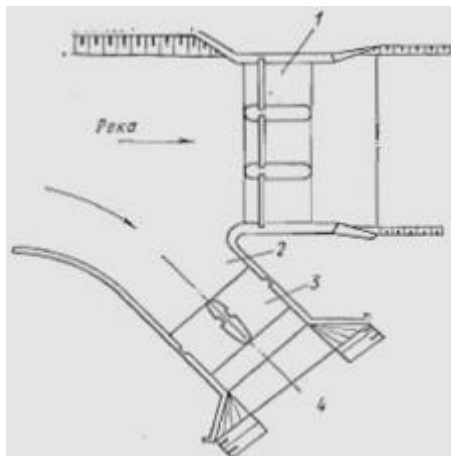


Рис. 1.40. Схема компоновки поверхностного водоприемника:
1 – плотина; 2 – подходный участок; 3 – водоприемник; 4 – деривационный канал

Одним из наиболее эффективных мероприятий для уменьшения попадания наносов в водоприемники и удаления их в НБ является использование поперечной циркуляции в потоке, т. е. винтового движения с направлением поверхностных струй к берегу, на котором расположен водоприемник, и направлением придонных струй от этого берега. Естественная поперечная циркуляция возникает на изгибе русла и потока под воздействием центробежных сил и сил гидравлического сопротивления. Поверхностные струи отклоняются к вогнутому берегу, производят размыв его, а донные струи, поднимаясь к выпуклому берегу, теряют часть своей кинетической энергии и откладывают наносы на этом берегу. Поэтому водоприемник рекомендуется располагать на вогнутом берегу, причем место водозабора целесообразно избрать за серединой криволинейного участка.

Водоприемники с глубинными водозаборами. В напорный деривационный тоннель вода поступает из ВБ обычно через водоприемник с

глубинным водозабором. Для краткости его именуют глубинным водоприемником. Этот тип водоприемников имеет широкое распространение. Глубинные водоприемники размещаются в ВБ или водохранилищах со значительными колебаниями уровней и малыми скоростями движения воды. Глубинные водоприемники должны обеспечивать подачу воды в соответствии с графиком нагрузки ГЭС при любых положениях уровней воды в бьефе. Следовательно, порог водоприемника располагают так, чтобы забор воды в туннель мог производиться при наинизшем уровне воды.

Местоположение глубинного водоприемника выбирается одновременно с назначением трассы туннеля. Форма и габариты водоприемника устанавливаются технико-экономическими расчетами при сопоставлении вариантов. При этом надлежит обеспечить плавный вход, отсутствие вихревых зон, засасывающих плавающие предметы. На реках, влекущих значительное количество наносов, необходимо устранять возможность заиливания. В ряде случаев целесообразно устройство промывных отверстий.

Для обоснования форм и габаритов водоприемников крупных ГЭС выполняют лабораторные исследования на моделях. Обычно в составе глубинного водоприемника ГЭС предусматривается следующее гидромеханическое оборудование: сороудерживающие решетки и ремонтные загораживания. Очень редко выдвигается требование постановки затворов аварийного назначения.

В зависимости от местоположения глубинные водоприемники деривационных ГЭС разделяются на два типа: береговые и башенные. Береговые водоприемники, как следует из названия, располагаются непосредственно у берегового откоса ВБ. На рис. 1.41 показана схема первого по течению паса, а во второй – устанавливается, сороудерживающая решетка, затвор.

Для манипулирования сороудерживающей решеткой и ремонтным загораживанием используется козловый кран. В отдельных случаях для экономии вместо двух рядов пазов устраивают один. При работе ГЭС в нем находится сороудерживающая решетка, которая вынимается перед постановкой ремонтного загораживания.

На рис. 1.42 показана схема берегового водоприемника с наклонными решетками и затворами в голове туннеля. Между затворами и решетками получается участок значительной длины. Подход к затвору осуществляется по шахте.

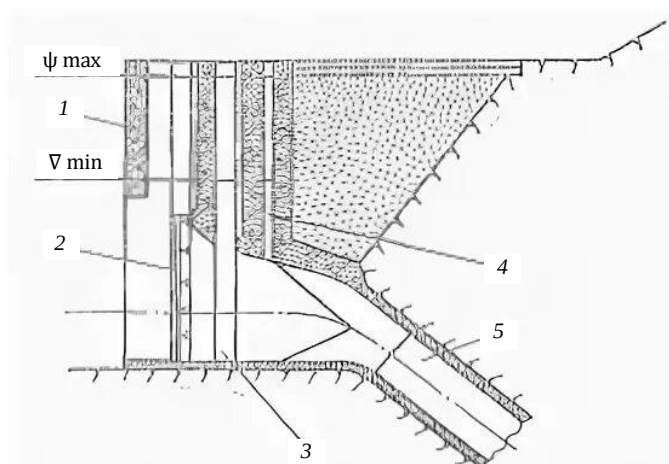


Рис. 1.41. Схема глубокого берегового водоприемника с засыпанной пазухой напорной стенки: 1 – забральная балка; 2 – сороудерживающая решетка; 3 – паз для затвора, 4 – воздухоподводящая труба; 5 – туннель

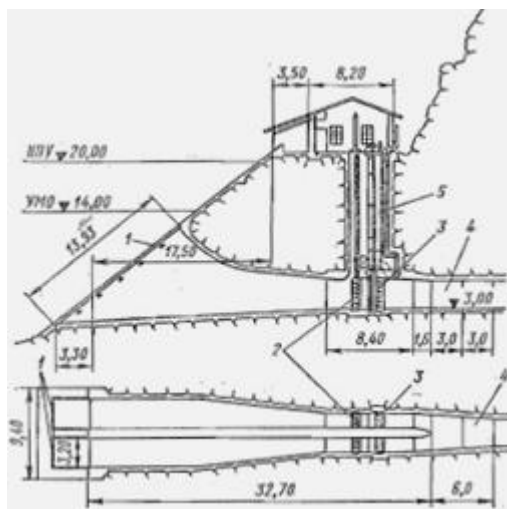


Рис. 1.42. Глубинный водоприемник туннельного типа:
1 – сороудерживающая решетка; 2 – паз для ремонтных затворов; 3 – затвор;
4 – туннель; 5 – шахта

Отстойники деривационных ГЭС. Отстойники деривационных ГЭС предназначаются для осветления воды от взвешенных наносов, влекомых водотоком. Наибольшую опасность для проточной части турбины составляют крупные фракции наносов, образовавшиеся из твердых пород, транспортируемые горной рекой. В течение года содержание твердых частиц в потоке меняется. Максимальное количество их транспортируется рекой в паводок.

Из опыта эксплуатации деривационных ГЭС установлено, что размеры частиц диаметром более $\frac{1}{4}$ мм пропускать через турбину не следует. Следовательно, фракции более $\frac{1}{4}$ мм должны быть задержаны в отстойнике,

Взвешенные наносы целесообразно осаждать в отстойнике, расположенном в составе головного узла сооружений, т. е. сразу же за водоприемником. Длина, ширина и глубина отстойника выбирается на основе гидравлических и технико-экономических расчетов.

Взвесенесущий поток, поступивший в отстойник, претерпевает существенные изменения. Поскольку площадь поперечного сечения потока в отстойнике велика, скорости движения частиц замедляются и всясь выпадает на дно. Поток осветляется. Для осаждения твердых частиц диаметром более $\frac{1}{4}$ мм скорости движения воды должны быть 0,1–0,3 м/с. В конце отстойника, где он сопрягается с каналом или безнапорным туннелем, получают воду, очищенную от наносов. По мере накопления отложившихся наносов их надлежит удалять из отстойника.

Предложено и возведено достаточно много модификаций отстойников. Если их классифицировать, то выделяют две группы отстойников: однокамерные и многокамерные. В зависимости от способа очистки отстойника от наносов различают отстойники гидравлического и механического действий. В первых осуществляется удаление наносов водой (промыв), а во-вторых – механическими средствами, например экскаваторами. Наибольшее распространение получил гидравлический способ очистки. В свою очередь этот способ подразделяется на непрерывный промыв и периодический. Многокамерные отстойники устраиваются, как правило, с периодическим промывом. На период очистки одна из камер отключается и током воды с большими скоростями наносы удаляются в НБ.

Станционный узел сооружений. Схемы компоновки сооружений станционных узлов могут быть крайне разнообразными в зависимости от топографических и геологических условий, напоров и расходов воды. Обычно все сооружения станционного узла располагают в месте наиболее сосредоточенного и равномерного понижения местности,

стремясь сократить длину турбинных трубопроводов. При этом в случае экономической целесообразности здание ГЭС может размещаться в глубокой выемке, что влечет за собой увеличение длины отводящей деривации.

Станционные узлы сооружений ГЭС с безнапорной деривацией (деривационный канал или безнапорный туннель) имеют напорный бассейн. На рис. 1.43 показаны план и продольный разрез сооружения деривационной ГЭС с напорным бассейном. Вблизи здания ГЭС располагается повышающая подстанция, обычно открытая. Если рельеф местности не позволяет разместить подстанцию на горизонтальной площадке, то ее располагают иногда ступенчато, на искусственно созданных уступах склона местности. При очень узких ущельях и крутом склоне ОРУ располагают на крыше здания ГЭС, специальном мосту или на другом берегу реки. Бассейн суточного регулирования целесообразно располагать как можно ближе к напорному бассейну; часто они конструктивно увязываются.

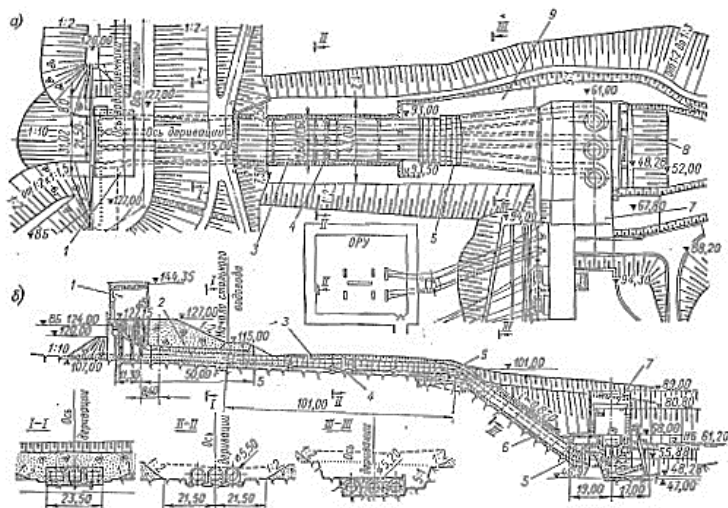


Рис. 1.43. Стационарный узел деривационной ГЭС с деривационным каналом:
 а – план стационарного узла; б – продольный разрез по оси турбинного трубопровода;
 1 – здание водоприемника; 2 – турбинные трубопроводы железобетонные;
 3 – то же, стальные открытые; 4 – температурные компенсаторы;
 5 – анкерные опоры; 6 – турбинные трубопроводы стальные обетонированные
 и засыпанные щебнем; 7 – здание ГЭС; 8 – отводящий канал;
 9 – аварийный отводящий канал

При низких напорах (до 30–35 м) и значительном турбинном расходе здание ГЭС может непосредственно примыкать к напорному бассейну. При высоких напорах здание ГЭС располагается иногда вдоль напорных трубопроводов рядом с ними, что в случае разрыва трубопровода должно обеспечить сохранность самого здания ГЭС.

Отличительной особенностью станционного узла ГЭС с напорной деривацией обычно является наличие уравнительного резервуара. При не слишком большой амплитуде колебаний уровней ВБ уравнительный резервуар делается в виде открыто стоящей башни у выходного конца туннеля. Если потребная высота уравнительной башни превышает 20 м, она заменяется вертикальной или наклонной шахтой, размещаемой в горном массиве перед концом туннеля.

От уравнительного резервуара-шахты идет еще короткий участок напорного туннеля до выхода на дневную поверхность, где туннель разветвляется и переходит в турбинные трубопроводы. В их начале располагается помещение затворов, позволяющих отключить любой турбинный трубопровод в случае аварии или для ремонта.

В определенных условиях, характеризуемых сложным рельефом местности (очень крутые склоны) или особым геологическим строением, здание ГЭС выполняется подземным, что дает не только экономичное, но и единственно приемлемое решение. В этом случае в состав станционного узла сооружений входит отводящая безнапорная или напорная деривация, при которой на выходе из отсасывающей трубы может оказаться необходимым уравнительный резервуар. При подземном расположении машинного зала в зависимости от конкретных условий применяется компоновка с головным (рис. 1.44, *а*), промежуточным (рис. 1.44, *б*) или концевым (рис. 1.44, *в*) расположениями машинного зала.

Схема русловой ГЭС показана на рис. 1.45.

Для ликвидации неравномерности колебаний нагрузки в электросети необходимы специальные пиковые электростанции. Для этой цели ГЭС дополняют газотурбинными генераторами, дизельными электростанциями, гидроаккумулирующими электростанциями. Гидроаккумулирующие электростанции (рис. 1.46) дают возможность распределять во времени электрическую энергию путем ее преобразования. Станция работает попеременно в насосном и турбинном режимах. В насосном режиме вода из нижнего бьефа водохранилища ГАЭС перекачивается насосами в верхний; в этом режиме ГАЭС работает в часы пониженной нагрузки энергосистемы, как правило, ночью, когда возможно использование свободной электроэнергии и энергия других электростанций преобразуется в потенциальную энергию воды, запасенной в

верхнем водохранилище ГАЭС. В турбинном режиме ГАЭС срабатывает запасенную воду в часы максимальной (пиковой) нагрузки энергосистемы и отдает в сеть наиболее ценную пиковую мощность.

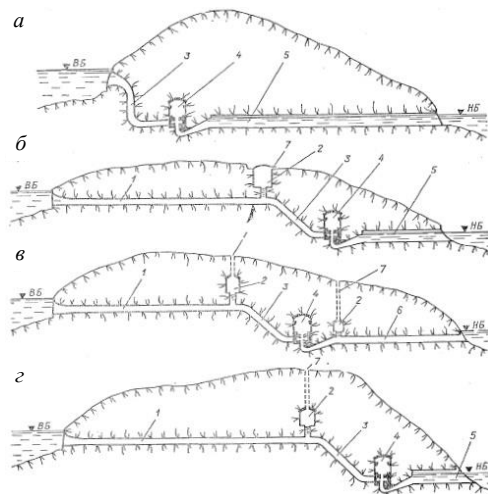


Рис. 1.44. Схема деривационных ГАЭС с подземным размещением машинного зала:
а-в – начале туннеля; *б и в* – в средней части туннеля; *г* – в конце туннеля;
 1 – подводящий напорный туннель; 2 – уравнивающий резервуар; 3 – турбинные водоводы; 4 – машинный зал; 5 – безнапорный отводящий туннель; 6 – напорный отводящий туннель; 7 – воздуховод

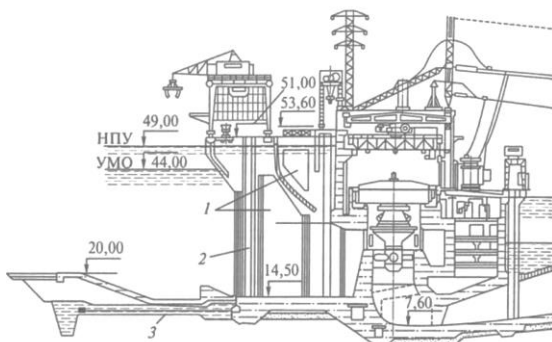


Рис. 1.45. Схемарусловой ГАЭС: 1 – прорези в быках; 2 – пазы в быках;
 3 – анкерный понур

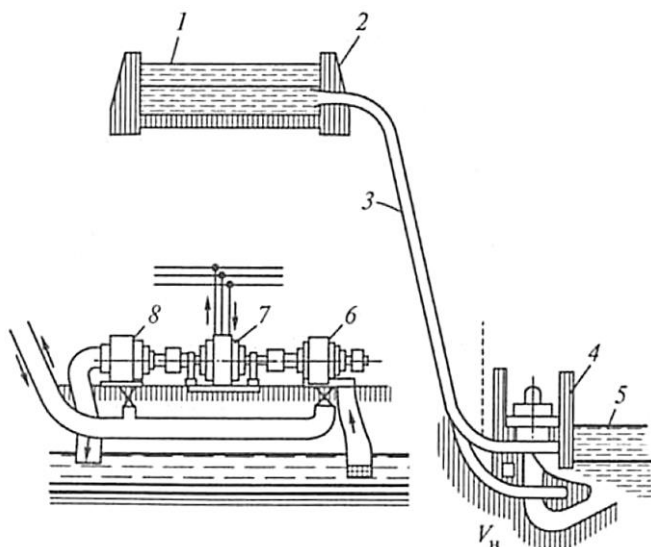


Рис. 1.46. Схема гидроаккумулирующей электростанции: 1 – верхнее водохранилище; 2 – напорный бассейн; 3 – напорный трубопровод; 4 – машинное здание; 5 – нижнее водохранилище; 6 – насос; 7 – двигатель-генератор; 8 – турбина

В водохозяйственном комплексе используют в основном плотинные ГЭС, так как им сопутствует такой важный элемент, как водохранилище, которое используется многими участниками комплекса.

Плотинные гидроузлы строят на различных видах рек. На равнинных реках плотины обычно невысокие, создающие напор до 40 м. Здание ГЭС в таких гидроузлах располагают в общем створе подпорных сооружений. Компоновка русловых ГЭС показана на рис. 1.47.

Деривационные ГЭС размещают на перепаде оросительного канала. В состав сооружений деривационной ГЭС с безнапорной деривацией входят головной водозаборный узел, деривация и сооружения, включающие напорный бассейн, турбинный трубопровод, холостой водосброс, здание станции, отводящий канал, бассейн суточного регулирования стока.

Головной узел сооружений включает плотину с паводковым водосбором и боковой водозабор с отстойным бассейном. Деривация осуществляется по открытым каналам, напорная деривация – по трубопроводам. Напорный бассейн связывает безнапорную деривацию с

напорными водоводами (трубопроводом или шахтой). В оросительно-энергетических системах напорные бассейны выполняют роль распределителя воды между ГЭС и оросительным или обводнительным каналом.

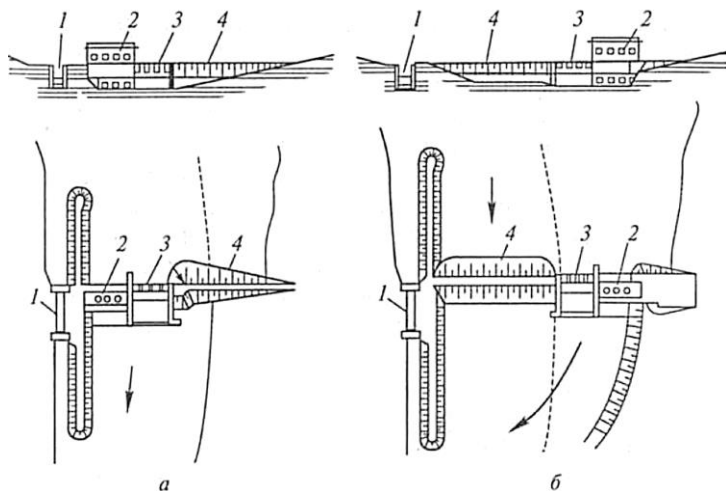


Рис. 1.47. Компоновка ГЭС в низконапорных гидроузлах: а – русловая; б – пойменная; 1 – судопропускной шлюз; 2 – здание станции; 3 – водоливная плотина; 4 – глухая плотина

Здания ГЭС являются наиболее сложными сооружениями, в них размещают оборудование для преобразования гидравлической энергии в электрическую. Машинные здания разнообразны по конструкции.

1.8. Современное санитарное состояние водных ресурсов и основные источники загрязнения

Современное санитарное состояние водотоков, водоемов и подземных вод Республики Беларусь. Качество поверхностных и подземных вод формируется под влиянием комплекса факторов природного и антропогенного происхождения.

К группе факторов антропогенного воздействия относятся:

– отведение коммунально-бытовых и производственных сточных вод;

- вынос загрязняющих веществ с поверхностным стоком с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий;
- поступление загрязняющих веществ от рассредоточенных по водосборной площади бассейнов рек животноводческих комплексов, полигонов захоронения отходов, складов минеральных удобрений, нефтепродуктов и других экологически опасных объектов;
- трансграничный перенос загрязняющих веществ водным и воздушным путем;
- разгрузка загрязненных подземных вод в речную сеть.

Природными факторами обусловлено повышенное содержание отдельных элементов, прежде всего соединений железа в поверхностных и подземных водах, что является следствием высокого содержания этих элементов в комплексах водовмещающих породы и почв.

Санитарно-гигиеническое состояние подземных вод на действующих водозаборах в основном отвечает установленным требованиям, за исключением повышенного содержания железа и марганца, в отдельных случаях бора и некоторых других компонентов природного происхождения. На участках, испытывающих антропогенное воздействие, отмечена тенденция к увеличению содержания в воде аммония, нитратов, хлоридов и других компонентов.

К мощным источникам загрязнения подземных вод первых от поверхности горизонтов относятся отвалы фосфогипса на территории открытого акционерного общества «Гомельский химический завод». Интенсивное загрязнение пресных подземных вод наблюдается в Солигорском промышленном районе. В районе некоторых водозаборов отмечено загрязнение подземных вод тяжелыми металлами. На ухудшение качества подземной воды существенное влияние оказывает санитарно-техническое состояние самих водозаборов и прилегающих к ним территорий. Режим содержания зон санитарной охраны не всегда соблюдается (в зонах влияния водозаборов часто находятся различные приемники сточных вод и отходов: поля фильтрации, отстойники, свалки и др.).

В сельской местности интенсивное загрязнение грунтовых вод происходит в местах расположения животноводческих и птицеводческих ферм, складов минеральных удобрений и ядохимикатов, полей орошения животноводческих комплексов, а также на территориях сельскохозяйственных угодий, где вносятся минеральные и органические удобрения. Повышенное содержание загрязняющих веществ регистрируется на глубине до 14–16 м.

Однако за последние 5 лет содержание азота аммонийного в поверхностных водах страны в целом снизилось на 21 %, азота нитритного – на 18, фосфора общего – на 30, нефтепродуктов – на 47, соединений никеля – на 64 %. Повышенное содержание железа, соединений меди и марганца, обусловленное высоким региональным фоном этих металлов в природной среде, в наибольшей степени характерно для водных объектов бассейна реки Припять.

Сохраняется проблема загрязнения отдельных участков водотоков, расположенных ниже промышленных центров.

Наибольшую нагрузку от сточных вод испытывают р. Свислочь ниже г. Минска, р. Неман ниже г. Гродно, р. Березина ниже г. Бобруйска, р. Днепр ниже г. Могилева и г. Речицы, р. Западная Двина ниже г. Новополоцка, р. Припять ниже г. Мозыря, р. Ясельда ниже г. Березы, р. Уза ниже г. Гомеля.

В бассейнах рек наряду с внедрением безводных и других прогрессивных технологий, направленных на снижение или прекращение отведения сточных вод, важны мероприятия по интенсификации очистки и доочистке сточных вод от биогенных элементов (азота и фосфора), тяжелых металлов, нефтепродуктов, органических и поверхностно-активных веществ.

Как по объему отводимых сточных вод, так и по количеству содержащихся в них загрязняющих веществ более четверти суммарной антропогенной нагрузки приходится на г. Минск, в промышленно-хозяйственном комплексе которого образуется сточных вод больше, чем во всех крупных городах.

Поступление загрязнений от рассредоточенных источников с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий оказывает сопоставимое со сточными водами негативное воздействие на качество водных ресурсов.

Отходы животноводства и стоки животноводческих комплексов также являются одним из существенных источников загрязнения водных объектов. Большинство организаций животноводства не имеют необходимых систем сбора, хранения, обработки и утилизации сточных вод. Очистные сооружения животноводческих комплексов устарели и пришли в негодность, многие требуют капитального ремонта и реконструкции. Не обезвреженные навозосодержащие сточные воды и отходы животноводства стали в последнее время одним из наиболее опасных источников загрязнения водных объектов.

Горнодобывающая промышленность и строительные работы оказывают существенное трансформирующее воздействие на водные ресурсы. В Республике Беларусь выявлено свыше 4000 месторождений минерального сырья, из которых более 600 разведано и около 300 разрабатывается. Разработка многих месторождений производится открытым способом, при котором в значительной мере изменяется режим и химический состав поверхностных и подземных вод.

Остро стоят проблемы очистки промышленных сточных вод, обработки и утилизации их осадков. На промышленных предприятиях страны образуется около 164 млн. м³ в год сточных вод, содержащих опасные для окружающей среды загрязнители.

Более 80 % проектов очистных сооружений разработано по технологиям 1970–1980-х гг. Очистные сооружения значительной части предприятий имеют большой физический износ, требуют реконструкции и перехода на новые более эффективные технологии.

В настоящее время продолжается установившаяся практика складирования осадков, содержащих тяжелые металлы, на территории предприятий.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в окружающую среду было выброшено огромное количество радионуклидов. В Республике Беларусь основная часть радиоактивных выпадений поступила на водосборные территории рек Днепр, Припять и их притоков. Именно эти территории долгое время будут являться потенциальными ландшафтными источниками формирования стока радионуклидов в Днепровскую водную систему. Вместе с тем по данным мониторинга водных объектов радиационная обстановка на реках Днепровского бассейна стабилизировалась. Превышений допустимых уровней по содержанию цезия-137 и стронция-90 в поверхностных водах не наблюдалось.

Основные источники загрязнения природных вод (общие сведения). Качество воды оценивается концентрацией в ней вредных примесей.

Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются бытовые, производственные и атмосферные сточные воды, промышленность, сельское хозяйство, судоходство. К основным источникам загрязнения подземных вод относятся накопители промышленных отходов, закачка загрязненных вод в глубокие слои, инфильтрация загрязнений с промышленных и городских территорий, фильтрация из загрязненных рек. Наиболее распространены химическое и бактери-

альное загрязнение. Проникновению загрязнений в подземные горизонты способствует интенсивное использование подземных вод. Загрязнения поступают в водную среду в виде концентрированных выбросов или в результате диффузии. Значительный их объем сбрасывается со сточными водами городов, поселков и промышленных предприятий. Сток в течение времени (суток, недели, года) происходит неравномерно, имея, как правило, два суточных максимума (утренний и вечерний) и глубокий ночной минимум. Неравномерность стока оценивается обычно коэффициентами суточной ($k_{сут}$) и часовой ($k_{ч}$) неравномерности. Коэффициенты неравномерности притока сточных вод доходят до 2 и более, что значительно осложняет работу систем водоотведения города. Более стабильны расходы сточных вод от различных промышленных предприятий. Состав сточных вод зависит от источника загрязнения и изменяется во времени, причем суточные колебания содержания различных ингредиентов составляют 3–4 раза и более.

Загрязнения, содержащиеся в сточных водах, подразделяют на *нерастворенные, коллоидные и растворенные вещества*. По происхождению загрязнения бывают минеральные, органические и бактериальные. Минеральные загрязнения состоят из песка, растворов минеральных солей, кислот и пр. Органические загрязнения являются хорошей средой для развития бактерий, вирусов, грибов, составляющих бактериальное загрязнение.

Одним из основных загрязнителей вод являются *нефть и нефтепродукты*. Ежегодные поступления нефти в Мировой океан достигают 30–35 млн. т. Загрязнение вод нефтью происходит в результате ее естественных выходов в районах залегания, при нефтедобыче, транспортировке, переработке и использовании в качестве топлива и промышленного сырья. Загрязнение водных объектов нефтью в районах интенсивной добычи отмечается повсеместно. Неправильные действия и технические неполадки в процессе бурения и эксплуатации скважин приводят к аварийным выбросам нефти. Сильное загрязнение водной среды происходит при транспортировке нефти. В настоящее время около 65 % объема мировой добычи ее перевозят морским путем, и объем этих перевозок возрастает.

Вместе с этим растет мощность танкерного флота. При поступлении в водоем нефть при авариях танкеров под действием процессов самоочищения, протекающих в водной среде, претерпевает различные изменения, характер которых определяется совокупностью физических, химических и биологических факторов. Первоначально образуются

нефтяные слики – пятна, растекающиеся по водной поверхности (1 т нефти загрязняет до 12 км² акватории). Под влиянием ветра нефтяные пятна передвигаются, сливаются и могут занимать большие площади. В процессе рафинирования нефти более легкие фракции испаряются (примерно $\frac{1}{3}$ массы), а водорастворимые (около $\frac{1}{3}$ массы) выщелачиваются за 1–3 нед. Остаток имеет повышенную вязкость, образуя с водой стойкие эмульсии («шоколадный мусс», длительное время сохраняющийся в воде).

Нефть и нефтепродукты способны загрязнить огромные пространства, покрывая водоемы тонкой пленкой. В результате затрудняется газообмен между водой и атмосферой. Загрязнение вод Мирового океана отрицательно воздействует на процесс выделения кислорода морскими водорослями, снижая уровень фотосинтеза в них в отдельных случаях до 5 %. Снижение же содержания кислорода в атмосфере при растущей потребности в нем в связи с развитием техники может привести к серьезным последствиям в глобальном масштабе. Уменьшение количества зоопланктона, очень чувствительного к загрязнению вод, приводит к сокращению кормовой базы и снижению биологической продуктивности моря. Нефтяное загрязнение приводит к гибели 50 % молодых морских организмов. Нефть погубила бы океан, если бы не было нефтеокисляющих бактерий, морских животных (планктон, нектон), которые способны усваивать растворенную нефть. Борьба с нефтяным загрязнением является сложной и неотложной задачей.

Среди продуктов промышленного производства особое место по своему отрицательному воздействию на водную среду и гидробионты занимают детергенты (синтетические моющие средства), очень токсичные и устойчивые к процессам биологического разложения. Они находят все более широкое применение в промышленности, на транспорте, в коммунально-бытовом хозяйстве. Ежегодно производится более 4 млн. т детергентов. Детергенты плохо поддаются очистке, и в водоемы обычно попадает до 50–60 % и более их начального количества. Они образуют на поверхности воды толстый слой пены, который на порогах и шлюзах может достигать мощности 1 м и более. Способность к пенообразованию появляется уже при концентрации 1–2 мг/л, что сильно затрудняет судоходство и процессы самоочищения водоемов. Огромное количество моющих синтетических веществ, попадающих в океан, губит рыбную молодь и водоросли. Бесконтрольное загрязнение Мирового океана может привести к необратимым процессам и вызвать гибель флоры и фауны. Из других веществ, загрязняющих

водную среду, отметим *тяжелые металлы (ртуть, свинец, цинк, медь, хром, олово, марганец), отходы атомного и химического производств*, часто захороняемые на дне океанов, а также *удобрения и пестициды*, поступающие с сельскохозяйственных полей. Наибольшую опасность из металлов представляют ртуть и ее соединения, особенно метилртутные. Средняя концентрация ртути в океанической воде достигает около 0,15 мг/л. При ежегодном производстве ртути около 9 тыс. т в ближайшем будущем трудно ожидать существенного снижения общепланетарных концентраций этого элемента в водной среде. Тем не менее высокая химическая устойчивость ртути, а также диспропорции в ее потреблении могут привести к сильному локальному загрязнению водных объектов, особенно внутренних водоемов и прибрежных участков морей, отличающихся меньшей интенсивностью циркуляции водных масс. Попадая в водоем, ртуть поглощается гидробионтами, аккумулируется в донных отложениях в концентрациях, значительно превышающих исходные. Накапливаясь в различных видах гидробионтов, ртуть оказывает на них сильное воздействие. Значительный вред гидробионтам наносит загрязнение вод свинцом и его соединениями. Многие тяжелые металлы аккумулируются в морских организмах, вызывают их гибель или делают опасными при употреблении в пищу.

Значительный ущерб причиняют *тепловые и атомные электростанции, сбрасывающие теплые воды* в природные и искусственные водоемы, нарушая термический, гидрохимический и гидробиологический режимы, создавая таким образом «тепловое загрязнение». Современные тепловые и атомные электростанции используют для охлаждения до 200 м³/с воды, которая, возвращаясь в водоемы в подогретом виде, изменяет их тепловой баланс. В результате повышения температуры воды усиливается ее испарение, увеличивается минерализация, происходит более интенсивный рост водной растительности, что приводит к накоплению органического вещества. Последующее разложение и дальнейшая минерализация вызывают уменьшение растворенного кислорода. Все это отрицательно сказывается на процессах жизнедеятельности живых организмов.

Наибольшую опасность для природных вод и живых организмов представляют *радиоактивные отходы*. Поэтому их сброс в водоемы недопустим. Отходы сливают в специальные сосуды и захороняют в отведенных местах. Сточные воды с незначительным содержанием радиоактивных отходов представляют большую опасность для природных вод. В организмах рыб и животных, а также в растениях про-

исходят процессы биологической концентрации радиоактивных веществ. Мелкие организмы, содержащие эти вещества в небольших дозах, поглощаются более крупными, в которых возникают уже опасные концентрации. Поэтому отдельные пресноводные рыбы в несколько тысяч раз радиоактивнее водной среды, в которой они обитают. В настоящее время сточные воды с радиоактивностью в 1 л свыше $3,7 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$ сливают в специальные подземные резервуары или закачивают в глубокие бессточные подземные бассейны. Используют также обезвоживание стоков и дальнейшее захоронение «блоков» в контролируемых местах.

По-прежнему немаловажную роль играет загрязнение рек и водоемов *стоками животноводческих комплексов*.

Животноводческие фермы и крупные животноводческие комплексы промышленного производства свинины, говядины и молока на 50–100 тыс. голов являются существенным источником загрязнения водных объектов страны. Для сокращения затрат на водоснабжение фермы располагают вблизи водоемов. На ферме крупного рогатого скота ежедневно образуется 1 т навозной жижи от каждой сотни голов. Отходы животноводческих хозяйств опасны тем, что в них содержатся яйца гельминтов (глистов) и патогенные микроорганизмы, являющиеся источником заболеваний. Особенно опасны отходы свиноводческих комплексов. Одна свиноферма на 100 тыс. голов по интенсивности загрязнения воды равнозначна городу с населением 250 тыс. человек. Сложность проблемы охраны вод от стоков животноводческих хозяйств заключается в трудности санитарного обеспечения накопителей и утилизации отходов.

Все большее влияние на качество воды оказывают *диффузные источники загрязнения*, в частности, удобрения и ядохимикаты, смываемые с сельскохозяйственных площадей, а также ливневыми и снеговыми водами с городских и промышленных территорий. Установлено, что по нагрузке они соизмеримы с хозяйственно-бытовыми стоками. Ядохимикаты не только накапливаются в объектах природной среды в больших количествах, но и сохраняются в ней очень долгое время – неделями, месяцами и даже годами. Отмечается зависимость пестицидов в природной среде от климатических факторов: от особенностей термического режима, характера переноса воздушных масс в различных природных зонах, интенсивности и сезонности выпадения осадков.

Переносимые воздушными потоками, почвенными водами, растительными и животными пищевыми продуктами пестициды распространяют свое влияние на все большие территории. По масштабам распространения пестициды можно классифицировать на препараты, имеющие тенденцию к глобальному рассеянию, и на препараты, загрязняющие окружающую среду локально. Глобальное рассеяние характерно для некоторых хлор-органических соединений. Органические соединения фосфора и карбонаты вследствие значительно меньшей устойчивости загрязняют окружающую среду локально, хотя возможность их глобального рассеивания в принципе не исключена. Они могут переноситься на сравнительно большие расстояния с воздухом и обычно содержатся в воздухе в более высоких концентрациях, чем хлорорганические соединения. Глобальная циркуляция пестицидов обусловлена сложным взаимодействием атмосферы, воды, водных взвесей и донных осадков.

Большую опасность представляют *сточные воды* (промышленные, сельскохозяйственные и бытовые), нейтрализация которых в зависимости от степени очистки требует 5–12-кратного разбавления чистой природной водой. Даже если больше половины объема воды, сбрасываемой в реки и водоемы, подвергать искусственной очистке, стоки портят в 12–15 раз больший объем чистой воды. Сбрасываемые на Земле сточные воды загрязняют более $\frac{1}{3}$ всего устойчивого стока.

Качество природной воды ухудшается в результате воздействия *загрязнений, поступающих из атмосферы*. В отдельных случаях они достигают 15–20 % от общего загрязнения водоема. Выбросы индустрии в атмосферу Земли составляют более 53 млн. т оксидов азота, 200 млн. т оксида углерода, около 146 млн. т двуоксида серы, 200–500 млн. т пыли и 120 млн. т золы. Твердые частицы этих выбросов, перемещаясь с воздушными потоками на большие расстояния, выпадают на сушу или воду. Газообразные выбросы, растворяясь в атмосферной влаге, выпадают на поверхность Земли в виде «кислотных дождей» и наносят ущерб флоре и фауне.

К числу загрязнителей природных вод следует также отнести *водный транспорт, лесосплав и сопутствующие ему работы, отвалы горных разработок* и пр.

Водный транспорт загрязняет воду при сбросе отходов, и особенно нефтепродуктов, которые попадают в воду при перевозках морским транспортом. При холостом рейсе танкеры для устойчивости наполняют водой, а в месте загрузки нефтью насыщенную нефтепродуктами балластную воду сбрасывают за борт. Международным соглашением

запрещается сброс в море неочищенной балластной воды. Однако многие судовладельческие компании считают более выгодным платить штрафы, чем терпеть убытки от простоя на станциях промывки.

Молевой сплав леса (сплав бревен россыпью) приводит к засорению водных объектов в результате потери коры и сучьев, которые оседают на дно рек. Затонувшая древесина (до 10 %), а также выделяющиеся смолы, дубильные вещества и вредные соединения медленно разлагаются, поглощают кислород и выделяют фенольные и другие вредные вещества, отравляя воду. Вырубка густого кустарника по берегам рек, мешающего лесосплаву, усиливает эрозийные процессы, ускоряя заиливание русла. Большой ущерб молевой сплав наносит рыбному хозяйству в результате травмирования рыбы, разрушения нерестилищ и отравления икры и кормовых организмов. *Вырубка леса* на территории водосборов нарушает температурный и биологический режимы рек, что вызывает их обмеление и пересыхание. На качество воды в значительной степени оказывают влияние и водохозяйственные мероприятия, в том числе различные *мелиоративные работы*. Особенно на гидрохимический и гидробиологический режимы водотоков и водоемов влияет *создание водохранилищ*.

В водохранилищах озерного типа со значительной изрезанностью береговой линии и большим числом заливов возрастает доля процессов, характерных для застойных зон, усиливаются процессы эвтрофикации (зарастание водной растительностью). Эвтрофикация особенно усиливается под влиянием поступления в водоемы удобрений с полей и сточных вод.

Если в начальный период эвтрофикация приводит к увеличению продуктивности водоема в развитии фитопланктона и рыбы, то в последующем она является причиной ухудшения качества воды и обеднения видового состава, приводит к развитию сине-зеленых водорослей, менее требовательных к условиям обитания.

Сине-зеленые водоросли – одноклеточные организмы – обычно соединяются в колонии в виде нитей. Живут в воде и на берегах водоемов, развиваются с интенсивностью 10–20 г/м³ (по сухому веществу). Как и другие фотосинтезирующие организмы, они играют положительную роль в обогащении воды свободным кислородом. Сине-зеленые водоросли наиболее интенсивно развиваются в застойных водоемах с теплой водой. Особенно больших масштабов их развитие достигло в водохранилищах, относящихся к озерному типу с водообменом 2–4 раза в год. В более благоприятном положении находятся

озерно-речные водоемы с водообменном 12–18 раз в год. Интенсивность развития сине-зеленых водорослей в водохранилищах достигает 300–500 г/м³ и более. При этом продукты их распада становятся источником загрязнения воды. В пятнах цветения, где биомасса сине-зеленых водорослей достигает 5–10 кг/м³, содержание аммонийного азота и минерального фосфора повышается в 5–10 раз, органического азота – в 30–150 раз, численность бактерий возрастает в 25–100 раз, а гнилостных бактерий – до 400 раз. В результате экранирующего действия пятен цветения (затенения) подавляются процессы фотосинтеза в толще воды, что сопровождается гибелью кормовых организмов и замором рыб. При этом гибнет в основном молодь окуневых рыб (судак, окунь, ерш).

Ущербы от цветения воды весьма значительны в системах коммунального и технического водоснабжения и в рыбном хозяйстве. В системах водоснабжения в период цветения увеличивается расход коагулянтов для осаждения водорослей и требуется расширение площади и объем отстойников. На тепловых электростанциях сине-зеленые водоросли снижают эффект охлаждения, приводят к перерасходу топлива. Избыточное цветение ограничивает, а иногда и исключает использование водных ресурсов для рекреации, лечения, спорта и туризма.

Все вредные вещества влияют на органолептические, общесанитарные, токсические и рыбохозяйственные качества воды, изменяя ее физические свойства (прозрачность, окраску, запах и пр.) и химический состав. При этом появляются плавающие образования и отложения, бактерии, вирусы, грибки. В результате качество воды рек и водоемов может оказаться непригодным для водопользования.

1.9. Основные показатели качества природных вод

Оценка экологического состояния природных вод по уровню техногенной нагрузки и степени загрязнения. Природная вода представляет собой многокомпонентную динамическую систему, в состав которой входят газы, минеральные и органические вещества, находящиеся в растворенном и взвешенном состояниях, а также микроорганизмы. В виде ионов, недиссоциированных молекул, коллоидных и взвешенных частичек в природных водах содержится свыше 50 элементов, однако только некоторые из них встречаются в значительных количествах.

Качество природных водных источников определяется по наличию в ней веществ неорганического и органического происхождения, а также микроорганизмов и характеризуется различными физическими, химическими, бактериологическими и биологическими факторами.

К *физическим* показателям воды относятся температура, запах, вкус, мутность, цветность, электропроводимость.

Химическими показателями качества воды являются общее количество растворенных веществ, или сухой остаток, прокаленный остаток, активная реакция, или рН воды, окисляемость, щелочность, содержание газов, наличие азотосодержащих соединений, хлоридов, сульфатов, железа, марганца, кальция, магния, некоторых ядовитых и радиоактивных веществ.

Бактериологические, или санитарные, показатели характеризуют общую бактериальную загрязненность воды, а также содержание в ней бактерий кишечной палочки (бактерий *coli*).

Биологические показатели определяют наличие водных организмов, находящихся на поверхности (планктон) и в толще (нейстон) воды или располагающихся у дна водоема, берегов и на поверхности подводных предметов (бентос).

Органические вещества. Показателем количества и качественного состава органических веществ является цветность воды и ее окисляемость. В речных водах нашей страны цветность изменяется в весьма широких пределах – от 5–50 до 75–314°. В больших пределах колеблется и окисляемость речных вод, которая в большинстве случаев увеличивается с увеличением цветности воды. Бихроматная окисляемость изменяется по территории от 4 до 155 мг $O_2/дм^3$, а перманганатная – от 2 до 46 мг $O_2/дм^3$, составляя 15–95 % бихроматной окисляемости. Величины цветности и окисляемости воды тесно связаны с характером распространения торфяно-болотных и заболоченных почв и лесных массивов. Они, как правило, увеличиваются с увеличением заболоченности и облесенности водосборов. Воды с повышенными и высокими значениями цветности и окисляемости характерны главным образом для заболоченных и облесенных водосборов бассейнов рек.

Максимальные значения цветности и окисляемости воды наблюдаются в период летне-осенних паводков и весеннего половодья, чаще на его спаде. В период устойчивой низкой межени с уменьшением поверхностного и увеличением грунтового питания рек цветность и окисляемость воды достигают минимальных величин. Однако в отдельные годы на водосборах с преобладанием торфяно-болотных почв

максимальные значения цветности могут наблюдаться и в период зимней межени. В этот период, при наличии сплошного мощного ледяного покрова в речных водах с большим содержанием органических веществ в результате протекающих процессов окисления органических веществ, могут наблюдаться заморы рыбы. Существенно изменяется содержание органических веществ и в разные годы. Как правило, при повышении водности содержание органических веществ увеличивается.

Растворенный кислород в водные источники поступает из атмосферного воздуха, а также образуется в результате фотосинтеза водорослями. Содержание O_2 в воде уменьшается вследствие протекания процессов окисления органических веществ и потребления его живыми организмами при дыхании. Резкое уменьшение содержания O_2 в воде по сравнению с нормальным свидетельствует о ее загрязнении.

Зимой содержание органических веществ в природных водах минимальное, однако в период половодья и паводков, а также летом в период массового развития водорослей – «цветения» водоемов – оно повышается.

Присутствие в природных водах легко окисляемых органических веществ идентифицируется величиной биологического потребления кислорода за 5 суток (БПК₅), фоновое значение которой принимается равной 1,2–2,0 мг/дм³, а для рек со значительным болотным питанием она составляет 2,0–2,5 мг/дм³. В условиях техногенеза содержание органических веществ в речных водах повышается, что приводит к росту величины БПК₅, значение которой выше предельно допустимой концентрации (ПДК) (3,0 мг/дм³) свидетельствует о загрязнении вод. Речные воды области характеризуются низким уровнем загрязнения органическими веществами, их усредненные значения по бассейнам основных рек колеблются от 0,8–1,8 ПДК.

При выявлении уровней загрязненности поверхностных вод различными химическими веществами приоритет отдают рыбохозяйственным нормативам, так как предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ, принятые для водных объектов рыбохозяйственного назначения, предъявляют более жесткие требования к химическому составу природных вод.

Нормативы качества воды для объектов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового водопользования и рыбохозяйственных целей. Физические, химические, биологические, микробиологические и комплексные показатели качества природной воды. Качество поверхностных вод устанавливают по индексу загрязненности вод (ИЗВ).

Индекс загрязнения воды и гидробиологический индекс сапробности S , как правило, рассчитывают по шести-семи показателям, которые можно считать гидрохимическими; часть из них (концентрация растворенного кислорода, водородный показатель pH, биологическое потребление кислорода БПК₅) является обязательной.

$$\text{ИЗВ} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}}{N}, \quad (1.94)$$

где C_i – концентрация компонента (в ряде случаев – значение параметра);

ПДК_{*i*} – установленная величина для соответствующего типа водного объекта;

N – число показателей, используемых для расчета индекса.

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы (табл. 1.18). Его используют для оценки изменения качества вод во времени, по течению, в зонах влияния крупных источников воздействия, но делать это целесообразно в границах одной биогеохимической провинции и для однотипных водных объектов.

Таблица 1.18. Классификация качества воды в зависимости от значения индекса загрязнения

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	До 0,3	1
Чистые	0,3–1,0	2
Умеренно загрязненные	1,0–2,5	3
Загрязненные	2,5–4,0	4
Грязные	4,0–6,0	5
Очень грязные	6,0–10,0	6
Чрезвычайно грязные	Более 10,0	7

Каждому виду исследуемых организмов присвоено некоторое условное численное значение индивидуального индекса сапробности, отражающее совокупность его физиолого-биохимических свойств, обусловливающих способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ. Для статистической достоверности результатов необходимо, чтобы в пробе содержалось не менее 12 индикаторных организмов с общим числом особей в поле наблюдения не менее 30.

В табл. 1.19 приведена классификация водных объектов по значению индекса сапробности S , которые также нормируются.

Таблица 1.19. Классификация качества воды в зависимости от значения индекса загрязнения

Воды	Зоны	Индексы сапробности
Очень чистые	Ксеносапробная	До 0,50
Чистые	Олигосапробная	0,50–1,50
Умеренно загрязненные	а-мезосапробная	1,51–2,50
Тяжело загрязненные	б-мезосапробная	2,51–3,50
Очень тяжело загрязненные	Полисапробная	3,51–4,00
Очень грязные	Полисапробная	Более 4,00

Индекс загрязнения воды и индекс сапробности следует отнести к интегральным характеристикам состояния. Уровень загрязненности и класс качества водных объектов иногда устанавливают в зависимости от микробиологических показателей (табл. 1.20).

Таблица 1.20. Классификация качества воды по микробиологическим показателям

Уровень загрязненности и класс качества вод	Общее число бактерий, 10^6 клеток/см ³	Число сапрофитных бактерий, 1000 клеток/см ³	Отношение общего числа бактерий к числу сапрофитных бактерий
	Микробиологические показатели		
Очень чистые, I	<0,5	<0,5	<1000
Чистые, II	0,5–1,0	0,5–5,0	>1000
Умеренно загрязненные, III	1,1–1,3	5,1–10,0	100–1000
Загрязненные, IV	1,4–5,0	10,1–50,0	<100
Грязные, V	5,1–10,0	50,1–100,0	<100
Очень грязные, IV	>10,0	>100	<100

Кроме тех микробиологических показателей, по которым устанавливается уровень загрязненности и класс качества водных объектов, также установлены нормативы питьевой воды по микробиологическим и паразитологическим показателям, которые определяют ее безопасность в эпидемиологическом отношении (табл. 1.21).

Состав поверхностных вод рек, озер, водохранилищ, морей определяется климатическими и геоморфологическими факторами, почвенно-геологическими условиями, а также гидромелиоративными мероприятиями.

Состав подземных вод (межпластовых, артезианских, карстовых и др.) зависит от условий их формирования.

Таблица 1.21. Классификация качества воды по эпидемиологическим показателям

Показатель	Единицы измерения	Норматив
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общее микробное число	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 л	Отсутствие

В состав воды входят: соли, преимущественно в виде ионов, молекул и комплексов; органические вещества – в молекулярных соединениях и коллоидном состоянии; газы – в виде молекул и гидратированных соединений; диспергированные примеси; гидробионты (планктон, бентос, нейстон, пагон); бактерии и вирусы. Во взвешенном состоянии в природных водах содержатся глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы; в коллоидном – различные вещества органического происхождения, кремниевая кислота, гидроксид железа(III), фульвокислоты, гуматы; в истинно растворенном состоянии находятся в основном минеральные соли, обогащающие воду ионами.

Химический состав природных вод, под которым понимается сложный комплекс минеральных и органических веществ в разных формах ионномолекулярного и коллоидного состояния, подразделяется на пять групп:

- главные ионы, содержащиеся в наибольшем количестве (натрий Na^+ , калий K^+ , кальций Ca^{2+} , магний сульфаты SO_4^{2-} , карбонаты CO_3^{2-} , хлориды Cl^- , гидрокарбонаты HCO_3^-);
- растворенные газы (азот N , кислород O_2 , диоксид углерода CO_2 , метан CH_4 , сероводород H_2S и др.);
- биогенные элементы (соединения фосфора, азота, кремния);
- микроэлементы (соединения всех остальных химических элементов);
- органические вещества.

Степень пригодности воды для питья может оцениваться по следующей шкале: при минерализации до 600 мг/дм^3 – хорошая вода, при минерализации $600\text{--}1000 \text{ мг/дм}^3$ – удовлетворительная и $1000\text{--}1500 \text{ мг/дм}^3$ –

допустимая для питья. Оценку пригодности воды для водопоя животных можно производить по этим же нормам. Содержание солей в реках составляет 191–298 мг/дм³, что позволяет отнести их к водным источникам со средней степенью минерализации.

Жесткость воды измеряют количеством миллиграмм-эквивалентов на кубический дециметр Ca^{2+} и Mg^{2+} . Общую жесткость воды подразделяют на устранимую и постоянную, которая в свою очередь разделяется на остаточную и неустраиваемую. По величине общей жесткости различают следующие категории природных вод: вода очень мягкая (жесткость меньше 1,5 мг-экв/дм³), мягкая (1,5–3 мг-экв/дм³), умеренно жесткая (3–6 мг-экв/дм³), жесткая (6–9 мг-экв/дм³) и очень жесткая (жесткость более 9 мг-экв/дм³).

Жесткость воды в поверхностных источниках тесно связана с минерализацией. С увеличением минерализации увеличивается и общая жесткость воды. Величина минерализации изменяется в разные сезоны года, что в значительной степени зависит от характера питания реки в конкретный момент.

Использование жесткой воды в промышленности и для коммунально-бытовых целей приводит к перерасходу топлива и химических добавок (мыла, красителей, соды и др.), ухудшению качества продукции, снижению надежности и экономичности работы технологического оборудования, а также к другим нежелательным последствиям.

Присутствие значительных количеств *азотистых соединений* (нитритов и нитратов) является одним из показателей загрязнения вод. Поэтому изучение естественного фона нитритов является одним из условий правильной оценки санитарного состояния рек и водоемов.

Нитраты, являясь конечным продуктом сложного процесса минерализации органического вещества, содержатся в речных водах в количествах, значительно больших, чем NO_3 . Их содержание колеблется в пределах от 0 до 3,0 мг/дм³, а на некоторых водосборах достигает 5–10 мг/дм³. В сезонном распределении нитратов имеется более или менее четкая закономерность. Максимальное содержание NO_3 , как правило, наблюдается в период зимней межени и на преобладающей части территории колеблется в пределах от 0,5 до 2,0 мг/дм³. Однако эта закономерность в отдельные годы нарушается. Максимальные и минимальные значения нитратов могут наблюдаться в другие фазы гидрологического режима. Рост в поверхностных водах содержания нитратного азота имеет негативные последствия для речных систем, так как является одним из основных элементов эвтрофирования водоемов и водотоков.

Поступление азота в поверхностные воды связано с процессами минерализации органического вещества, в результате которых образуются аммонийные, нитратные и нитритные соединения, которые в естественных условиях в силу своей высокой миграционной способности, как правило, в речных водах не накапливаются. Нарушение природного биогеохимического цикла азота проявляется, в частности, в увеличении в водах содержания аммонийного и нитритного азота.

Агрессивность воды. Под агрессивным действием воды подразумевается ее способность разрушать различные строительные материалы вследствие воздействия на них растворенными солями и газами или выщелачиванием их составных частей. Различают следующие виды агрессивности: выщелачивающую, общекислотную, углекислую, сульфатную и магниевую. Агрессивность выщелачивания свойственна мягким водам и особенно сильно проявляется в период весеннего половодья.

Общекислотная агрессивность определяется содержанием в воде ионов водорода (величиной pH) и тем выше, чем ниже величина pH.

Частным случаем общекислотной агрессивности является углекислая, при которой разрушение бетона происходит под действием агрессивного CO_2 . Этот вид агрессивности встречается в природных условиях наиболее часто. В период весеннего половодья и летне-осенних паводков значение агрессивного CO_2 колеблется в пределах 1–12 мг/дм³, достигая местами 19 мг/дм³.

Сульфатная и магниевая агрессивность возникает при значительном содержании в воде ионов SO_4^{2-} и Mg^{2+} .

Водородный показатель (pH) характеризует активность и концентрацию ионов водорода в воде. Концентрация ионов водорода имеет большое значение для химических и биологических процессов, протекающих в природных водах: от водородного показателя зависит развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость различных форм миграции элементов, степень агрессивности воды по отношению к бетону и металлам.

При pH 3,0–5,0 реакция воды кислая, 5,0–6,5 – слабокислая, 6,5–7,5 – нейтральная, 7,5–8,5 – слабощелочная, 8,5–9,5 – щелочная, более 9,5 – сильнощелочная.

В реках и водоемах нитраты и фосфаты являются питательными веществами для фитопланктона и высшей водной растительности, привлекающих их из воды. Содержанием этих соединений в поверхностных водах определяется потенциальная продуктивность водоемов. Поэтому территориальные и сезонные изменения этих соединений имеют важное значение для рыбозаведения.

1.10. Организация контроля качества воды природных источников

В нашей стране организованы специальные наблюдения за изменением состояния биосферы, которые необходимы для оценки состояния окружающей, в том числе водной, среды, а также составления прогноза и выявления тенденций изменения уровня этого состояния.

Главной задачей контроля за использованием и охраной вод является обеспечение соблюдения водопользователями требований законодательства Республики Беларусь об охране и использовании вод.

Полученные таким образом материалы позволяют принимать решения для предотвращения нежелательных последствий и управлять отношениями человека с окружающей его природной средой. Общегосударственная служба наблюдений и контроля за уровнем загрязнения водных объектов организована на базе наблюдательных, оперативных и научных организаций Белгидромета и предусматривает использование других организаций контролирующих министерств. Наблюдательные пункты расположены на водных объектах и в сельскохозяйственных зонах, подверженных загрязнению промышленными выбросами, сбросами сточных вод, ядохимикатами и иными загрязняющими активными веществами, а также в районах минимального загрязнения (фоновые наблюдения). Основными принципами в организации наблюдений за состоянием окружающей среды являются систематичность и комплексность, что предусматривает одновременно с наблюдениями за загрязнением пресных и морских вод проведение сопутствующих метеорологических, гидрологических и гидробиологических наблюдений.

Контроль за качеством и распределением пресных вод возложен на ряд министерств и ведомств, территориальные органы, контролирующие выполнение требований норм, стандартов и предписаний о расходовании воды промышленными предприятиями, населенными пунктами и т. п.

Государственный контроль и надзор за использованием и охраной вод в пределах своей компетенции осуществляют местные Советы депутатов, исполнительные и распорядительные органы, республиканский орган государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды и его территориальные органы, органы государственного санитарного надзора и органы государственного управления по надзору за безопасным ведением работ в промышлен-

ности и атомной энергетике (их должностные лица), а также иные уполномоченные государственные органы (должностные лица).

Ведомственный контроль за использованием и охраной вод осуществляется республиканскими органами государственного управления и иными государственными организациями, подчиненными Правительству Республики Беларусь, в целях обеспечения выполнения подведомственными организациями планов, проведения мероприятий по рациональному использованию и охране вод, соблюдения законодательства Республики Беларусь об охране и использовании вод.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие забор воды из водных объектов или иных источников водоснабжения и (или) сброс сточных вод при ведении хозяйственной и иной деятельности, обязаны осуществлять производственный контроль за рациональным использованием и охраной вод.

Общественный контроль за использованием и охраной вод вправе осуществлять общественные объединения в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь, и общественные инспектора по охране природы.

Систематическая и экстренная информация об изменениях уровня загрязнения водных объектов под влиянием хозяйственной деятельности или гидрометеорологических условий позволяет прогнозировать и предупреждать возможные загрязнения.

Анализ результатов наблюдений используется для составления рекомендаций по рациональному использованию водных ресурсов, годовых и перспективных государственных планов развития народного хозяйства, а также для проектирования промышленных предприятий, водохозяйственных сооружений, планирования размещения крупных промышленно-энергетических и сельскохозяйственных комплексов, городов и пр.

Системы контроля могут быть стационарными и мобильными. Отбор проб и контроль качества непрерывно совершенствуются.

Систематические наблюдения и контроль за загрязнением вод суши осуществляются как в местах, подверженных влиянию хозяйственной деятельности человека, так и в районах минимального загрязнения (фоновые наблюдения), для чего в состав сети включаются: *стационарные пункты наблюдений* за уровнем загрязнения поверхностных вод по физическим, химическим и гидробиологическим показателям; *специализированная сеть пунктов* на загрязненных водных объектах для решения оперативных и прогностических задач, а также для

изучения процессов накопления загрязняющих веществ в донных отложениях и влияния последних на качество воды – наблюдения проводятся по специальной программе; *временная экспедиционная сеть пунктов* для получения данных на водных объектах, не охваченных стационарными и специализированными наблюдениями.

Гидробиологические наблюдения за состоянием водоемов и водотоков организуются на пунктах наблюдений, расположенных на особо важных водных объектах.

Пункты стационарной сети в зависимости от программ наблюдений подразделяются на четыре категории.

Пункты 1-й категории размещаются на водных объектах (или их участках) особо важного народнохозяйственного значения, устьевых участках и замыкающих створах основных крупных речных бассейнов, местах нерестилищ и зимовий ценных пород рыб.

Пункты 2-й категории устраивают на водных объектах, прилегающих к районам промышленных городов и рабочих поселков, население которых использует воду для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд, и на участках массового отдыха населения, имеющих большое рыбохозяйственное значение; в местах сброса коллекторно-дренажных вод, отводимых с сельскохозяйственных угодий; на трансграничных створах рек, втекающих на территорию Республики Беларусь из-за рубежа или вытекающих за ее пределы; на замыкающих створах больших и средних рек, впадающих в моря и внутренние водоемы, имеющих большое народнохозяйственное значение; на замыкающих створах рек, по которым составляются водохозяйственные балансы с характеристикой качества водных ресурсов; в приустьевой зоне больших притоков крупных рек, озер и водохранилищ.

Пункты 3-й категории предусматривают на водных объектах, где воздействие на качество воды носит умеренный и слабый характер, т. е. в районах небольших городов, населенных пунктов, промышленных предприятий, местах отдыха людей (дома отдыха, туристические базы и пр.), местах поступления стоков с сельскохозяйственных угодий.

Пункты 4-й категории размещаются на водных объектах, которые не подвержены прямому воздействию загрязнений (фоновые участки).

Перечень наблюдаемых ингредиентов и показателей качества воды на пунктах стационарной сети определяется главным образом химическим составом и объемом сточных вод, их токсичностью и другими условиями, которые оговариваются требованиями со стороны потребителей воды. Это обуславливает характер и направленность про-

грамм наблюдений пунктов стационарной сети. Тем не менее определение показателей качества воды, регламентируемых для санитарно-бытового и рыбохозяйственного водопользования, является обязательным для всех пунктов сети и входит в общую программу. К таким показателям относятся: температура воды, взвешенные вещества, минерализация, цветность воды, мутность, диоксид углерода, водородный показатель, биохимическое потребление кислорода в течение 5 сут, запахи, основные ионы, биогенные компоненты и такие широко распространенные загрязняющие вещества, как нефтепродукты, детергенты, летучие фенолы, пестициды, соединения тяжелых металлов.

Комплекс наблюдений сбора и обработки полученной информации о состоянии водных объектов и управление этими данными составляет часть государственного мониторинга окружающей природной среды.

На инспекции горного надзора возложены функции контроля за состоянием поверхностных и подземных вод в зонах разработки полезных ископаемых и в пределах континентального шельфа.

Для устранения дублирования наблюдений, унификации методики отбора проб и повышения качества анализов первостепенное значение имеет четкая координация работ всей сети наблюдений и гидрохимических лабораторий. Для этого данные всех наблюдений передаются в гидрометфонд и систематически публикуются.

В настоящее время для изучения и охраны водных ресурсов могут использоваться авиационно-космические методы: визуальные наблюдения, аэрофото- и аэрокиносъемки, которые выполняются с высот от сотен метров до 10–15 км. Наблюдения за состоянием биосферы проводят и со всех видов космических летательных аппаратов. В этих случаях фотографирование дополняется спектрографированием, инфракрасной, микроволновой и телевизионной съемками. Космические наблюдения позволяют определять моменты наступления паводков, наводнений, селевых потоков. С космических летательных аппаратов просматриваются скопления водных растений и листьев, т. е. биологические загрязнения водоемов, регистрируются тепловое загрязнение вод и загрязнение вод механическими примесями. Все эти данные также передаются в банк исходной информации о составе и свойствах поверхностных вод.

Организация охраны воды природных источников. Для предотвращения загрязнения, засорения и истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного мира и произрастания объектов растительного мира на территориях, прилегаю-

щих к водным объектам, устанавливаются водоохранные зоны, в которых устанавливается специальный режим хозяйственной и иной деятельности. В пределах водоохранных зон выделяются прибрежные полосы строгого охрannого режима.

В настоящее время разработаны проекты водоохранных зон и прибрежных полос для больших, средних и малых рек республики.

В ходе практического использования проектов выявился ряд недостатков в установлении границ водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов, противоречащих действующему законодательству и требующих корректировки. В ранее выполненных проектах водоохранных зон отсутствует единый методический подход к определению границ водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов, в частности в пределах многих населенных пунктов границы прибрежных полос водных объектов нанесены без учета существовавшей застройки.

Для санитарной охраны от загрязнения источников водоснабжения и водопроводных сооружений, а также территорий, на которых они расположены, созданы зоны санитарной охраны.

Приоритетными проблемами охраны поверхностных и подземных вод являются:

- повышенные концентрации железа, марганца и бора природного происхождения;
- отсутствие и высокий физический износ очистных сооружений (в том числе локальных);
- отсутствие или низкий технический уровень систем дождевой канализации на предприятиях;
- недостаточность внедрения современных технологий на канализационных очистных сооружениях;
- необходимость корректировки проектов водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов с учетом изменившегося законодательства;
- загрязнение грунтовых вод, а в некоторых местах глубоко залегающих напорных вод урбанизированных территорий нитратами, хлоридами, тяжелыми металлами и другими химическими веществами;
- несоответствие санитарным нормам по химическим и микробиологическим показателям подавляющей части шахтных колодцев, являющихся основой питьевого водоснабжения многих сельских населенных пунктов.

Систематически формирующиеся на реках наводнения и паводки наносят значительный ущерб народному хозяйству. За последние 50 лет в республике имели место 15 крупных наводнений.

Средние многолетние годовые ущербы народному хозяйству оценены учеными при разработке технико-экономических обоснований инженерных мероприятий по защите от затоплений и мелиорации поймы р. Припять в 30–40 млн. долл. США.

Площади возможных затоплений составляют: реки Западная Двина – 153 тыс. га, Неман – 157 тыс., Днепр – 347 тыс., Припять – 425 тыс. га.

Для защиты населенных пунктов, сельскохозяйственных земель и других объектов от затопления проводится строительство инженерных сооружений по защите населенных мест и сельскохозяйственных угодий от паводков в паводкоопасных районах, в частности на территории Полесской низменности в бассейне р. Припять. При этом упор делается на строительство дамб и других гидротехнических сооружений, хотя мировая практика показывает необходимость комплексного подхода к решению данной проблемы, включая определение зон с высокой вероятностью затопления и введения в них ограниченного режима хозяйствования, развитие системы страхования от затоплений и др.

Приоритетными проблемами охраны водных ресурсов от негативных воздействий природного характера являются:

- использование в неполной мере возможности управления паводками из-за отсутствия единой системы управления водным хозяйством;

- отсутствие оценки риска наводнений на территории страны в случае чрезвычайных ситуаций (выпадение аномально большого количества осадков);

- проведение в неполном объеме работ по расчистке русел рек от наносов, берегоукреплению, в результате чего из-за подмыва берегов под угрозой разрушения находятся постройки населенных пунктов;

- отсутствие должного контроля за строительством в поймах крупных и средних рек, что приводит к вынужденному в последующем строительству защитных дамб и гидротехнических сооружений;

- недостаточное урегулирование вопросов использования трансграничных вод, сотрудничества по транзитным водотокам при прохождении по ним паводков и половодий.

2. ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

2.1. Охрана водных ресурсов от загрязнения, засорения и истощения

Современное бурное развитие промышленности, сельского хозяйства, транспорта, а также рост городов сопровождаются громадными сбросами загрязненных вод. При отсутствии надлежащих мер по снижению в сточных водах загрязняющих веществ их разбавление в естественных водоемах становится недостаточным. Большие концентрации вредных примесей препятствуют самоочищению воды, и ее загрязнение быстро прогрессирует.

Для сохранения чистоты водоемов проводят различные мероприятия:

- обеспечение полной биологической очистки коммунально-бытовых и промышленных стоков;
- совершенствование технологии промышленного производства с целью сокращения количества сточных вод и снижения загрязнений в них;
- разработку и внедрение маловодной и безводной технологий; внедрение оборотного водоснабжения и расширение повторного использования очищенных сточных вод; рациональное использование удобрений и пестицидов;
- реализацию планов водоохранных мероприятий с учетом перспективного размещения производительных сил.

Для очистки промышленных и коммунальных стоков в настоящее время существуют: механический, физико-химический, химический и биохимический способы очистки.

Для предотвращения попадания удобрений в водные объекты необходимы:

- соблюдение соответствия норм и сроков внесения удобрений с учетом биохимических особенностей почвы;
- дробное внесение удобрений в период вегетации (особенно для почв легкого механического состава);
- внесение удобрений с оросительной водой, что уменьшает их дозу (внесение азотных удобрений при дождевании снижает дозу вдвое);
- применение концентрированных и медленно действующих удобрений (в виде гранул с защитной оболочкой или труднорастворимых удобрений типа конденсатов мочевины), отдающих питательные вещества в почву постепенно, устойчивых к вымыванию;

- исключение хранения удобрений под открытым небом.

Для ограничения поступления пестицидов в водные объекты предусматривают следующие мероприятия:

- совершенствование методов их применения и ограничение использования стойких препаратов (только при сильной зараженности вредителями);

- уменьшение рассеивания пестицидов в окружающей среде (применение очаговой, ленточной или краевой обработки вместо сплошной; расход пестицидов при этом снижается в несколько раз);

- замену применения пестицидов биологическими методами защиты растений.

Технические условия отведения сточных вод в водные объекты. Согласование условий отведения сточных вод в водные объекты.

Составление проекта канализования, очистки, обезвреживания и обеззараживания сточных вод должно быть основано на учете:

- количества, состава и режима отведения сточных вод;

- санитарного состояния водного объекта в районе проектируемого объекта;

- санитарной ситуации выше и ниже спуска сточных вод этого объекта;

- использования водного объекта для хозяйственно-питьевого водоснабжения и культурно-бытовых нужд населения и для рыбохозяйственных и других целей в настоящее время и на перспективу.

При отсутствии установленных нормативов к началу проектирования водопользователи должны обеспечить осуществление необходимых исследований для изучения степени вредности содержащихся в сточных водах веществ и обоснования для них ПДК в воде водных объектов соответственно виду водопользования.

При решении вопроса канализования, очистки и обезвреживания сточных вод промышленного предприятия должны быть рассмотрены в зависимости от конкретных местных условий возможность и целесообразность использования:

- сточных вод в системах оборотного и повторного водоснабжения предприятий или цехов;

- очищенных и обеззараженных хозяйственно-бытовых сточных вод в техническом водоснабжении предприятий или цехов;

- сточных вод одних предприятий для технического водоснабжения других предприятий или цехов;

– совместной очистки и обезвреживания сточных вод канализуемого предприятия со сточными водами других предприятий данного района;

– самостоятельного отведения и очистки производственных сточных вод отдельных предприятий или цехов, если это облегчает осуществление оборотной системы водоснабжения, утилизации ценных веществ из сточных вод или их очистку, обезвреживание и обеззараживание.

В случае когда производственные сточные воды могут резко изменяться по своему составу и количеству во времени или при наличии периодических (залповых) сбросов сильно концентрированных сточных вод, необходимо предусматривать устройство специальных регулирующих емкостей.

Место выпуска сточных вод должно быть расположено ниже по течению реки от границы данного населенного пункта и всех мест его водопользования с учетом возможности обратного течения при нагонных ветрах и при изменении режима ГЭС.

В системе, отводящей сточные воды в водный объект, должны быть предусмотрены приспособления для отбора проб и учета количества поступающих сточных вод. При необходимости должны быть обеспечены соответствующие автоматизированные устройства для постоянного контроля за расходом, составом и свойствами сточных вод.

При производстве расчетов, обосновывающих необходимую степень очистки, обезвреживания и обеззараживания сточных вод, должны быть использованы данные (опытные или расчетные) об условиях смешения сточных вод с водой водного объекта у расчетного (контрольного) пункта (створа) водопользования и соответствующей этим условиям кратности разбавления.

При определении кратности разбавления сточных вод в водном объекте у расчетного (контрольного) створа водопользования необходимо руководствоваться следующим:

1) расчеты проводить по среднечасовым расходам воды водного объекта и по среднечасовым расходам фактического периода спуска сточных вод;

2) расчетными гидрологическими условиями считать:

– для незарегулированных водотоков – наименьший (минимальный) среднемесячный расход воды с учетом 95-процентной годовой обеспеченности по данным органов гидрометеослужбы;

– для зарегулированных водотоков – установленный, гарантированный расход ниже плотины, при обязательном исключении возможности обратных течений в нижнем бьефе;

– для водоемов (водохранилищ и озер) – наименее благоприятный режим, определяемый путем сопоставления расчетов для ветрового воздействия, условий обработки и заполнения водохранилищ при открытом и подледном режимах.

Необходимое уменьшение содержания в отводимых сточных водах примесей для приведения количества их в соответствие с требованиями к составу и свойствам воды в водном объекте в расчетном (контрольном) створе водопользования может производиться любым проверенным в практике методом очистки, обезвреживания и обеззараживания сточных вод и любым методом изменения технологии производства, способствующим уменьшению поступления в сточные воды загрязняющих веществ.

В особо маловодные годы (при водности наименьшего среднемесячного расхода воды менее 95-процентной обеспеченности) условия сброса очищенных сточных вод устанавливаются органами по регулированию использования и охране вод по согласованию с органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы и органами рыбоохраны.

Подлежат согласованию в установленном порядке с органами по регулированию использования и охране вод, органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы и органами рыбоохраны условия отведения сточных вод:

– действующих объектов;

– вновь проектируемых и реконструируемых объектов;

– при увеличении производительности предприятий или изменении технологии производства, влекущего за собой изменение в составе и количестве сточных вод.

Согласование условий отведения сточных вод в водные объекты должно производиться:

– при выборе и отводе площадки для строительства предприятий, сооружений и других объектов, влияющих на состояние вод, при рассмотрении вопроса о реконструкции (расширении) предприятия или изменении технологии производства;

– рассмотрении технического или технорабочего проектов канализации, очистки, обезвреживания и обеззараживания сточных вод нового объекта и реконструируемого (расширяемого) предприятия;

– рассмотрении вопроса о соответствии условий отведения сточных вод любого действующего объекта.

При выборе и отведении площадки для нового объекта или реконструкции существующего представлению к согласованию подлежат материалы:

– характеризующие объект, его производственную мощность, количество, состав и свойства сточных вод, подлежащих к спуску в водный объект, место расположения выпуска, степень изученности состава и свойств сточных вод, степень вредности содержащихся в них специфических примесей, наличие эффективных методов очистки, обезвреживания и обеззараживания сточных вод, наличие известных методов утилизации и извлечения из сточных вод различных веществ и их использования и необходимость проведения специальных исследований для обоснования проекта;

– характеризующие санитарное состояние водного объекта, его гидрологический режим, наличие выпусков сточных вод выше предполагаемого сброса сточных вод данного объекта, состав и свойства воды на этом участке, наличие выпусков сточных вод, расположенных между проектируемым выпуском и ближайшими пунктами водопользования; ближайшие пункты питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного использования, которым в первую очередь может угрожать спуск сточных вод (расчетные или контрольные пункты), перспективные условия использования водного объекта (возможность изменения гидрологического режима, появления на нем новых водопользователей), подтвержденные официальными данными.

При согласовании проекта или при рассмотрении вопроса о соответствии условий отведения сточных вод действующего объекта представлению подлежат:

– материалы, подтверждающие проработку вопросов использования стоков предприятия в оборотном и повторном водоснабжении, а в случае неудовлетворительного решения водооборота материалы, уточняющие технологию и другие условия объекта, вынуждающие к отведению сточных вод в водоем или водоток, количество сточных вод, подлежащих спуску, характеристика водоема или водотока в гидрологическом, санитарном и рыбохозяйственном отношениях, расчетные (контрольные) створы водопользования;

– материалы, подтверждающие проработку возможности использования сточных вод на других предприятиях района или использования

сточных вод других предприятий в техническом водоснабжении данного предприятия;

- расчетные данные, подтверждающие, что при сбросе сточных вод в расчетных (контрольных) пунктах водного объекта состав и свойства воды будут отвечать нормативным требованиям;

- схема, тип, производительность очистных сооружений, основные расчетные параметры и ожидаемая техническая эффективность (в процентах и абсолютных концентрациях) проектируемых (реконструируемых, расширяемых) и действующих сооружений для очистки, обезвреживания и обеззараживания сточных вод;

- другие местные условия, выявившиеся при проектировании и эксплуатации и уточненные в проекте или в процессе эксплуатации;

- материалы, подтверждающие необходимость использования в технологии производства новых реагентов и материалов.

При согласовании проекта проверяется выполнение всех требований и условий, внесенных согласовывающим органом на стадии выбора отведения площадки при предварительном согласовании.

Отступления от ранее согласованных условий, вызванные непредвиденными обстоятельствами при разработке проекта, должны быть детально мотивированы и особо отмечены в проекте, представляемом на согласование.

Подлежат согласованию с органами по регулированию использования и охране вод:

- все работы, проводимые в самих водных объектах по землечерпанию, углублению и расчистке русла, прокладке подводных траншей, дюкеров, продуктопроводов, по подготовке к пуску гидротехнических сооружений и пропуску воды через них, по добыче полезных материалов и веществ;

- размещение береговых устройств для приема сточных, балластных, льяльных и подсланевых вод с судов водного транспорта;

- головные типы судов, намечаемые к использованию для сбора сточных вод от объектов водного транспорта, устройства для предотвращения утечки продуктов из продуктопроводов, а также головные типы судов для удаления нефтепродуктов с поверхности воды и все виды средств водного транспорта.

Порядок контроля эффективности очистки, обезвреживания и обеззараживания сточных вод. Постоянное наблюдение за эксплуатацией сооружений по очистке, обезвреживанию и обеззараживанию

сточных вод должно обеспечиваться водопользователем, сточные воды которого сбрасываются в водный объект путем:

- анализов сточных вод до и после всего комплекса сооружений, предназначенных для ее очистки, обезвреживания и обеззараживания;

- анализов сточных вод до и после отдельных звеньев сооружений (усреднителей, нейтрализаторов, отстойников, ловушек, установок биологической очистки и т. п.);

- замеров количества отводимых сточных вод в наиболее ответственных точках сети и у выпуска в водный объект;

- анализов воды водоема или водотока выше спуска сточных вод и у первого пункта водопользования, согласованного с органами по регулированию использования и охране вод, органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы, и органами рыбоохраны.

Оценка результатов спуска сточных вод должна быть сделана с учетом степени превышения расхода воды водного объекта в период отбора проб для анализа по сравнению с принятыми расчетными гидрологическими условиями.

Порядок контроля, осуществляемого водопользователями (частота, объем анализа и пр.), согласовывается с органами по регулированию использования и охране вод, органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы с учетом местных условий на водном объекте, его использования, степени вредности сточных вод, типов сооружений и особенностей обработки сточных вод.

Государственный контроль за соответствием условий спуска объектом сточных вод требованиям и нормативам осуществляется органами по регулированию использования и охране вод при участии органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы и органов, осуществляющих охрану рыбных запасов, в процессе выбора и отвода площадки под строительство, проектирования и эксплуатации предприятий, сооружений и других объектов.

Контролирующие органы обязаны потребовать прекращения сброса сточных вод, снижения или уменьшения концентрации вредных веществ в сточных водах в случаях:

- обнаружения систематических нарушений органолептических свойств воды свыше допустимых показателей;

- обнаружения в зоне контроля содержания вредных веществ свыше допустимых нормативов;

- возникновения в загрязненном водном объекте явлений гибели рыбы (заморов) при условии доказанности причинной связи между

загрязнением водоема (водотока) сточными водами данного предприятия и заморными явлениями.

Все изыскания, специальные исследования и наблюдения, как и производство необходимых анализов, а также техническое обоснование необходимости спуска сточных вод и их обработки производятся силами и средствами водопользователей, для которых осуществляется проектирование или реконструкция, или по их поручению соответствующими исследовательскими и проектными учреждениями.

Оценка выноса удобрений и пестицидов неорганизованным поверхностным стоком. Интенсификация сельскохозяйственного производства сопровождается быстрым наращиванием темпов применения минеральных удобрений и химических средств защиты растений от сорняков, вредителей и болезней. В результате в окружающую среду поступает много химических веществ, в том числе пестицидов, некоторые из них устойчивы к воздействию внешних факторов и в течение длительного времени сохраняют свои свойства. Пестициды накапливаются в почве, а затем смываются в водоемы или просачиваются в водоносные горизонты. При обработке полей с помощью авиации пестициды могут попадать в водоисточники непосредственно.

Особая опасность загрязнения вод удобрениями и пестицидами заключается в том, что стоки с полей невозможно пропустить через очистные сооружения. Кроме того, огромные площади сельскохозяйственных угодий являются основными речными водосборами, с которых вода поступает в водные объекты.

Исследованиями установлено, что из внесенных удобрений в водоисточники попадает около 20 % азота, 2,5 % фосфора и 30 % калия. Таким образом, сельское хозяйство стало основным загрязнителем водных объектов биогенными веществами.

Биогенные вещества способствуют интенсивному развитию фитопланктона («цветению» воды), стимулируют рост нежелательных водных организмов, вызывают прогрессирующую эвтрофикацию (содержание в воде питательных веществ и первичной продукции) водных объектов, приводят к нарушению процессов самоочищения.

Вносимый в почву азот под влиянием нитрификационных процессов превращается в легкорастворимые нитратные формы, обладающие большой подвижностью, что способствует загрязнению грунтовых вод, делая их непригодными для употребления. Максимально допустимое содержание нитратного азота в питьевой воде составляет 10 мг/л.

Для защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков все шире применяют химические средства. В настоящее время сельское хозяйство является практически единственным загрязнителем водных объектов пестицидами.

В результате широкого применения химических средств защиты растений происходит загрязнение территорий, оросительной сети, а также рек и грунтовых вод.

В открытые воды пестициды попадают с дождевыми и талыми водами, стекающими с обработанных ими территорий, при нарушении технологии авиа- и наземной обработки сельскохозяйственных угодий и лесов, в результате сброса сточных вод предприятиями, производящими пестициды, неправильного хранения или потерь при транспортировке.

Несоблюдение дозировок и сроков обработки ведет к накоплению пестицидов в сельскохозяйственных продуктах, идущих в пищу людям и на корм скоту. Увеличение кратности обработок приводит к накоплению пестицидов в почве и последующему вымыванию их в водоемы. С отдельных оросительных систем с площади 1 тыс. га ежегодно выносятся около 100 кг хлорорганических пестицидов, наиболее стойких и обладающих кумулятивными свойствами. Накапливаясь в тканях и органах рыб, они вызывают их токсикоз и гибель.

Промышленные и коммунальные стоки и способы их очистки. Наибольшее загрязнение природных вод дает промышленность таких отраслей народного хозяйства, как нефтеперерабатывающая, химическая, мыловаренная, целлюлозно-бумажная, текстильная, металлургическая, горнодобывающая и др.

Почти все промышленные сточные воды загрязнены в той или иной мере нефтепродуктами, отрицательно влияющими на качество воды. Даже незначительное содержание нефти (0,2–0,4 мг/л) придает воде специфический запах, который не исчезает после хлорирования и фильтрации.

Большую опасность представляют фенольные соединения, находящиеся в сточных водах химических предприятий, особенно лесохимической, анилинокрасочной, коксохимической и других отраслей. Фенольные воды, обладая сильными антисептическими свойствами, нарушают биологические процессы в воде, придавая ей резкий, неприятный запах.

Сточные воды предприятий электрохимической промышленности, рудообогатительных фабрик и предприятий по производству пестици-

дов, а также шахтные и рудничные содержат значительное количество цинка и меди.

Содержащиеся в сточных водах некоторых производств синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) резко ухудшают биохимическую очистительную способность воды. Поэтому даже при небольших концентрациях СПАВ в воде прекращается рост водной растительности, усиливаются привкусы и запахи, образуются стойкие скопления пены.

Города и другие населенные пункты дают большое количество загрязненных веществ. В составе коммунальных стоков, кроме фекальных вод, содержится значительное количество вредных соединений от использования химических веществ в быту, а также от предприятий пищевой промышленности, общественного питания, торговли и т. д. Наличие в коммунальных стоках болезнетворных микробов и вирусов, а также яиц гельминтов делает их особенно опасными для здоровья людей. Особенность коммунальных стоков – неравномерность их поступления, затрудняющая работу городской канализации.

Населенные пункты дополнительно загрязняют водные объекты поверхностным стоком от дождей или таяния снега с улиц, дворов и с территорий промышленных предприятий. Они содержат в себе нефтепродукты и другие специфические загрязнения.

В настоящее время существуют следующие способы очистки сточных вод: механическая, физико-химическая, химическая и биохимическая.

Механическая очистка служит для отделения нерастворенных веществ путем процеживания, отстаивания, фильтрования и центрифугирования. Применяют ее как предварительную перед другими способами очистки или в случаях, когда сточные воды, прошедшие через упомянутые сооружения, используют для целей производства или при приемлемых показателях выпускают в водоем. Воды, прошедшие механическую очистку, как правило, нужно также обезвреживать путем хлорирования.

Химические и физико-химические способы применяют для очистки производственных сточных вод от коллоидных и растворенных веществ загрязнения. Для этого в соответствии с характером загрязнений в воду вводят специальные реагенты, пропускают воздух или пар, используют электролиз и ионообменные материалы.

Биохимическая очистка основана на способности некоторых микроорганизмов использовать для своего развития органические веще-

ства, содержащиеся в сточных водах в коллоидном и растворенном состоянии. Этот способ применяют после того, как сточная вода прошла очистку от минеральных и нерастворимых органических веществ. Он позволяет почти полностью удалить загрязнения органического происхождения. Биохимическую очистку проводят в естественных условиях – на полях орошения, полях фильтрации или в биологических прудах, а также в искусственных условиях – в биологических фильтрах и аэротенках.

Охрана вод от загрязнения удобрениями и пестицидами. Загрязнение водоемов не является неизбежным спутником интенсификации сельскохозяйственного производства. Более того, при правильном использовании минеральные удобрения являются эффективным средством защиты окружающей среды, так как их применение улучшает структуру почвы, повышает ее устойчивость к водной и ветровой эрозии.

Для предупреждения попадания удобрений в водоисточники необходимо:

- соблюдение соответствия норм внесения удобрений потребностям растений; установление оптимальных сроков внесения удобрений с учетом биохимических особенностей почвы;
- дробное внесение удобрений в период вегетации (особенно для почв легкого механического состава);
- внесение удобрений с оросительной водой, что уменьшает их дозу;
- применение концентрированных форм удобрений, уменьшающее внесение в почву балластных веществ;
- использование медленно действующих азотных удобрений в виде гранул с защитной оболочкой или труднорастворимых удобрений типа конденсатов мочевины, отдающих питательные вещества в почву постепенно, устойчивых к вымыванию и имеющих высокий коэффициент полезного действия;
- применение ингибиторов нитрификации, снижающих активность почвенных бактерий, переводящих аммонийный азот в легко растворимую нитратную форму;
- исключение хранения удобрений под открытым небом.

Для ограничения поступления пестицидов в водные объекты предусматривают следующие мероприятия:

- совершенствование системы их применения. Прежде всего усилия должны быть направлены на сокращение использования стойких

препаратов, а пестициды следует применять только при сильной зараженности вредителями;

- использование с целью уменьшения рассеивания пестицидов в окружающей среде очаговой, ленточной или краевой обработки вместо сплошной. При такой обработке расход пестицидов снижается в несколько раз при том же производственном эффекте, так как сохраняются естественные враги вредителей (энтомофаги и др.);

- широкое применение биологических методов защиты растений вместо пестицидов;

- разработка менее опасных видов пестицидов, отличающихся минимальной токсичностью, высокой скоростью разложения в воде и минимально возможной миграционной способностью. Последнему требованию отвечают гранулированные формы пестицидов;

- запрет на химическую обработку орошаемых земель путем авиаопыления. Основным способом применения пестицидов должно стать ультрамалообъемное опрыскивание.

Общей мерой по предотвращению попадания удобрений и пестицидов в открытые водоемы является создание прибрежных водоохранных зон с проведением лесных и гидротехнических мелиораций, а также агротехнических мероприятий.

Лесные мелиорации заключаются в создании защитных полос в пределах верхней и средней частей речных бассейнов, в результате чего уменьшается поверхностный сток и ослабляются процессы водной эрозии. Число и вид лесных полос определяются климатическими, топографическими, гидрологическими и гидрогеологическими условиями.

Агротехнические мероприятия предполагают соблюдение правильного ведения сельскохозяйственных работ. Так, на участках, подверженных эрозии, вспашку проводят поперек склонов с последующим выращиванием растений, обладающих достаточно развитой корневой системой. В прибрежной водоохранной зоне склоны должны быть изъяты из сельскохозяйственного использования и залужены. Выпас скота на крутых склонах запрещен.

Гидротехнические мелиорации заключаются в основном в поддержании благоприятного водно-воздушного режима почвогрунтов, препятствующего вымыванию питательных веществ из почвы. При орошении нужно не допускать больших поливных норм, приводящих или к смыву удобрений, или к подъему грунтовых вод и засолению.

К мелиоративным мероприятиям относятся также работы по предотвращению образования оврагов, оползней и обрушений берегов. Для этого проводят террасирование крутых склонов, крепление откосов и прокладку специальных дренажей и каналов. Организованное проведение комплексных мелиоративных мероприятий позволяет существенно уменьшить загрязнение природных вод.

Использование стоков животноводческих комплексов. Стоки животноводческих комплексов губительно действуют на водные объекты. Сложность утилизации, трудности обеспечения санитарного состояния навозохранилищ и жижесборников представляют проблему животноводческих хозяйств страны.

В настоящее время используют следующую технологию обезвреживания навозных стоков: жидкий навоз, удаляемый из помещений скребковым транспортером, гидросмывом или гидросплавом, направляют в жижесборники, откуда насосами или самотеком по лоткам подают в отстойники, где навоз хранится полгода. За это время он разделяется на твердый осадок и осветленную часть, поступающую в бассейны суточного регулирования для смешивания с чистой водой. Эту смесь подают в закрытую оросительную сеть для полива кормовых культур.

Прибрежные водоохранные зоны. Для защиты водных объектов от неорганизованного стока создают прибрежные водоохранные зоны, позволяющие максимально перевести поверхностный сток в подземный. В прибрежных водоохранных зонах предусматривают лесные полосы для перехвата и перераспределения поверхностного стока, укрепления берегов и частичного извлечения минеральных солей, а также задержания эрозированной почвы и химических препаратов.

Такая зона включает территорию, прилегающую к водному объекту, на которой устанавливают специальный режим для предотвращения загрязнения, засорения и истощения вод, и представляет собой систему лесных полос в сочетании с простейшими гидротехническими устройствами и сооружениями. Лесные мелиорации представляют собой защитные полосы в пределах верхней и средней частей речных бассейнов, создание которых уменьшает поверхностный сток и ослабляет процессы водной эрозии. Число и вид лесных полос определяются климатическими, топографическими, гидрологическими и гидрогеологическими условиями. Лесные мелиорации полевых прудов создают в балках, лощинах, суходолах. В прудах, заполняющихся водами поверхностного стока и подверженных быстрому заилению от поступающих наносов, по периметру устраивают лесную полосу шириной 20–

80 м. Ниже делают залуженную полосу шириной 15–20 м для аккумуляции мелких фракций наносов и древесного опада (листва, ветви). В вершине пруда за лесной полосой создают илоуловитель из густопосаженной кустарниковой ивы и поперечных плетней. Подобная лесомелиорация позволяет перевести поверхностный сток в подземный, способствует более равномерному питанию водотока грунтовыми водами в течение года, защищает зеркало водоема от ветров и солнечной радиации, снижает испарение до 50 % и исключает загрязнение воды. Лесомелиорацию рек и речных долин осуществляют для истоков, мелких, средних и крупных рек.

Крупные реки имеют развитое судоходство и рыбоводство, каскады водохранилищ с гидроэлектростанциями, являются источниками водоснабжения и местами развития рекреационных мероприятий. К неблагоприятным процессам, происходящим в долинах этого звена, для предупреждения поступления твердых выносов с вышерасположенных участков, заносящих русло и сельскохозяйственные угодья на пойме, предусматривают прирусловые полосы. Кустарниковая прибрежная часть полосы шириной 30–70 м из устойчивых к затоплению ив здесь играет кольматирующую роль. Примыкающая к кустарниковой ленте древоствольная часть полосы шириной 100–130 м имеет мощную струенаправляющую опушку из трех рядов пирамидального тополя или осокоря. В пойме рек устраивают поперечные кольматирующие и ветроломные полосы, а берега долин укрепляют соответствующими лесными насаждениями или бунами.

В долине рек со средней шириной 5 км лесомелиоративные насаждения составляют 20 %, луга и другие сельскохозяйственные культуры – 74 %, водная поверхность – 6 % от общей площади территории.

Водохранилища на реках подвержены заилению в результате эрозии грунта с берегов как самого водоема, так и притоков, а также действию ветров, усиливающих испарение. Лесомелиорация здесь должна быть направлена на уменьшение эрозионных процессов путем создания кольматирующих лесных полос шириной 100 м через 300 м на затопляемых поймах и лесных полос по берегам русел и долин. Между полосами культивируются луга с хорошо развитым травостоем.

Прибрежные лесонасаждения ослабляют скорость ветра в зоне более 1 км и таким образом снижают высоту и ударную силу волн, уменьшают на 10–30 % испарение, улучшают микроклимат и санитарно-гигиенические условия для населения. Для уменьшения негативных последствий по сформировавшемуся пляжу создают волноломные насаждения.

Защита вод от загрязнения сине-зелеными водорослями. Продукты распада сине-зеленых водорослей. Сине-зеленые водоросли относятся к группе низших, наиболее примитивных растений. В большинстве случаев это одноклеточные организмы, обычно соединяющиеся в колонии. У некоторых клетки при помощи слизи и выростов соединены в ценобии в виде нитей, давая внешнюю картину многоклеточности. Размножаются они преимущественно путем деления клеток. Живут сине-зеленые водоросли не только в воде, но и на суше (на берегах водоемов, в почвах и на их поверхности). Это самые распространенные растения земного шара. Они первыми заселяют бесструктурные почвы и совместно с бактериями подготавливают их для освоения другими растениями. Эти водоросли вообще аэробные организмы. Они способны к синтезу углеводов, но используют и распадающиеся органические вещества.

В сезоны массового размножения вода кажется окрашенной в зеленый, синий и другие цвета; это явление называют цветением воды. Синяя жидкость образуется при распаде сине-зеленых водорослей в результате выхода из клеток водорастворимых пигментов – билихром-протеидов. При избыточном развитии водорослей, сопровождающемся цветением воды, качество ее резко ухудшается. В результате активно протекающих процессов брожения и гниения вода насыщается токсичными продуктами (фенолами, цианидами, высшими спиртами), обедняется кислородом, приобретает неприятные запахи. Это приводит к заболеванию и гибели рыб и других гидробионтов. Вода становится непригодной для питья и рекреации. Биологическое загрязнение воды отмирающими водорослями можно сравнить с загрязнением промышленными сточными водами.

Массовое развитие сине-зеленых водорослей наносит значительный ущерб народному хозяйству вследствие нарушения режима водоснабжения городов и населенных пунктов, возникновения заморов рыбы, загрязнения мест отдыха и т. д.

Сине-зеленые водоросли наиболее интенсивно развиваются в застойных водоемах, расположенных в районах с теплым климатом.

В водохранилищах озерного типа со значительной изрезанностью береговой линии и большим числом заливов возрастает доля внутри-водоемных процессов, характерных для застойных зон, усиливаются процессы эвтрофирования. Эвтрофирование особенно усиливается под влиянием поступления в водоемы удобрений с полей и сточных вод.

Если в начальный период эвтрофирование приводит к увеличению продуктивности водоема в развитии фитопланктона и рыбы, то в последующем оно является причиной ухудшения качества воды и обеднения видового состава зообентоса и рыб, приводит к развитию сине-зеленых водорослей, менее требовательных к условиям обитания.

Для *регулирования развития сине-зеленых водорослей* предусматривают следующие мероприятия:

- сокращение притока дополнительных пищевых ресурсов в водоемы за счет ограничения почвенного смыва и повышения качества сточных вод;

- очищение поверхности от водорослевых масс с последующим использованием их в хозяйственных целях;

- удаление иловых отложений, аккумулирующих биогенные элементы и органические вещества, и использование их в качестве удобрений;

- повышение кислородного насыщения придонных слоев воды.

Сине-зеленые водоросли являются ценным растительным сырьем для получения удобрений. По своему действию они равнозначны навозу, а нередко и превосходят его. Использование водорослевых масс производят без отделения их от воды с помощью насосов. Иногда перед подачей пульпы на поля ее собирают в отстойники на песчаных участках, которые после кольматации зарастают дикорастущими растениями, что закрепляет их от ветровой эрозии. Сине-зеленые водоросли используют в качестве технического сырья для бродильной промышленности. Из 1 кг воздушно-сухого вещества получают (г): этилового спирта – 25–120, бутилового спирта – 20–50, ацетона – 6–40. Большое количество в сине-зеленых водорослях азотсодержащих веществ, в первую очередь белков и аминокислот, позволяет использовать их для кормовых целей. Сине-зеленые водоросли после специальной обработки (высушивание, кипячение, промывание) могут быть использованы для частичной замены (на 50 %) белка кормового рациона птицы. Эти водоросли богаты витаминами и микроэлементами. Перспективно использование сине-зеленых водорослей для фармацевтической и парфюмерной промышленности.

Тепловые загрязнения. Тепловое загрязнение вод атомными и тепловыми электростанциями можно уменьшать посредством ограниченного использования естественных водоисточников для охлаждения. Для этой цели создают собственные водохранилища-охладители, брызгальные бассейны или мощные градирни. В отдельных случаях водя-

ные охлаждения заменялись воздушными. В районах с прохладным климатом в водохранилищах-охладителях целесообразно разведение рыбы. Подогрев воды дает существенную прибавку рыбной продукции. Использование растительноядных рыб в таких водоемах предотвратит их эвтрофикацию.

Охрана водных объектов от загрязнения радиоактивными веществами. Сброс, удаление и обезвреживание сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, должны осуществляться в соответствии с действующими Нормами радиационной безопасности и Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.

Запрещается спуск в водные объекты пульп, осадков и концентрированных кубовых остатков, образующихся в результате обезвреживания радиоактивных сточных вод, а также высокоактивных жидких стоков.

Запрещается спуск сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, в пруды и озера, предназначенные для разведения рыбы и водоплавающей птицы, а также в ручьи и другие водные объекты, вода из которых может поступать в эти пруды.

Отходы водного транспорта. Загрязнение вод отходами водного транспорта предотвращают путем сбора отходов с судов на специальные береговые или плавучие приемные пункты для переработки. Такие пункты создаются как в речных, так и в морских портах. Для исключения загрязнения морских вод нефтепродуктами создаются экологически чистые танкеры с двойным корпусом. Зазор между двумя корпусами для холостого хода заполняют балластной водой, не соприкасающейся с нефтью.

Загрязнения из атмосферы. Мерами предохранения природных вод от загрязнения через атмосферу должны служить установки газо-, золо- и пылеуловителей и различные устройства для рекуперации отходов.

В целом следует иметь в виду, что даже самые совершенные методы очистки сточных вод смогут лишь отдалить загрязнение природных вод, но не приостановить его, поскольку в экономически развитых районах будут использоваться все водные ресурсы, что вызовет их загрязнение даже при соблюдении норм очистки сточных вод. Поэтому проблема чистой воды может быть решена только путем перевода к замкнутым системам водоснабжения, в которых очистные сооружения должны быть предназначены не для подготовки вод к выпуску их в

естественные водотоки, а для многократного использования в производственных циклах.

Методы улучшения качества природных вод. Природные воды обладают важным свойством – способностью к самоочищению. Процессы самоочищения природных вод происходят под влиянием солнечной радиации, деятельности микроорганизмов и водной растительности, других факторов. Наиболее интенсивно они протекают летом. Самоочищение загрязненных природных вод происходит при многократном (1:7–1:12) их разбавлении чистой водой. Эти процессы в замкнутых водоемах и подземных водах протекают медленно. Полное самоочищение воды Мирового океана, по прогнозам ученых, произойдет только через 2600 лет, а подземных – через 5000 лет. Процессы самоочищения воды протекают в результате ее насыщения кислородом. Под влиянием растворенного кислорода происходят окисление органических веществ и выпадение их на дно водоемов в виде минерального осадка. Наиболее интенсивно вода насыщается кислородом из воздуха на реках с быстрым течением и в водоемах при сильных ветровых волнениях. Этому способствует жизнедеятельность высших водных растений, насыщающих воду кислородом в результате фотохимических процессов фотолиза воды (фотосинтеза) под влиянием солнечной радиации. Наряду с этим качество воды улучшают водные растения за счет поглощения ряда растворенных и дисперсных веществ. К особо благоприятно действующим на процессы биологической очистки воды растениям относятся камыш, рогоз узколистный, тростник обыкновенный, рдест плавающий, роголистник и ряска.

Очищающую способность водных растений используют для очистки сточных вод промышленных предприятий. Для этого создают специальные водные бассейны с тростником и другой болотной и приболотной растительностью.

Реки выносят в моря и океаны огромные массы загрязнений. Однако вода морей остается прозрачной и достаточно чистой благодаря водной растительности и многочисленным живым организмам (ракообразным, моллюскам и червям). Поселения этих организмов, расположенных на 1 м², фильтруют более 200 м³/сут воды, освобождая ее от загрязнений.

Очистка рек от донных отложений. Хозяйственное использование рек и водосборных площадей приводит к загрязнению и заилению речных русел. Речное русло содержит помимо воды твердые фракции ила.

Водный сток определяют грунтовые, снеговые и дождевые воды, твердые фракции – взвешенные наносы, появляющиеся в результате эрозии грунтов на водосборной площади, образовавшиеся в результате распашки значительных площадей, вырубки лесов, лесонасаждений, нарушения водоохранных зон и т. п. и выпадения органических веществ, образующихся в результате процессов самоочистки водоемов. Взвешенные вещества поступают в водоток также со сточными водами, поверхностным стоком с городских территорий, промышленных площадок, животноводческих комплексов и т. п. Водный сток определяет транспортирующую способность реки, которая может перемещать потоком взвеси без осаждения и таким образом обеспечивать самоочищение. Нарушение транспортирующей способности водотока является причиной заиления речных русел. Сокращение расхода воды в реке на 25 % приводит к снижению транспортирующей способности потока в 2 раза.

Скорость течения зависит от расхода и уровня воды в реке. При использовании реки для судоходства или при создании гидротехнических сооружений увеличивается глубина и снижается скорость, а следовательно, падает транспортирующая способность. Это приводит к благоприятным условиям заиления водотока на значительном протяжении. В этом случае речной поток не в состоянии размывать донные отложения и обеспечивать самопромывку русла, что приводит к наносам, заилению и обмелению речного русла. Для поддержания русла в санитарном состоянии производят его очистку. Очистка рек от загрязненных донных отложений входит в систему водоохранных мероприятий. Необходимость в очистке русел устанавливается на данных натурных изысканий по выявлению мест скопления загрязнений.

Параметры процессов очистки русел устанавливаются с учетом физических особенностей загрязненных донных отложений, факторов размыва, транспорта и осаждения взвесей, а также гидравлического сопротивления речного русла. Технологическая схема работ по очистке русла включает технические решения и эксплуатационные мероприятия, предотвращающие повторное заиление и занесение наносами очищенных участков. В связи с большим объемом и высокой стоимостью работ предусматривают гидравлическое моделирование разрабатываемых мероприятий.

Качество воды водотока городской территории определяется с учетом загрязнений низовой границы населенного пункта.

Очистка русла от загрязненных донных отложений производится землечерпательными и землесосными снарядами, а также струйными взмучивающими устройствами с водоструйными насосами. Первоочередной является очистка притоков и верховых участков русла.

Искусственная аэрация. Искусственная аэрация позволяет интенсифицировать процессы самоочищения воды. При дефиците в воде растворенного кислорода процессы самоочищения резко сокращаются. Возникает необходимость искусственной аэрации, которую осуществляют специальными аэраторами, пропуском воды через водосливные плотины и впуском воздуха в отсасываемые трубы работающих гидротурбин. При любом способе аэрации требуется затрата или потеря энергии. Эффективность искусственной аэрации оценивают приростом содержания кислорода на $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ затраченной энергии.

Барботажный аэратор представляет собой горизонтальную трубу, расположенную на глубине до 1 м, с присоединенными к ней дугowymi пластмассовыми патрубками с отверстиями диаметром 1,5 мм. Нагнетаемый в трубу воздух выходит через отверстия патрубков и при движении к поверхности отдает часть кислорода воде. Эффективность барботажных аэраторов невысока и составляет около 1 кг кислорода на $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Использование кислорода воздуха равно всего 2,2 %.

Механический аэратор С-16 представляет собой систему электрических аэраторов, располагаемых на понтонах, с вертикальными трубами, заглубленными под уровень воды до 1 м. Испытания показали его эффективность, равную 1,14 кг кислорода на $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, что ниже паспортной в 2–3 раза.

В качестве аэраторов можно также использовать *механические поверхностные аэраторы*, разбрызгивающие воду в воздушном пространстве. Достаточно высокую эффективность дает слив воды через плотину. При этом водослив должен быть со свободно падающей струей, а сопряжения бьефов – по типу затопленного прыжка. Исследования показали, что при увеличении высоты плотины эффективность насыщения воды кислородом повышается, но в расчете на единицу высоты плотины (на 1 кВт) падает. Поэтому для искусственной аэрации целесообразно строительство низких водосливных плотин – высотой до 1 м.

Наиболее эффективный способ искусственной аэрации – выпуск воздуха в зону разрежения отсасывающих труб гидротурбин. Средняя эффективность аэрации при таком способе оказалась равной 2,58 кг кислорода на $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, а использование кислорода воздуха достигло 22 %.

Если учесть, что вода, не прошедшая через турбины, остается в верхнем бьефе со своей потенциальной энергией, то потери энергии на ГЭС будут незначительными и действительная эффективность аэрации с помощью гидротурбин может достигнуть 12–18 кг кислорода на 1 кВт·ч.

Биологическая очистка поверхностных вод от загрязнения.

Биологическая очистка сточных вод может происходить в естественных и искусственных условиях. Приемы и сооружения биологической очистки могут быть также разделены на две группы: моделирующие процесс в почвенных условиях и в водной среде.

1. Очистка в естественных условиях известна с древних времен. Он используется в основном для очистки бытовых и городских сточных вод, а не чисто производственных. Для очистки сточных вод применяют поля орошения (подробно рассмотрены в подразделе 1.3), поля фильтрации и биологические пруды (биопруды).

Поля фильтрации – это земельные участки, предназначенные только для полной биологической очистки предварительно осветленных сточных вод. Никаких других задач, кроме очистки сточных вод, поля фильтрации не выполняют. При очистке сточных вод на полях фильтрации используется самоочищающая способность почвы: наиболее интенсивно процесс окисления органических загрязнений идет в верхних слоях почвы (0,2–0,3 м), где соблюдается благоприятный кислородный режим.

Их устраивают на песках, супесях. Поля можно устраивать также на суглинистых грунтах и тощих глинах, однако нагрузку по сточным водам в этом случае снижают. На полях производится распределение и фильтрация через почву сточных вод. Уровень грунтовых вод на территории, используемой под поля, должен быть на глубине не менее 1,5 м от поверхности.

Биологические пруды, называемые также лагунами, – это специально созданные неглубокие водоемы, где протекают естественные процессы самоочищения воды с участием населяющих их организмов. Пруды могут использоваться как самостоятельные системы очистки, так и для доочистки сточных вод после удаления основной массы загрязнений. Они широко применяются для очистки бытовых стоков, поступающих чаще всего в неразбавленном виде, и доочистки сточных вод предприятий пищевой и перерабатывающей, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности, животноводческих ферм, очистки поверхностных (ливневых, талых) вод, дренажных сельскохозяйственных вод в условиях поливного земледелия. Очищенная вода может

использоваться в системе оборотного водоснабжения предприятий, что сокращает их общее водопотребление.

Биопруды подразделяются на анаэробные, аэробно-анаэробные (факультативно аэробные) и аэробные, а также высоко- и низконагружаемые, проточные и контактные.

Аэробные (окислительные) пруды могут быть с естественной и искусственной аэрацией. Также могут использоваться одиночные пруды и каскад прудов.

Анаэробные условия наблюдаются в присутствии избытка органических веществ и недостатка кислорода: в прудах при нагрузках по БПК порядка 300–600 кг/(га · сут), в придонных слоях воды в прудах глубиной 2,5 м и более даже при насыщении воды кислородом в поверхностных слоях, в контактных (непроточных) прудах в первые фазы очистки после заполнения пруда сточной водой, а также при весеннем вскрытии биологических прудов при интенсивном разложении накопившихся за зиму органических соединений. В каскаде проточных прудов головной пруд, принимающий на себя основную массу загрязнений, может быть анаэробным.

Протекающие в анаэробных прудах процессы нитратредукции, сульфатредукции, метанового брожения, восстановления окисленных форм металлов и других веществ приводят к разложению органических веществ, осаждению сульфидов тяжелых металлов. Эксплуатация подобных прудов обычно предусматривает возможность отделения активного ила от очищенной сточной воды (в отстойниках, эмшерах). Анаэробная очистка в прудах позволяет удалить 80–90 % ХПК при температуре 25 °С (50 % – при 10 °С) и времени пребывания воды в сооружении 40–50 сут, однако содержание загрязнений в воде после анаэробной очистки остается все еще высоким, поэтому требуется ее дальнейшая очистка в каскаде проточных аэробных прудов или, если принят контактный метод, в том же пруду, но в аэробных условиях.

Аэробно-анаэробные пруды имеют глубину 1,5–2 м и аэрируются за счет естественных процессов. В поверхностных слоях воды присутствует растворенный кислород, поступающий из атмосферы или образующийся в результате фотосинтеза. Поступление кислорода за счет атмосферной аэрации весьма ограничено и не превышает нескольких граммов O_2 на 1 м^2 в сутки. Днем фотосинтез обогащает воду кислородом, а ночью кислород потребляется в процессе дыхания животными и растениями, при этом в воде может наблюдаться дефицит кислорода. В придонных слоях при полном отсутствии кислорода могут протекать

анаэробные процессы, сульфатредукция, метановое брожение. В таких прудах большое значение приобретают осаждение взвешенных веществ и образование ила на дне.

В зависимости от климатических условий, содержания загрязнений в сточной воде и от требований к качеству очищенной воды нагрузка в аэробно-анаэробных прудах колеблется в пределах 10–300 кг БПК/(га · сут).

В аэробных прудах с естественной аэрацией насыщение воды кислородом происходит вследствие атмосферной аэрации и фотосинтеза. Такие пруды имеют небольшую глубину (0,3–1 м), хорошо освещаются и прогреваются солнечными лучами, что приводит к интенсивному развитию планктонных водорослей и донных высших растений. Очищаемая вода передвигается в них с очень малыми скоростями. Время пребывания воды в этих прудах колеблется от 7 до 60 сут. Если биологические пруды являются самостоятельным очистным сооружением, сточные воды, пройдя отстойники, разбавляются до поступления в пруды 3–5 объемами технической воды. Нагрузка на них: для отстойных сточных вод без разбавления – до 250 м³/(га · сут), для биологически очищенных – до 500 м³/(га · сут).

Достоинства прудов с естественной аэрацией являются простота устройства и обслуживания, минимальные эксплуатационные затраты. Однако скорости изъятия и биологического окисления органических загрязнений в таких прудах невысокие, для очистки требуются большие площади.

Пруды с искусственной аэрацией из-за интенсификации в них биохимических процессов занимают в 10–15 раз меньшую площадь, имеют значительно меньший объем и глубину до 4–6 м. Требуемая степень очистки воды в них обычно достигается за 1–3 сут. Скорость движения воды в таких прудах превышает 0,1 м/с, окислительная мощность 5–20 г БПК/(м³/ч), достигаемая нагрузка – 1000 кг БПК/(га · сут) и выше. Расход сточной воды может достигать 10–25 тыс. м³/ч. Пруды крупных промышленных предприятий представляют собой сооружения объемом до 1 млн. м³, снабженные большим числом аэраторов. Для аэрации воды используются устройства механического (перемешивание), пневматического (нагнетание воздуха) или пневмомеханического типов. Тип аэраторов, их необходимое число и объем зоны, обслуживаемой каждым из аэраторов, выбираются исходя из условий поддержания во взвешенном состоянии активного ила, количества и

содержания кислорода, требующегося для окисления загрязнений, а также поддержания аэробных условий, минимизации объема застойных зон.

Конфигурация прудов часто определяется топографическими особенностями местности. Обычно аэрируемые пруды представляют собой земляные двух-, трехсекционные бассейны с отношением длины к ширине пруда не менее 20, с рассредоточенной подачей и отводом сточной воды либо иловой смеси и последующим их отстаиванием в течение 2–2,5 ч. При меньших отношениях длины к ширине расположение впускных и выпускных устройств устраивают таким образом, чтобы обеспечить движение воды по всему живому сечению пруда. В прудах с искусственной аэрацией объем застойных зон не превышает 10 %, причем, чем сильнее изрезан берег, тем больше объем застойных зон.

По сравнению с прудами с естественной аэрацией в биопрудах с искусственной аэрацией водоросли развиваются менее активно. Это снижает объем вторичной биомассы и загрязнение воды продуктами метаболизма водорослей. Однако строительство и эксплуатация искусственно аэрируемых прудов обходятся дороже, увеличиваются и эксплуатационные затраты.

Интенсивность процессов и глубину доочистки сточных вод в аэрируемых биологических прудах можно существенно повысить, рециркулируя активный ил, отделенный от очищенной воды во вторичных отстойниках (или других сооружениях для илоотделения). В таком режиме работают высоконагружаемые аэробные пруды. Пруды с рециркуляцией ила могут применяться как самостоятельные очистные сооружения либо в качестве одной из ступеней очистки. Низконагружаемые пруды обычно применяют для доочистки сточных вод после аэротенков с БПК 25–50 мг/л. В этом случае они работают на иле, выносимом из вторичных отстойников, а также на микрофлоре, развивающейся в самом пруде. Чтобы избежать заиливания дна, скорость воды в таких прудах должна быть выше 0,007 м/с.

В контактных биопрудах с искусственной аэрацией очистка проводится в два этапа – аэрация и осаждение. В период аэрации сточные воды подаются в пруд, но не удаляются из него. При прекращении аэрации ил оседает, и осветленная вода отводится из пруда. Чередувание аэрации и осаждения осуществляется в режиме автоматического управления.

В контактных биопрудах с естественной аэрацией отстоенная сточная вода при необходимости разбавляется 3–5 объемами чистой воды и выпускается в мелкие непроточные пруды. Через 20–30 сут вода спускается и пруд вновь заполняется разбавленной сточной водой. Качество очистки в таких непроточных прудах выше, чем в проточных.

В каскадных прудах, устанавливаемых обычно на местности, имеющей уклон, неразбавленная сточная вода проходит последовательно через 4–6-ступенчатый каскад прудов с аэробным прудом на первой ступени, водорослевыми, рачковыми, рыбоводными прудами. Разведение рыбы в таких прудах бывает возможно после прохождения 3–4 ступеней.

Целесообразность применения биологических прудов определяется концентрацией загрязнений и расходом сточных вод, а также конкретными климатическими, почвенными и топографическими условиями, уровнем минерализации воды. Под биопруды необходимо отводить достаточно большие земельные площади, поэтому часто их создают в поймах, на мелководьях и на участках рек с малыми уклонами. В таких случаях при обильном развитии в них воздушно-водной и погруженной растительности их эксплуатируют фактически, как гидрботанические площадки или биоплато.

Для нормальной работы биопрудов необходимо соблюдать оптимальные значения рН и температуры сточных вод. Температура должна быть не ниже 6 °С. Поскольку режим работы биопрудов зависит от температуры и уровня освещенности, это создает определенные трудности для стабилизации очистки.

2. Сооружения с очисткой сточных вод в искусственно созданных условиях. Разработка искусственных методов очистки началась в начале прошлого века. Для очистки сточных вод применяют биофильтры и аэротенки.

Биофильтр (рис. 2.1) представляет собой слой фильтрующего материала высотой 1,5–2 м, через который пропускается сточная вода.

Через 2–3 нед (период адаптации микроорганизмов) на загрузочном материале образуется биопленка толщиной 1–3 мм и более, способная сорбировать на своей поверхности органические вещества. Загрузочный материал заселяется бактериями, грибами, простейшими и другими организмами. По мере увеличения толщины пленки ее нижние минерализованные слои отмирают и уносятся вместе с водой. Отличительной особенностью биофильтров является то, что фильтрующая загрузка (следовательно, и активная биомасса) закреплена на неподвижном материале.

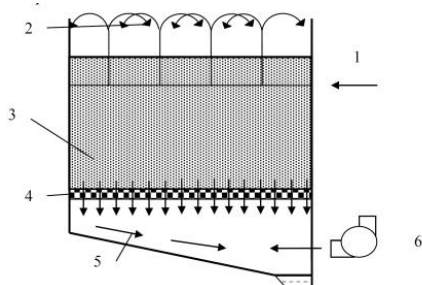


Рис. 2.1. Схема устройства биофильтра: 1 – подача сточных вод; 2 – водораспределительное устройство; 3 – слой фильтрующего материала; 4 – дренажное устройство; 5 – очищенная сточная вода; 6 – воздуханаспределительное устройство

Сверху биофильтры имеют оросители для распределения сточных вод по загрузке. В нижней части резервуаров имеются окна, обеспечивающие естественную или принудительную аэрацию поверхности биопленки, формирующейся на поверхности загрузки. Сточная вода проходит через толщу фильтрующего материала, дырчатое дно фильтра, а затем поступает через междудонное пространство на непроницаемое днище, откуда отводится по лоткам, расположенным за пределами биофильтра.

Эффект очистки сточных вод на биофильтрах по БПК_{полн} составляет свыше 90 %. Окислительная способность биофильтра высокая из-за хорошей аэрации фильтра через поры, образующиеся между кусками загрузки. Сточная жидкость просачивается через тело фильтра в течение 2–3 ч, и уже за это время в ней появляются нитриты. В почвенных условиях этот процесс занимает недели.

Аэротенк – это проточное сооружение со свободно плавающим активным илом. Аэротенки выполняют в виде длинных железобетонных прямоугольных резервуаров глубиной 3–6 м, шириной 6–10 м и длиной до 100 м. Аэротенки состоят из нескольких секций (коридоров), разделенных перегородками.

В аэротенках происходит образование активного ила – совокупности микроорганизмов и твердых частиц. Активный ил включает в себя бактерии, простейшие, грибы, водоросли, способные сорбировать на своей поверхности органические загрязнения и окислять их в присутствии кислорода. Принципиальная схема работы аэротенка показана на рис. 2.2.

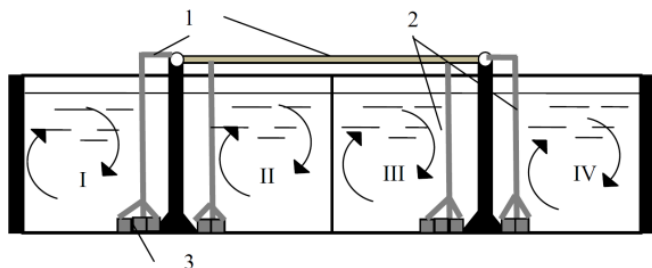


Рис. 2.2. Схема работы аэротенка: 1 – воздуховоды; 2 – стояки;
3 – фильтросный канал; I, II, III, IV – коридоры

Сточная жидкость после осветления в первичных отстойниках поступает в аэротенк и смешивается с циркулирующим активным илом. Смесь сточных вод и активного ила по всей длине аэротенка продувается воздухом, поступающим из компрессоров. Аэробные микроорганизмы сорбируют органические вещества из сточных вод и в присутствии кислорода окисляют их.

Из аэротенка смесь сточных вод с активным илом направляется во вторичный отстойник, где активный ил оседает. В результате роста микроорганизмов масса ила в аэротенке непрерывно возрастает. Поэтому насосная станция перекачивает избыточный активный ил из вторичного отстойника в илоуплотнители, а циркулирующий активный ил – обратно в аэротенк. Вторичные отстойники служат для отделения очищенной воды от активного ила. Их конструкция практически не отличается от конструкции первичных отстойников (они бывают горизонтальные, вертикальные и радиальные).

При биологической очистке сточных вод протекают два процесса: сорбция загрязнений активным илом и их внутриклеточное окисление микроорганизмами. Скорость сорбции значительно превышает скорость биоокисления, поэтому после окончания процесса сорбции и достижения требуемого эффекта очистки по БПК отделившийся в отстойнике ил направляют в регенератор (секцию аэротенка) с целью биоокисления остаточных загрязнений сточных вод.

Таким образом, для обеспечения устойчивой работы аэротенков устраивают регенераторы – сооружения, в которых восстанавливается сорбирующая способность активного ила. Ил в регенераторах постоянно аэрируется. Под регенераторы обычно выделяют часть коридоров аэротенка.

Для обеспечения микроорганизмов кислородом, а также для поддержания ила во взвешенном состоянии применяют непрерывную искусственную аэрацию смеси сточных вод и активного ила. Таким образом, активная биомасса находится в аэротенке во взвешенном состоянии.

Эколого-экономические основы рационального планирования охраны водных источников от загрязнения. Стратегическая цель охраны и рационального использования водных ресурсов состоит в обеспечении населения водой необходимого санитарного качества и в достаточных количествах при сохранении гидрологических, биологических и химических функций водных экосистем.

Оценка качества поверхностных источников по индексу загрязненности вод (ИЗВ) показывает, что большинство рек и водоемов Беларуси (60 %) классифицируется как умеренно загрязненные (III класс) и около 10 % отнесено к категории «загрязненные» (IV класс).

Загрязнение водных объектов вызвано прежде всего недостаточной эффективностью работы сооружений по очистке сточных вод в отдельных городах, технологическим несовершенством, а в ряде случаев неудовлетворительным уровнем эксплуатации. Влияние рассредоточенных источников (талые и дождевые воды с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий) и трансграничных переносов сопоставимо с нагрузкой от сброса сточных вод. Однако учет этих источников пока затруднен как по экономическим причинам, так и в связи с отсутствием приемлемых методов оценки.

Качество питьевой воды является серьезной проблемой, особенно для сельских районов, где население пользуется неглубокими колодцами. В Беларуси качество воды в 40–50 % колодцев не отвечает действующим стандартам. Из общего числа опробованных подземных источников более 30 % не соответствует СанПиН по химическим показателям и около 6 % – по микробиологическим. Значительное количество водозаборных скважин (14 %) не обеспечено водоохранными зонами строгого режима и около 80 % коммунальных водопроводов не имеют необходимого комплекса очистных (главным образом обезжелезивающих и озонирующих) сооружений.

Исходя из сложившейся ситуации, в соответствии с социально-экономическим развитием до 2030 г. необходимо решить следующие основные проблемы:

- ликвидировать загрязнение поверхностных объектов сточными, талыми и дождевыми водами с урбанизированных и сельскохозяй-

ственных территорий, а также вредными веществами, поступающими из сопредельных стран;

- увеличить мощности очистных сооружений и повысить эффективность очистки стоков;

- уменьшить риск для здоровья населения путем снабжения чистой питьевой водой.

На первом этапе для реализации этих направлений необходимо:

- осуществление комплексного подхода к экологически безопасному управлению водными ресурсами (включая планирование устойчивого, рационального водопользования, защиту и восстановление водных экосистем);

- строительство и реконструкция очистных сооружений с целью глубокой очистки сточных вод в соответствии с прогрессивными технологиями, внедрение мало- и бессточных технологий;

- осуществление межгосударственного сотрудничества по трансграничным водным объектам, включая разработку межгосударственных и национальных правовых документов по мониторингу загрязнения, реализация международных проектов, направленных на разработку Схем комплексного управления водными ресурсами бассейнов рек Днепр, Западный Буг, Неман;

- совершенствование стандартов в области качества поверхностных вод и приведение их в соответствие международным требованиям;

- развитие системы питьевого водоснабжения, строительство систем очистки и обезвреживания на питьевых водозаборах, обеспечение населения питьевой водой высокого качества (расширение централизованных систем городского и особенно сельского водоснабжения);

- организация территорий водосборов с целью предотвращения негативного воздействия сельскохозяйственной деятельности на качество воды поверхностных и подземных источников, водоохраных зон и прибрежных полос рек, озер и водохранилищ, а также зон санитарной охраны источников и систем питьевого водоснабжения.

На втором этапе необходимо:

- осуществление эффективного мониторинга и регулирования качества поверхностных и подземных вод с учетом сокращения объемов загрязнения от крупных точечных и неточечных (диффузионных) источников;

- развитие рынка работ и услуг в сфере рационального использования и охраны вод.

2.2. Проблемы использования водных ресурсов малых рек

Малые реки, их характеристика и роль в формировании речного стока. Антропогенное изменение их водного режима и состояния.

Ресурсы поверхностных вод включают речной сток и запасы воды в водоемах. В свою очередь речной сток подразделяется на местный (формирующийся в пределах республики) и общий (с учетом поступления транзитного стока из соседних стран).

Малые реки выполняют важную природообразующую и экологическую роль. В первую очередь необходимо отметить функцию накопления и перераспределения влаги, в результате осуществления которой малые реки выступают в роли важного связующего звена в природных комплексах. В условиях Республики Беларусь роль малых рек как геосистем, влияющих на природное разнообразие окружающих ландшафтов, особенно велика. Вариативность климатических условий данных природных объектов отражается на пространственной и структурно-функциональной организации водосборных территорий. Исключительная важность малых рек связана также с формированием природных комплексов с повышенным ландшафтным и биологическим разнообразием. В то же время существует целый ряд эколого-гидрологических особенностей малых рек, обуславливающих их высокую чувствительность к изменениям условий окружающей среды на водосборных территориях, что связывают прежде всего с невысокой долей подземного питания (преимущественно дренируют только верхний маломощный водоносный горизонт четвертичных отложений). Незначительная роль подземного питания усугубляет годовую и сезонную изменчивость водного режима рек, что негативно отражается на эколого-гидрологическом состоянии водотоков в целом. Кроме того, в пределах водосборных территорий малых рек происходит значительная антропогенная трансформация отдельных компонентов природной среды (почв, растительности), которая дестабилизирует функциональное состояние данных водотоков.

К сожалению, при современных темпах природопользования большинство водосборов малых рек, подвергается коренной трансформации. Очевидно, что интенсивная хозяйственная деятельность обуславливает в первую очередь трансформацию гидрологического режима малых рек, в связи с этим важно учитывать характер воздействия – прямой или косвенный.

Важнейшим показателем антропогенного изменения гидрологических параметров является непосредственное воздействие на сток водотока (его величину и распределение в году) путем его зарегулированности водохранилищами и прудами. При создании водохранилищ и русловых прудов меняется естественный режим водотока: в период избытка воды происходит ее накопление в водохранилище или пруде, в период недостатка – использование на различные нужды. При такой зарегулированности стока в черте населенных пунктов его общий объем сокращается за счет увеличения испарения с водной поверхности, часть воды из водохранилищ и прудов, как правило, дополнительно используется на водоснабжение, полив городских территорий, уменьшается подземное питание водотока.

Одним из важных гидроморфологических показателей малых водотоков является их способность длительное время сохранять форму русла и размеры поперечного сечения неизменными.

Главным показателем устойчивости русел малых водотоков по отношению к заилению является их относительная транспортирующая способность – отношение транспортирующей способности водотока к стоку наносов, поступающему в водоток с водосбора.

Гидрохимическое состояние малого водотока формируется в результате взаимодействия множества природных и антропогенных составляющих. К природным процессам можно отнести: гидрологические процессы, внутриводоемные естественные биохимические процессы, приточность с водосбора, естественный вынос веществ в водоток с территории водосбора с осадками и поверхностным смывом и др.

Для малых водотоков определяющим фактором при формировании гидрохимического режима водотока будет являться антропогенная составляющая. Наиболее точным методом оценки глубины антропогенного воздействия на малый водоток явилось бы сравнение существующего гидрохимического состояния с фоновым, т. е. с гидрохимическим состоянием водотока до периода его интенсивного использования. Такой вариант оценки возможен только при условии проведения многолетних наблюдений за гидрохимическим состоянием водотока на стационарной сети гидрохимического мониторинга. Однако для большинства малых водотоков такая возможность отсутствует. Из 34 малых водотоков, расположенных в пределах крупных населенных пунктов, створы гидрохимических наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды есть только на 6 водотоках, а створы сети гидробиологических наблюдений – на 5 водотоках.

В настоящее время для оценки качества воды водотоков по гидрохимическим показателям используются следующие критерии:

- предельно допустимые концентрации химических веществ в воде поверхностных водных объектов;
- показатели экологической безопасности в области охраны вод.

В системе гидробиологического мониторинга фактически для всех сообществ определяются такие показатели, как таксономический состав, включая виды-индикаторы, численность и биомасса сообществ, доминирующих групп и массовых видов гидробионтов. Оценка состояния водных экосистем производится с помощью методов биоиндикации, основанных на изучении структуры гидробиоценозов и их отдельных компонентов.

Для биоиндикации поверхностных вод с помощью планктонных сообществ и водорослей обрастания используется метод сапробиологического анализа Пантле и Букка в модификации Сладечека. Оценка качества среды посредством анализа донных сообществ производится с использованием общепринятых методов биотических индексов (по видовому разнообразию и показательным значениям таксонов) и Гуднайта – Уитлея (по относительной численности олигохет). Общая оценка класса качества поверхностных вод и донных отложений в каждом конкретном случае дается по совокупности гидробиологических показателей с учетом экологических особенностей водных гидробиоценозов.

Водоохранные полосы и зоны, их назначение. Водоохранными зонами являются территории, примыкающие к береговой линии (границам водного объекта) рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ, на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира. В границах водоохранных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, на территориях которых вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности

Для каналов водоохранные зоны совпадают по ширине с прибрежными полосами и совмещаются с границами отвода земельных участков, а при их отсутствии – по берме канала на расстоянии 10 м от его бровки.

Для ручьев, родников водоохранные зоны совпадают по ширине с прибрежными полосами и составляют 50 м.

Водоохранные зоны и прибрежные полосы для водоемов, расположенных на водотоках, совпадают с водоохранными зонами и прибрежными полосами для этих водотоков.

В населенных пунктах ширина водоохранных зон и прибрежных полос устанавливается исходя из утвержденной градостроительной документации с учетом существующей застройки, системы инженерного обеспечения и благоустройства. При наличии набережных и системы дождевой канализации ширина прибрежных полос совпадает с парапетами набережных. Ширина водоохранных зон на таких территориях устанавливается от парапетов набережных.

Минимальная ширина водоохранной зоны устанавливается для водоемов и малых рек – 500 м; больших и средних рек – 600 м.

Минимальная ширина прибрежной полосы устанавливается для водоемов, малых рек – 50 м; больших, средних рек – 100 м.

Водоохранные зоны и прибрежные полосы не устанавливаются:

- для рек и ручьев (их частей), заключенных в закрытый коллектор;
- каналов мелиоративных систем;
- временных водотоков, образованных стеканием талых или дождевых вод;
- технологических водных объектов;
- прудов-копаней.

В границах водоохранных зон не допускается, если иное не установлено Президентом Республики Беларусь:

- применение (внесение) с использованием авиации химических средств защиты растений и минеральных удобрений;
- возведение, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт объектов захоронения отходов, объектов обезвреживания отходов, объектов хранения отходов (за исключением санкционированных мест временного хранения отходов, исключающих возможность попадания отходов в поверхностные и подземные воды);
- возведение, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт объектов хранения и (или) объектов захоронения химических средств защиты растений;
- складирование снега с содержанием песчано-солевых смесей, противоледных реагентов;
- размещение полей орошения сточными водами, кладбищ, скотомогильников, полей фильтрации, иловых и шламовых площадок (за исключением площадок, входящих в состав очистных сооружений сточных вод с полной биологической очисткой и водозаборных сооруже-

ний, при условии проведения на таких площадках мероприятий по охране вод, предусмотренных проектной документацией);

- мойка транспортных и других технических средств;
- устройство летних лагерей для сельскохозяйственных животных;
- вырубка леса, удаление, пересадка объектов растительного мира без лесоустроительных проектов, проектной документации, утвержденных в установленном законодательством порядке, без лесорубочного билета, ордера, разрешения местного исполнительного и распорядительного органа, за исключением случаев, предусмотренных законодательством об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, об охране и использовании растительного мира, о транспорте, о Государственной границе Республики Беларусь.

Существующие на территории водоохранных зон населенные пункты, промышленные, сельскохозяйственные и иные объекты должны быть благоустроены, оснащены централизованной системой канализации или водонепроницаемыми выгребами, другими устройствами, обеспечивающими предотвращение загрязнения, засорения вод, с организованным подъездом для вывоза содержимого этих устройств, системами дождевой канализации.

Животноводческие фермы и комплексы, расположенные на территории водоохранных зон, должны быть оборудованы водонепроницаемыми навозохранилищами и жижеборниками, другими устройствами и сооружениями, обеспечивающими предотвращение загрязнения, засорения вод, с организованным подъездом для вывоза содержимого этих устройств и сооружений.

Проведение работ по благоустройству водоохранных зон, восстановлению элементов благоустройства и размещению малых архитектурных форм в водоохранных зонах осуществляется в соответствии с законодательством в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, об охране и использовании земель.

Законодательными актами могут быть установлены и другие запреты и ограничения хозяйственной и иной деятельности в водоохранных зонах.

В границах прибрежных полос не допускается:

- на расстоянии до 10 м по горизонтали от береговой линии: применение всех видов удобрений и химических средств защиты растений, за исключением их применения при проведении работ, связанных с регулированием распространения и численности дикорастущих рас-

тений отдельных видов в соответствии с законодательством об охране и использовании растительного мира, о защите растений;

- ограждение земельных участков на расстоянии менее 5 м по горизонтали от береговой линии, за исключением земельных участков, предоставленных для возведения и обслуживания водозаборных сооружений, объектов внутреннего водного транспорта, энергетики, рыболовных хозяйств, объектов лечебно-оздоровительного назначения, эксплуатация которых непосредственно связана с использованием поверхностных водных объектов;

- размещение лодочных причалов и баз (сооружений) для стоянки маломерных судов за пределами отведенных для этих целей мест, определяемых местными исполнительными и распорядительными органами;

- размещение сооружений для очистки сточных вод (за исключением сооружений для очистки поверхностных сточных вод) и обработки осадка сточных вод;

- предоставление земельных участков для строительства зданий и сооружений (в том числе для строительства и (или) обслуживания жилых домов) и ведения коллективного садоводства и дачного строительства;

- добыча общераспространенных полезных ископаемых;

- возведение, реконструкция, капитальный ремонт и эксплуатация объектов хранения нефти и нефтепродуктов (за исключением складов нефтепродуктов, принадлежащих организациям внутреннего водного транспорта), автозаправочных станций, станций технического обслуживания автотранспорта;

- возведение котельных на твердом и жидком топливе;

- возведение, реконструкция, капитальный ремонт и эксплуатация животноводческих ферм, комплексов, объектов, в том числе навозохранилищ и жиесборников, выпас сельскохозяйственных животных;

- возведение жилых домов, строений и сооружений, необходимых для обслуживания и эксплуатации жилых домов;

- стоянка механических транспортных средств до 30 м по горизонтали от береговой линии, если иное не установлено Президентом Республики Беларусь;

- удаление, пересадка объектов растительного мира, за исключением их удаления, пересадки при проведении работ по установке и поддержанию в исправном состоянии пограничных знаков, знаков береговой навигационной обстановки и обустройству водных путей, полос

отвода автомобильных и железных дорог, иных транспортных и коммуникационных линий;

- рубки главного пользования, рубки реконструкции, заготовка второстепенных лесных ресурсов и мха, сбор лесной подстилки и опавших листьев.

В границах прибрежных полос допускается:

- возведение домов и баз отдыха, пансионатов, санаториев, санаториев-профилакториев, домов охотника и рыболова, объектов агротуризма, оздоровительных и спортивно-оздоровительных лагерей, физкультурно-спортивных сооружений, туристических комплексов (специализированных объектов размещения туристов, состоящих из двух или более зданий, в которых обеспечивается предоставление комплекса услуг по проживанию, питанию и рекреации) при условии размещения сооружений для очистки сточных вод и обработки осадка сточных вод для этих объектов за пределами границ прибрежных полос;

- возведение зданий и сооружений спасательных станций республиканского государственно-общественного объединения «Белорусское республиканское общество спасания на водах», государственного учреждения «Государственная инспекция по маломерным судам», зданий и сооружений, необходимых для размещения водолазно-спасательной службы Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, пожарных депо, пирсов для забора воды пожарной аварийно-спасательной техникой;

- возведение зданий и сооружений для хранения маломерных судов и других плавательных средств, объектов, связанных с деятельностью внутреннего водного транспорта;

- возведение мостовых переходов и гидротехнических сооружений и устройств, в том числе водозаборных и водорегулирующих сооружений, а также гидроэнергетических сооружений, докеров и других объектов инженерной инфраструктуры;

- возведение сооружений и объектов, необходимых для осуществления охраны Государственной границы Республики Беларусь, в пределах пограничной зоны и пограничной полосы;

- возведение сооружений и объектов Государственной инспекции охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь, предназначенных для выполнения возложенных на нее задач и функций;

– размещение пунктов наблюдений государственной сети наблюдений за состоянием поверхностных и подземных вод, гидрометеорологических наблюдений.

В границах прибрежных полос допускается проведение:

- работ, связанных с укреплением берегов водных объектов;
- работ по возведению, содержанию, техническому обслуживанию инженерных сетей и сооружений, обеспечивающих функционирование существующей застройки;
- ремонтных и эксплуатационных работ по содержанию гидротехнических сооружений и устройств, а также гидроэнергетических сооружений, мостов и иных сооружений на внутренних водных путях;
- работ по благоустройству, воссозданию элементов благоустройства и размещению малых архитектурных форм;
- работ по ведению садоводства, огородничества и пчеловодства на земельных участках, находящихся во временном пользовании, пожизненном наследуемом владении, частной собственности или аренде граждан, на землях населенных пунктов, садоводческих товариществ и дачных кооперативов при условии проведения указанных работ на расстоянии не менее 10 м по горизонтали от береговой линии.

Регулирование хозяйственного использования малых рек. Рациональное использование водных ресурсов малых рек – одна из сложных и актуальных проблем водного хозяйства. Возрастающее безвозвратное изъятие стока, увеличение поступления в водотоки возвратных вод, выполнение различного рода хозяйственных работ на территориях речных бассейнов обуславливают снижение водности бассейнов, нарушение процессов самоочищения и руслообразования, загрязнение вод и русел малых рек.

Безвозвратное изъятие стока является результатом увеличения затрат воды на испарение в процессе интенсификации сельскохозяйственного производства (в частности, испарения с поверхности создаваемых прудов и водохранилищ для целей водоснабжения, рыбоводства, отдыха населения), прогрессирующего увеличения биомассы в растениеводстве, роста потребления воды в животноводстве. Наиболее значительные безвозвратные затраты воды связаны с орошением земель и поливом огородов и приусадебных участков. Увеличиваются безвозвратные затраты воды в промышленном производстве, в городских и сельских поселениях.

На участках рек, где сосредоточен крупный комплекс водопотребителей, единичные сбросы возвратных вод могут превышать расходы воды малых рек.

Такое положение объясняется тем, что водопотребители используют для водоснабжения не только воды рек, но и большие объемы подземных вод, поступающих после использования в речную сеть.

Мероприятия по решению проблем малых рек индивидуальны для каждой реки, принципиальная же направленность их определяется необходимостью решения следующих задач:

- поддержание определенного режима стока малых рек как действующих водотоков с учетом их рационального народнохозяйственного использования, охраны водной и природной среды в современных условиях и в долгосрочной перспективе;
- обеспечение санитарно-гигиенического и общего водоохранного обустройства территорий речных бассейнов и собственно малых рек;
- поддержание, а в ряде случаев и восстановление эстетических особенностей малых рек.

Основой решения водохозяйственных задач по малым рекам, как указывалось выше, должны являться схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. Такой путь ставит вполне обоснованный вопрос о реальности создания схем использования и охраны водных ресурсов по чрезвычайно большому количеству малых рек, которыми располагает Республика Беларусь. Общим для них будет:

- установление естественной природной водности малой реки (в годовом и внутригодовом разрезе, минимальный и максимальный сток);
- оценка малой реки с позиций возможного использования ее как источника обеспечения хозяйства водой;
- обоснование возможных масштабов использования реки в интересах утилизации гидравлической энергии (особенно рек горных районов), рыбоводства, создания зон отдыха населения;
- оценка гидрологических, топографических и других природных и экономических условий, благоприятных для осуществления водохозяйственных мероприятий (создание водохранилищ, каналов, подпорных сооружений и т. п.) по рациональному преобразованию естественного режима речного стока и гидрографической сети в хозяйственных и природоохранных интересах.

Разработка схемы по этим направлениям, а в конечном счете обоснование предложений по рациональному использованию и охране малой реки требует выполнения исследовательских и проектных работ по перечисленным ниже основным разделам:

- характеристика природных особенностей бассейна малой реки (климатических условий, гидрографии, растительного покрова и т. д.);

– анализ современного и намечаемого в будущем хозяйственного использования бассейна реки и самого речного водотока;

– изучение современного и прогноз перспективного недопотребления и водоотведения городских и сельских поселений, промышленно-сти, сельского хозяйства, рыбоводства и других отраслей хозяйственной деятельности. При этом важное значение имеет правильная оценка безвозвратного недопотребления отдельных отраслей хозяйства и всего хозяйственного комплекса в целом, а также оценка размеров снижения речного стока в результате агролесотехнических мероприятий на территории водосборных бассейнов малых рек;

– обоснование размеров и режима стока малой реки в расчетных створах, замыкающих характерные в природном и хозяйственном отношении участки бассейна.

Выполнение разработок по этому вопросу часто вызывает трудности в связи с отсутствием по многим малым рекам гидрометрических материалов. В таких случаях задача может удовлетворительно решаться путем выполнения рекогносцировочных гидрологических обследований параллельно по реке, наблюдения за стоком которой не проводились, и по соседним рекам, по которым имеются материалы гидрометрических работ.

Такие натурные гидрологические обследования позволяют правильно выбрать реки-аналоги (с наличием регулярной гидрометрии) для обоснования гидрологических характеристик по неизученным малым рекам.

Гидрологические обследования должны особенно тщательно освещать минимальный сток, что имеет большое значение при решении вопросов водоснабжения, а также максимальные расходы воды для правильного обоснования расчетной пропускной способности сооружений, создаваемых на малой реке.

Не менее сложна оценка ресурсов подземных вод на территории бассейнов малых рек, в той их части, которая может в течение сравнительно длительного периода (20–30 лет и более) использоваться без уменьшения размеров речного стока.

Разработка современных и перспективных водохозяйственных балансов с освещением характерных участков бассейнов малых рек. Исследование водохозяйственных балансов малых рек позволяет обосновать наиболее важные водохозяйственные мероприятия, которые могут обеспечить рациональное использование и охрану малых рек. К их числу относится создание на малой реке регулирующих сток во-

дохранилищ для повышения водности реки в меженные периоды, для удовлетворения запросов в воде водопотребителей, поддержания достаточной проточности водотока с целью стимулирования процессов самоочищения в реке (что необходимо даже при условии очистки сточных вод, сбрасываемых в речную сеть), для поддержания санитарных расходов воды. В случае когда речной водоток достаточно мощен, экономически целесообразно создание регулирующего стока гидроузла с гидроэлектростанцией. Исследование современных и перспективных водохозяйственных балансов малых рек позволяет установить возможные уровни развития водопотребления и водопользования на собственных ресурсах (речных и подземных), обосновать сроки и определить масштабы пополнения водных ресурсов малой реки за счет переброски части стока из крупных рек.

Восстановление малых рек. Под восстановлением водотока следует понимать как возврат и (или) поддержание его естественной функции и природного потенциала. Очевидно, что естественное состояние малого водотока несовместимо с зарегулированием природного режима его стока, изъятием речной воды и сбросом сточных вод в водоток, поэтому использование термина «восстановление водотока» не подразумевает его разрегулирование и возврат в естественное природное состояние. Под восстановлением водотока имеется в виду разработка и проведение комплекса взаимоувязанных мероприятий, реализация которых позволит максимально восстановить естественные параметры русла водотока или его участков, а также обеспечить близкие к естественному (природному фоновому) состоянию гидрохимический и гидробиологический режимы водотока.

При этом необходимо также решить ряд вопросов экологического характера для дальнейшего поддержания водотока в состоянии, близком к естественному: обеспечение систематического мониторинга за гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками водотока, ограничение водопользования на малом водотоке и контроль за его соблюдением, организация и комплексное благоустройство водоохраных зон и прилегающих территорий в бассейне малого водотока в пределах населенного пункта.

Реализация этих задач может быть предусмотрена специальным проектом комплексного восстановления природной экосистемы реки с учетом ее дальнейшего сохранения и использования. Этот проект должен быть составным элементом дальнейшей поэтапной многолетней программы восстановления всех малых рек в пределах населенных пунктов республики. Восстановление малых рек должно носить ком-

плексный характер и охватывать всю экосистему реки, прилегающей к ней территории водосборной площади, в первую очередь, водоохранную зону вдоль берегов.

Существующая методология восстановления (сохранения) малого водотока основывается на оценке его современного экологического состояния (по совокупности гидрологических параметров и уровню преобразования русловой сети, гидрохимическим и гидробиологическим параметрам), определении наиболее значимых видов и уровней их антропогенной нагрузки на водоток и определении уровня его рекреационной значимости.

Оценка экологического состояния малых водотоков Республики Беларусь в пределах крупных населенных пунктов проводится на основе Унифицированной программы восстановления малых водотоков в черте крупных населенных пунктов.

Программа восстановления малых водотоков может охватывать два блока:

1) комплексная оценка уровня антропогенной нагрузки на малый водоток, включая:

- оценку гидрологических параметров и уровня преобразования русловой сети водотока;

- оценку гидрохимических и гидробиологических параметров состояния водотока;

- оценку уровня антропогенной нагрузки на малые водотоки исходя из условий водопользования;

2) разработка водохозяйственных мероприятий, направленных на сохранение и восстановление малых водотоков.

Гидрографические и гидрологические параметры малого водотока являются определяющими для его дальнейшего экологического функционирования. Неконтролируемое с экологической точки зрения изъятие воды из водотока, задержание стока в водохранилищах и прудах без достаточных попусков в нижний бьеф приводят к нарушению естественного режима речного стока, что, в свою очередь, ведет к снижению скорости водотока и, как следствие, заилению и зарастанию русла. При минимальных расходах воды в водотоке, наблюдаемых в естественных условиях, сохраняется экологическое равновесие, вследствие чего уменьшение расходов в реках, меньше минимально наблюдаемых, недопустимо. Для сохранения условий существования водных организмов с одновременным сохранением необходимого качества воды в водотоке следует обеспечивать минимальный (экологический) сток, т. е. минимальный объем воды, который должен оставаться в

водотоке в маловодные периоды года, когда водоток питается в основном лишь подземными водами. В этом случае водоток с высокой долей вероятности остается элементом городского ландшафта.

При определении расчетных гидрологических характеристик водотока (в зависимости от наличия гидрометрической информации) используются следующие подходы в расчетах:

- при наличии данных наблюдений – непосредственно по этим данным;
- при недостаточности данных гидрометрических наблюдений – путем приведения данных к многолетнему периоду по данным рек-аналогов;
- при отсутствии данных гидрометрических наблюдений – по расчетным формулам с применением данных рек-аналогов.

В зависимости от наличия гидрометрической информации и в соответствии с действующими техническими нормативными актами проводятся расчеты следующих гидрологических показателей:

- 1) годовой расход воды водотока расчетной обеспеченности;
- 2) внутригодовое распределение стока водотока расчетной обеспеченности;
- 3) минимальные среднемесячные расходы воды водотока расчетной обеспеченности (за летне-осенний период и за зимний период).

Поскольку уменьшение расходов в водотоке, меньше минимальных расчетных расходов, недопустимо, необходимо оценить коэффициент минимального допустимого стока – соотношение минимального среднемесячного расхода воды к расходу воды при внутригодовом распределении стока за соответствующий период (за летне-осенний или зимний период).

Чем выше расход воды в водотоке по отношению к минимальному расчетному среднемесячному расходу, тем более устойчивым в экологическом плане будет водоток, следовательно, и протекание процессов самоочищения водотока будет более высоким.

Касательно разработки водохозяйственных мероприятий, направленных на сохранение и восстановление малых водотоков, следует учитывать тот факт, что основной причиной нарушения экологического состояния малых водотоков является антропогенное влияние на водосборную территорию. Водный сток, его годовое распределение и качественный состав водотока, конкретный состав комплекса мероприятий, направленных на сохранение и восстановление малого водотока, необходимо формировать индивидуально для каждого малого

водотока, исходя из конкретных преобладающих факторов воздействия на водоток.

Методика восстановления (сохранения) малых водотоков должна основываться на определении наиболее значимых видов и уровней их антропогенного воздействия на водоток и постепенном (плановом) их снижении.

На основании изучения и анализа проводимых ранее исследований РУП «ЦНИИКИВР» по разработке и реализации программ восстановления и охраны водотоков в рамках разработанной Унифицированной программы восстановления малых водотоков в черте крупных населенных пунктов предлагается два блока мероприятий:

- 1) блок природосберегающих мероприятий;
- 2) блок природовосстанавливающих мероприятий.

В каждом блоке мероприятий сформирован перечень типовых мероприятий, направленных на решение экологических проблем в бассейне малого водотока, объединенных в четыре группы.

Блок природосберегающих мероприятий включает следующие группы мероприятий:

- природоохранные мероприятия на водосборе и на водотоке;
- ограничительные мероприятия на водосборе и на водотоке.

Блок природовосстанавливающих мероприятий включает следующие группы мероприятий:

- 1) восстановительные мероприятия на водосборе и на водотоке;
- 2) защитные мероприятия на водосборе и на водотоке.

Каждая группа содержит состав типовых мероприятий (институциональных, инженерно-технических, социальных, экономических и др.), ориентированных на сохранение или поэтапное восстановление малого водотока.

Разработка конкретного состава мероприятий по сохранению и восстановлению малых водотоков базируется на балльной системе оценки конкретного водотока:

- определение уровня преобразования русловой сети водотока;
- оценка гидрохимического и гидробиологического статуса водотока;
- определение интенсивности использования водотока.

Однако конкретный состав мероприятий и последовательность их выполнения необходимо намечать в зависимости от результатов комплексной оценки уровня антропогенной нагрузки на конкретный малый водоток.

2.3. Учет использования водных ресурсов

Государственный учет природных вод и его значение. Первичный учет использования вод. Основная задача государственного учета вод состоит в определении количества и качества водных ресурсов, составляющих единый государственный фонд, и данных об использовании вод для нужд промышленности. Такой контроль предполагает соблюдение всеми заинтересованными отраслями промышленности, отдельными предприятиями и учреждениями, а также гражданами установленного порядка использования и учета вод, борьбу или ликвидацию последствий от их вредного воздействия.

Основные принципы функционирования системы государственного учета использования водных ресурсов сводятся к следующему.

Отдельные водопользователи осуществляют первичный учет водопотребления и водоотведения. Его суть заключается в измерении объема забираемых вод из поверхностных и подземных источников и сбрасываемых сточных вод в окружающую среду на каждом водозаборе, в точках передачи (приема) воды другим водопользователям и на каждом очистном сооружении в месте, определенном проектной документацией, нормами проектирования и обеспечивающем полный учет объемов сбрасываемых сточных вод в окружающую среду, а также в местах подачи воды на подпитку систем оборотного водоснабжения и повторного (последовательного) использования вод.

Результаты учета представляют в виде отчетов по установленной форме местным органам по регулированию использования и охране вод, которые имеют возможность проводить контроль за правильностью ведения отчетности.

После необходимых обобщений по речным бассейнам, министерствам (ведомствам), отраслям промышленности данные представляют в Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, где составляется полноценный отчет в целом по республике.

Государственный водный кадастр (ГВК) представляет собой систематизированный, постоянно пополняемый и при необходимости уточняемый свод сведений о водных объектах, составляющих единый государственный водный фонд, водных ресурсах, режиме, качестве и использовании вод, а также о водопользователях.

Государственный водный кадастр включает данные учета вод по количественным и качественным показателям, регистрации водополь-

зований, а также данные учета использования вод. Основной задачей ГВК является обеспечение промышленности необходимыми данными о водных объектах, водных ресурсах, режиме, качестве и использовании вод, а также о водопользователях.

Ведение ГВК возложено на Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Министерство здравоохранения Республики Беларусь.

В соответствии с видами водных объектов и распределением обязанностей по изучению и использованию вод ГВК включает следующие разделы:

1. Общая характеристика водных ресурсов, их использования и качества вод.
2. Поверхностные воды.
3. Подземные воды.
4. Использование водных ресурсов.
5. Сведения о гидротехнических сооружениях.
6. Сводные данные по количеству водных объектов, предоставленных в обособленное водопользование, аренду для рыбоводства, и о поверхностных водных объектах, используемых для рекреации, спорта и туризма.

Данные ГВК издаются в целом по территории Республики Беларусь.

Информационный банк данных государственного учета вод и их использования положен в основу ведения ГВК, который включает сведения о водных ресурсах и данных учета их использования. Его систематически пополняют и уточняют сведениями о водных объектах, составляющих единый государственный фонд, о качестве использования вод, о водопользователях. Источником сведений служат общегосударственные данные мониторинга водных объектов о реках, озерах, прудах и водохранилищах, гидротехнических сооружениях и др.

Для ведения государственного водного кадастра создана специальная автоматизированная информационная система, состоящая из трех основных подсистем – поверхностные воды, подземные воды, использование вод и трех функциональных подсистем – подготовка информации, обработка информации и доведение информации до потребителя.

Учет подземных вод. Учет использования водных ресурсов. Учет добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, ведется юридическими

лицами и индивидуальными предпринимателями с применением средств измерений расхода (объема) вод.

Измерение объемов сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, производится на каждом очистном сооружении в месте, определенном проектной документацией. В случае невозможности установки (эксплуатации) средств измерений расхода (объема) вод на очистных сооружениях допускается их установка на трубопроводах, транспортирующих сточные воды на очистку, при условии учета общего объема поступающих на очистку сточных вод.

Не требуется устанавливать средства измерений расхода (объема) вод и допускается ведение учета добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, не инструментальными (расчетными) методами в случае:

- сброса поверхностных сточных вод;
 - сброса сточных вод в окружающую среду в объеме 5 м³ в сутки и менее. При этом объем сброса сточных вод принимается равным объему добытой (изъятой) воды согласно показаниям средств измерений расхода (объема) вод, установленных на водозаборных сооружениях, с коэффициентом 0,7;
 - добычи (изъятия) воды из водных объектов и сброса в них сточных вод при ведении рыбоводства;
 - добычи (изъятия) вод, попутно образующихся при добыче полезных ископаемых;
 - когда учет добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, невозможен с применением средств измерений расхода (объема) вод, внесенных в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь.
- Учет добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, не инструментальными (расчетными) методами ведется исходя из величины:
- расхода электроэнергии на перекачку воды, времени работы и производительности насосов. Производительность насосов определяется по данным технической документации их производителей;
 - технологических нормативов водопользования;
 - орошаемой площади и нормы орошения, установленных в соответствии с обязательными для соблюдения техническими нормативными правовыми актами или проектной документацией на оросительные системы.

Учет сброса поверхностных сточных вод в окружающую среду не инструментальными (расчетными) методами ведется в соответствии с техническим нормативным правовым актом, утвержденным Министерством архитектуры и строительства.

2.4. Водохозяйственный комплекс

Водохозяйственный комплекс, его состав и принципы формирования. Организацию управления водохозяйственной системой должен осуществлять водохозяйственный комплекс, так как использование водных ресурсов в больших масштабах сопряжено с изменением установившихся связей в природе и системе различных сфер промышленности. Минимизация отрицательных последствий возможна в том случае, если рассматривать всю водохозяйственную систему как единый комплекс и проектировать ее на основе долгосрочных прогнозов требований различных отраслей к количеству и качеству воды, реальных природных условий и при этом учитывать возможность их изменения.

В то же время водохозяйственный комплекс можно рассматривать как совокупность мероприятий и сооружений по рациональному использованию водных и связанных с ними природных ресурсов, позволяющих оптимально удовлетворять всех водопользователей имеющимся ресурсом воды.

Водохозяйственный комплекс – это совокупность различных отраслей промышленности, совместно использующих водные ресурсы одного водного бассейна. Формирование комплекса, т. е. обоснованный выбор состава и числа участников, – это одна из сложнейших предпроектных задач.

При обосновании ВХК необходимо учитывать три связанные между собой части: природную, экономическую и техническую (рис. 2.3).

Природная часть обуславливает возможности функционирования и развития ВХК, определяет положительные и отрицательные стороны его влияния на окружающую среду; экономическая часть учитывает интересы всех затрагиваемых отраслей и отдельных водопользователей. Ее задачи заключаются в максимизации экономического эффекта и минимизации ущерба при недополучении воды. Эта часть обоснования ВХК позволяет объективно распределить суммарные капиталовложения и издержки. Техническая часть ВХК определяет системы взаимосвязанных технических решений, сооружений и мероприятий, обеспечивающих действие ВХК в конкретных местных условиях.

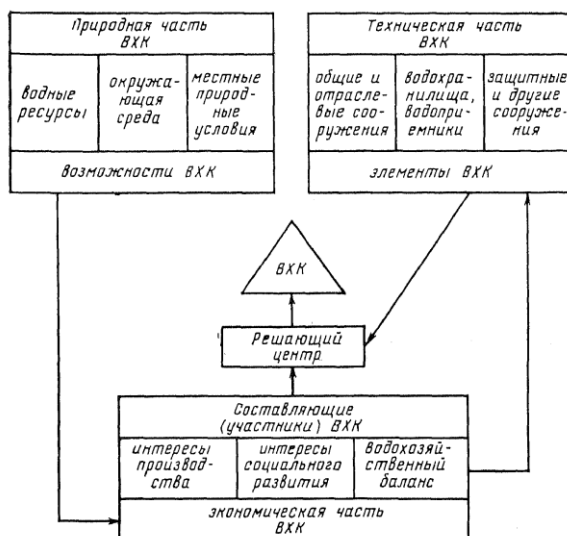


Рис. 2.3. Система формирования ВХК

Водохозяйственный комплекс должен:

- обеспечить наибольшую экономическую эффективность для промышленности в целом, а не для какой-либо отдельной отрасли;
- не допускать вредного воздействия на окружающую среду. Сооружения участников ВХК должны способствовать охране вод от загрязнения и истощения;
- обеспечить достаточно простую и надежную эксплуатацию.

К участникам или компонентам ВХК, по Н. В. Зарубаеву, относят водоснабжение, водоотведение, гидротехнические мелиорации, гидроэнергетику, водный транспорт, лесосплав, рыбное хозяйство, здравоохранение, водный туризм. К мелиорациям здесь относят, кроме орошительных и осушительных, защиту от наводнений, борьбу с водной эрозией, селявыми потоками, оползнями и разрушением берегов, а также с заболачиванием и засолением почв. Участников ВХК можно условно разделить на водопотребителей и водопользователей.

Классификация водохозяйственных комплексов. Классификацию ВХК можно провести по масштабам их распространения, типам сооружений, числу участников.

Так, по масштабам распространения можно выделить глобальные, или межгосударственные, государственные, зональные, бассейновые и ВХК части бассейнов.

К глобальным, или межгосударственным, можно отнести проекты использования водных ресурсов пограничных рек (Прут, Припять и др.) или рек, проходящих транзитом через ряд стран (Дунай). В дальнейшем можно рассматривать проекты межгосударственного использования климатических ресурсов и, в частности, запасы паров в атмосфере при искусственной стимуляции осадков, проекты использования водных ресурсов айсбергов и ледников и ряд других.

К государственным можно отнести ВХК, возникающие при реализации таких проектов, как создание единой водохозяйственной системы страны (ЕВХС). В США, Англии, Франции такие системы или части их существуют.

Общим признаком государственного ВХК может служить рассмотрение водохозяйственной проблемы в масштабах всей страны на основе долгосрочных прогнозов экономического развития государства с учетом общих политических и социальных аспектов.

Зональные ВХК предусматривают решение водохозяйственных проблем в том или ином экономическом районе (регионе) страны. Основной целью такого комплекса является совершенствование водного хозяйства и наиболее полное и эффективное использование его возможностей для развития данного экономического района.

Бассейновые ВХК наиболее полно разработаны в мелиорации и в энергетике. Практически по всем бассейнам крупных рек составлены Схемы комплексного использования и охраны водных и земельных ресурсов с перспективой на 15–20 лет.

В бассейновых схемах ВХК более полно учитывают природные и социально-экономические особенности рассматриваемых районов, более точно осуществляют долгосрочный прогноз развития народного хозяйства и более обоснованно назначают мероприятия, обеспечивающие максимальную народнохозяйственную эффективность.

Водохозяйственные комплексы части бассейнов формируются после рассмотрения состава ВХК более высоких порядков. Рассмотрение и формирование ВХК части бассейнов проводят на основе проектных решений в виде уточнения схем использования участков реки. Здесь более детально изучают притоки основной реки на данном участке, рассматривают возможности их комплексного использования, учиты-

вают возможности совершенствования природной среды, устранения эрозийных процессов и другие вопросы водно-земельного благоустройства и водопользования.

В техническом плане ВХК можно классифицировать по типам сооружений и числу участников (рис. 2.4). Одноузловые отраслевые ВХК (рис. 2.4, а) имеют либо энергетическое, либо ирригационное назначение.

Однако в настоящее время некомплексные гидроузлы практически не создают, и чаще встречаются одноузловые многоотраслевые ВХК (рис. 2.4, б).

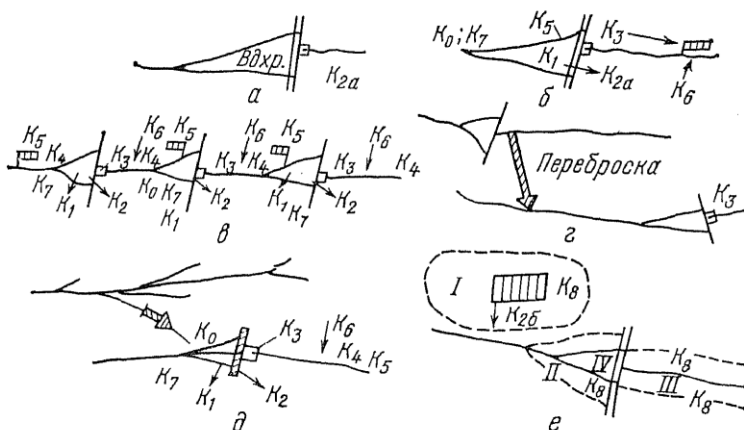


Рис. 2.4. Типы ВХК: а – одноузловый и отраслевой; б – одноузловый межотраслевой; в – каскадный межотраслевой; г – межбассейновый отраслевой с локальной переброской стока; д – межбассейновый многоотраслевой; е – природоохранный;

K_0 – здравоохранение; K_1 – водоснабжение; K_2 – гидромелиорация; K_{2a} – орошение;

$K_{2б}$ – осушение; K_3 – энергетика; K_4 – транспорт; K_5 – рыбное хозяйство;

K_6 – водоотведение; K_7 – рекреация; K_8 – охрана природы; I – влияние осушения

(понижение УГВ, пересушка, снижение продуктивности лесов); II – влияние

водохранилища (подтопления, мелководья, переработка берегов); III – влияние зарегулированного расхода в русле реки (отсутствие паводков, пересыхание поймы, засоление земель); IV – влияние водоотведения на качество воды

По мере развития промышленности в данном бассейне одноузловые ВХК трансформируются в многоузловые или каскадные межотраслевые ВХК (рис. 2.4, в). Это наиболее распространенный тип ВХК в

нашей стране и за рубежом. Формирование такого ВХК завершается с окончанием строительства всего каскада, поэтому получение полного экономического эффекта может затянуться на несколько лет. Однако такие комплексы стимулируют интенсивное развитие промышленности в данном районе, способствуют рациональному использованию водных ресурсов.

В том случае, если водных ресурсов одного бассейна не хватает для формирования ВХК, то возможно создание межбассейнового отраслевого (рис. 2.4, з), а затем и межбассейнового многоотраслевого ВХК (рис. 2.4, д). Крупномасштабность таких мероприятий затрагивает обычно ряд отраслей, сказывается на изменении природной среды, экономических и социальных аспектах.

В связи с тем что ВХК тем или иным способом влияет на окружающую среду, особенно при водоотведении, появляется необходимость выделения еще одного типа ВХК – водоохранного, который должен функционировать в системе природоохранного комплекса. Водоохраным комплексом называют систему сооружений и устройств для поддержания требуемого количества и качества воды в заданных створах или пунктах водных объектов. Водоохранные комплексы включают объекты осушения, водохранилища, поймы, загрязненные участки водных объектов и сооружения, предотвращающие отрицательные влияния ВХК.

Автоматизированные системы управления ВХК бассейна реки.

Основами Водного кодекса Республики Беларусь установлен бассейновый принцип управления промышленностью. Основным структурным элементом управления является ВХК речного бассейна, обеспечивающий совместное использование водных ресурсов различными отраслями промышленности. Управление всем комплексом сооружений ВХК бассейна осложняется из-за их рассредоточенности, стохастичности внешних воздействий, влияния неформальных и сложных взаимосвязей, отражающих взаимодействие с природной средой.

В связи с этим возникает необходимость автоматизированного управления водохозяйственным комплексом бассейна, который для целей управления можно представить как совокупность размещенных на территории бассейна объектов формирования, транспортировки и регулирования стока, объектов водопотребления и использования стока, объектов водоотведения и системы управления (рис. 2.5).

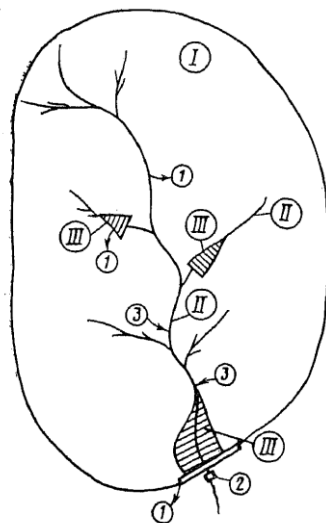


Рис. 2.5. Схема ВХК бассейна автоматизированных средств как объекта управления: I – система формирования стока (водосборная площадь); II – система транспортировки стока (русло водотоков, каналы); III – система регулирования стока (водохранилища); 1 – объекты водопотребления; 2 – объекты водопользования; 3 – объекты водоотведения

Управление ВХК бассейна заключается в обеспечении оптимального распределения водных ресурсов в соответствии с требованиями участников, с учетом охраны окружающей среды и водных объектов для получения максимального экономического эффекта. Автоматизированная система управления ВХК (АСУБ) представляет собой систему с применением автоматизированных средств формирования и обработки информации и экономико-математических методов для регулярного решения основных задач оптимального распределения водных ресурсов. Автоматизированная система управления относится к классу иерархических систем (рис. 2.6):

– первый уровень: управление функционированием основных водохозяйственных объектов, определяющих водный режим комплекса (крупные водохранилища, водозаборные и водоотводящие сооружения крупных промышленных центров, головные сооружения оросительных систем, судоходные участки рек, русловые нерестово-выростные рыбные хозяйства);

– второй уровень: управление режимом работы сооружений ниже головных водозаборных узлов, магистральных каналов, систем водоснабжения и водоотведения промышленных центров;

– третий уровень: управление режимами работы межхозяйственной и внутрихозяйственной сети, насосными станциями и др.

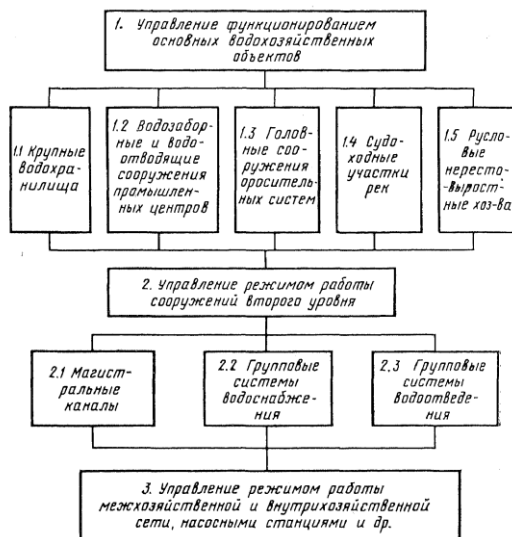


Рис. 2.6. Иерархическая схема АСУБ

Основные задачи АСУБ:

- получение информации о количестве водных ресурсов, характеристиках гидрологического и гидрогеологического режимов;
- получение информации о качестве воды и о требованиях, предъявляемых к водным ресурсам, и их анализ;
- получение сведений о фактическом использовании водных ресурсов;
- планирование работы ВХК;
- управление работой ВХК;
- контроль, учет и анализ;
- предупреждение и устранение аварийных ситуаций;
- управление техническим обслуживанием и административно-хозяйственной деятельностью.

Планирование режимов ВХК подразделяют на перспективное, долгосрочное и оперативное.

Перспективное планирование распространяется на период от 5 до 20 лет и посвящено планированию развития ВХК бассейна. Основной целью перспективного планирования является определение объемов и очередностей: увеличения регулирующих объемов водохранилищ, реконструкции оросительных систем, освоения новых сельскохозяйственных площадей, наращивания энергетических мощностей, развития рекреации и т. п.

Долгосрочное планирование осуществляется для заданного (полученного при перспективном планировании) состава основных объектов ВХК. Период долгосрочного планирования $T_{пл}$ выбирают таким, чтобы он был намного больше периода трансформации волн попусков $T_{пуск}$. В этом случае переходными процессами, происходящими при попусках или паводках, можно пренебречь.

Основной целью долгосрочного планирования является выбор оптимального плана функционирования ВХК с учетом вероятностного характера притока и потребления.

Основные функции долгосрочного планирования:

- анализ возможных изменений требований участников ВХК к количеству и качеству воды и вариантов сочетания притока и требований участников ВХК на период планирования;
- определение рациональных режимов работы ВХК для каждого из вариантов сочетания притока и требований;
- выбор оптимального плана работы ВХК на период планирования на основании рассчитанных вариантов.

Оперативное планирование, как и долгосрочное, предусматривают для заданного состава элементов ВХК. Период оперативного планирования соизмерим с периодом формирования волн попусков (паводков) и поэтому в этом случае необходимо учитывать процессы, связанные с трансформацией этих волн.

Основной целью оперативного планирования является составление оперативных планов работы.

Основные функции оперативного планирования:

- получение и анализ информации о фактических притоках, потреблении, характеристиках гидрологического и гидрогеологического режимов;
- получение и анализ текущих гидрологических и гидрогеологических прогнозов;

– определение характеристик гидрологического и гидрогеологического режимов в заданных створах с учетом скорректированных планов работы ВХК;

– корректировка планов работы ВХК, выбранных при длительном планировании, с учетом фактической водохозяйственной обстановки в бассейне, прогнозируемой водности и ожидаемого водопотребления;

– разработка оперативного плана эксплуатации ВХК на основе анализа различных сочетаний ожидаемой водности и потребления.

Оперативное управление работой ВХК заключается в поддержании заданных значений расходов, уровней и концентраций загрязняющих веществ в контрольных створах, головных водозаборных и водоотводящих сооружениях в соответствии с оперативным планом эксплуатации.

Виды и методы компенсации ущерба при создании ВХК. Создание ВХК невозможно без изменения природных условий и сложившейся хозяйственной практики. Значительная часть изменений природных условий является ожидаемым положительным следствием водохозяйственного строительства, а часть изменений носит негативный характер, как, например, затопление и подтопление территорий, изменение микроклимата и гидрологического режима нижнего бьефа водохранилищ.

Экономическая оценка отрицательного воздействия, проектируемого ВХК на окружающую природную и хозяйственную среду состоит в определении:

– затрат, компенсирующих возникающий ущерб при невозможности его предупреждения;

– затрат на мероприятия, предупреждающие или ограничивающие отрицательное воздействие.

Первая группа состоит из затрат на переселение населения, перемещение предприятий, линий связи, транспортных объектов и т. п. с затопляемых земель, освоение новых сельскохозяйственных угодий и увеличение продуктивности используемых земель, обеспечивающих получение сельскохозяйственной продукции, взамен теряемой на затопляемых землях, восстановление леса на новых землях, сооружение специальных прудовых хозяйств, рыбоводных заводов для компенсации ущерба рыбному хозяйству и т. д.

Вторая группа включает в себя затраты на инженерную защиту земель и объектов, попадающих в зону воздействия водохранилищ, на

санитарную подготовку ложа водохранилищ, устройство рыбопропускных сооружений и другие мероприятия.

Затраты на создание водохранилищ составляют существенную часть общих затрат на строительство ВХК, особенно для водохранилищ многолетнего регулирования на равнинных реках в обжитых районах. Структура затрат на строительство водохранилищ зависит от природных и экономических условий, в первую очередь от степени и специализации сельскохозяйственного освоения района, плотности населения, организации транспортного обслуживания. Очевидно, что большое значение имеют параметры водохранилища и характер его будущего использования.

В плотнонаселенных сельскохозяйственных районах наибольший удельный вес (до 70–80 % в отдельных случаях) в общих затратах по водохранилищу имеют затраты на переселение населения и компенсацию ущерба сельскому хозяйству. Число переселенных жителей зависит от параметров водохранилища, высоты плотины и района строительства.

Организация переселения людей – наиболее сложная часть проекта ВХК, так как при этом необходимо решать комплекс социальных, национальных и других вопросов, например, вопросы трудоустройства населения, организации отдыха, связи, транспорта и т. п.

При решении вопроса о виде компенсации жителям, переселяемым из зоны затопления, исходят из ряда соображений.

Для того чтобы не происходило массового уничтожения жилого фонда, предусмотрено, что жилые дома и другие здания при технической возможности подлежат переносу и восстановлению на новом месте. Затраты на эти мероприятия (разборка, перевозка, сборка на новом месте и т. п.) вносят в смету строительства. Строения, перенос которых нецелесообразен или невозможен по техническому состоянию, подлежат сносу. В этом случае в смету вносят затраты на компенсацию сносимых строений (с учетом их износа). При сносе школ, лечебных, детских, культурных учреждений предусматривают затраты на строительство по типовым проектам зданий той же вместимости. Населению должна быть предоставлена возможность получения квартир в благоустроенном доме по действующим санитарным нормам.

Ущерб от затопления сельскохозяйственных земель компенсируется путем внесения в смету ВХК затрат на освоение новых земель или интенсификацию старопахотных земель с целью полного восстановления потерянной при затоплении сельскохозяйственной продукции.

Разработаны нормативы стоимости освоения новых земель взамен изымаемых для несельскохозяйственных нужд. Кроме ущербов от затопления сельскохозяйственных земель, необходимо учитывать ущерб в сельском хозяйстве от изменения гидрологических условий в нижнем бьефе при создании водохранилищ. Изменение гидрологического режима водотока сопровождается осухождением пашни, намерзанием льда на поймах при суточном регулировании стока, вымерзанием трав и т. д. Некоторых видов этого ущерба можно избежать, если предусмотреть сельскохозяйственные попуски из водохранилища, осуществляемые по особому графику, разработанному с учетом интересов и других потребителей.

Иногда изменение гидрологического режима в нижнем бьефе в результате строительства гидроузла дает положительный эффект, так как снижает ущерб от затопления сельскохозяйственных земель паводками и дает возможность интенсификации производства на пойменных землях.

В промышленно развитых районах затраты на компенсацию ущербов состоят из затрат на переустройство или защиту жилищно-коммунальных объектов, промышленных предприятий, транспортных сооружений. При переустройстве промышленных объектов возможен их снос или перенос из зоны затопления. При сносе в смету ВХК включают затраты по восстановительной стоимости сносимых промышленных объектов за вычетом накопленных амортизационных отчислений и стоимости материалов и оборудования, используемых после сноса промышленных объектов.

При переносе промышленных объектов из зоны затопления и подтопления компенсируют затраты на транспортировку демонтируемых материалов и оборудования, монтаж последних на новом месте, а также ущерб от перерывов в работе производства. При этом модернизацию, реконструкцию и расширение переносимых и восстанавливаемых объектов выполняют за счет средств соответствующих отраслей народного хозяйства без отнесения этих затрат на смету ВХК.

Наряду с разработкой мероприятий по переносу объектов из зоны затопления рассматривают варианты их инженерной защиты.

Способ компенсации ущербов (снос, перенос, инженерная защита) выбирают путем сравнения приведенных расчетных затрат.

Так же решается вопрос об объектах и памятниках материальной культуры (археологических, исторических памятниках, уникальных геологических обнажениях, реликтовых насаждениях, заповедниках).

Рассматривают варианты с их инженерной защитой, переносом, воссозданием в реконструированном виде.

Очень сложной является проблема компенсации ущерба рыбному хозяйству. Сложность заключается в трудности определения величины ущерба и эффективности компенсационных мероприятий. Для предупреждения и компенсации потерь рыбной продукции в смету ВХК можно включать такие мероприятия, как строительство рыбопропускных и рыбозащитных устройств, рыбоводных заводов, нерестово-выростных хозяйств и т. д. При выборе оптимального варианта учитывают не только расчетные затраты, но и другие факторы биологического и инженерного характера.

В некоторых случаях ущерба рыбному хозяйству можно избежать, если предусмотреть специальные рыбохозяйственные попуски для обводнения нерестилищ, которые компенсируют изменение гидрологического режима в нижнем бьефе гидроузлов. Объем и сроки этих попусков определяют на основании оптимизационных расчетов.

Большую группу затрат составляют затраты на подготовку ложа водохранилища.

При подготовке ложа водохранилища необходимо провести работы по удалению лесной растительности. Работы по удалению лесной растительности в ложе водохранилищ подразделяют на две категории – лесосводку и лесоочистку. К лесосводке относят работы по вырубке товарной древесины, к лесоочистке – лесной растительности нетоварного значения, а также работы по срезке и корчевке пней. При подготовке ложа водохранилища компенсации подлежат дополнительные затраты, связанные со специфическими условиями лесосводки, отличающимися от нормальных лесозаготовок из-за срочности выполнения работ в увязке с отдельными этапами наполнения водохранилища, трудностями сплава в период перекрытия русла, перебазирования леспромхозов, рейдов, лесоперевалочных бирж, лесных поселков и других объектов лесной промышленности. Затраты по лесоочистке полностью включают в смету ВХК. Считают целесообразной сплошную лесоочистку ложа водохранилищ, предназначенных для водоснабжения, рыбного хозяйства, рекреации.

В состав затрат по подготовке ложа водохранилища входят также затраты на мероприятия, направленные на ликвидацию возможных источников загрязнения воды. Они состоят из затрат:

- на общую санитарную очистку территорий населенных пунктов, предприятий и животноводческих ферм, расположенных в зоне затопления;

- специальную санитарную очистку мест специфического загрязнения и зон водозаборов коммунально-бытового водоснабжения;
- перенос, обезвреживание или инженерную защиту кладбищ и скотомогильников;
- мероприятия по борьбе со всплыванием торфяников, по охране грунтовых вод и т. д.

Ущерб в водном транспорте при возведении гидроузла могут возникнуть в связи с увеличением издержек при ухудшении судоходных условий или невозможности использования водного пути. Эти затраты должны быть отнесены на смету ВХК. Компенсации подлежат также затраты на перенос объектов водного транспорта. Если гидроузел сооружают на несудоходной реке, но в перспективе предполагается сделать ее судоходной, а гидроузел препятствует этому, то в смету гидроузла включают затраты на компенсацию предполагаемых ущербов.

2.5. Техничко-экономическое обоснование водохозяйственных комплексов

Задачи технико-экономических расчетов. При проектировании водохозяйственных систем технико-экономические расчеты проводят с целью:

- определения структуры ВХК;
- выбора параметров объектов ВХК;
- определения экономической эффективности принятого варианта ВХК;
- распределения затрат между отраслями-участниками водохозяйственного комплекса;
- обоснования эффективности водоохранных мероприятий.

В большинстве случаев имеется несколько технически приемлемых вариантов решения поставленных задач, например получения какой-либо продукции, транспортного или социального эффекта. При этом большое значение имеет то, какой ценой достигнуто это решение.

При проектировании водохозяйственных систем задача повышения экономической эффективности имеет особо важное значение, так как ВХК представляет собой систему капиталоемких мероприятий, осуществляемых достаточно продолжительное время в интересах многих отраслей промышленности.

Обоснование структуры водохозяйственного комплекса. Основным принципом определения оптимальной структуры (состава участ-

ников) ВХК является выбор варианта, дающего наименьшие затраты для промышленности. При заданных объемах производства всех предполагаемых участников ВХК для определения оптимальной структуры необходимо последовательно сопоставить между собой варианты ВХК при наличии и при отсутствии каждого компонента. При невключении какой-либо отрасли в состав участников ВХК соответствующая продукция в том же постоянном объеме и качестве должна быть получена альтернативным путем.

Методической основой для выбора оптимального варианта из возможных альтернативных служит метод сравнительной экономической эффективности.

Допустим, имеются два варианта получения аналогичной продукции, например, электрической энергии. В этом случае рассматривают вариант структуры ВХК, включающий в свой состав гидроэлектростанцию, и вариант без нее. Во втором случае предусматривают получение электрической энергии такой же выработки и мощности на тепловой электростанции, на строительство и эксплуатацию которой затрачивают соответствующие капитальные вложения и ежегодные издержки. Варианты отличаются размерами капитальных вложений K и ежегодных издержек C .

Рассмотрим наиболее часто встречающийся случай, когда $K_1 > K_2$ и $C_1 < C_2$.

В случае использования в промышленности первого варианта будут наблюдать дополнительные капитальные вложения $\Delta K = K_1 - K_2$, вместе с экономией ежегодных затрат или издержек $\Delta C = C_2 - C_1$.

Для определения оптимального варианта структуры вычисляют коэффициент сравнительной экономической эффективности ε , который показывает экономию ежегодных издержек при использовании 1 руб. дополнительных капитальных вложений

$$\varepsilon = \frac{\Delta C}{\Delta K}. \quad (2.1)$$

Величину, обратную коэффициенту сравнительной экономической эффективности, называют сроком окупаемости дополнительных капитальных вложений T

$$T = \frac{\Delta K}{\Delta C}. \quad (2.2)$$

Вариант, характеризующийся большими капитальными вложениями (но меньшими ежегодными издержками), будет экономически более эффективным тогда, когда коэффициент сравнительной экономической эффективности больше нормативного ε_n (или срок окупаемости дополнительных капитальных вложений меньше нормативного), что можно представить в виде следующей зависимости:

$$\varepsilon_n K_1 + C_1 < \varepsilon_n K_2 + C_2. \quad (2.3)$$

Двучлен $(\varepsilon_n K + C)$ называют расчетными затратами Z_p рассматриваемого варианта, приведенными к размерности текущих ежегодных затрат.

Если в двучлене $(\varepsilon_n K + C)$ использовать показатель нормативного срока окупаемости дополнительных капитальных вложений T , то можно получить суммарные затраты Z_c .

Сравниваемые варианты обычно отличаются не только затратами, но и сроками строительства и освоения проектных мощностей. Следовательно, в разных вариантах неодинаково проявляется отрицательный эффект замораживания затрат, т. е. временного изъятия их из оборота. Поэтому при экономических расчетах учитывают фактор времени. Если строительство ведут несколько лет и объекты вводят в эксплуатацию очередями, то в расчетах используют следующие показатели:

- приведенные к одному и тому же году капитальные вложения $\bar{K}$;
- приведенные к установившимся ежегодные издержки $\bar{C}$;
- динамические приведенные затраты $\bar{Z}$, определенные с учетом фактора времени.

Эти показатели определяют следующим образом. При замораживании капитальных вложений происходит потеря некоторого экономического эффекта, так как прибыль от них в этот период не получают. Эти средства в виде капитальных вложений прямым или косвенным (через социальный эффект) путем могли быть направлены в производство, но этого не происходит и возникает потеря капитальных вложений ΔK , которую в экономических расчетах начисляют на сумму замороженных капитальных вложений. Отрицательный эффект учитывают коэффициентом E_0

$$\Delta K = K E_0, \quad (2.4)$$

где E_0 – коэффициент учета фактора времени, численно равный прибыли, потерянной из-за замораживания 1 руб. капитальных вложений на один год; в экономических расчетах принимают $E_0 = 0,08$.

Капитальные вложения, необходимые для строительства, осваивают не все сразу, а распределяют по годам. Следовательно, капитальные вложения K_t , освоенные в разные годы, замораживают на разный период, зависящий от разницы между годом вложения и годом приведения. Для соблюдения условий сопоставимости разных вариантов год приведения должен быть для них всех одинаковым. Суммарные (за все годы строительства) приведенные капитальные вложения в водохозяйственный объект $\bar{K}$ вычисляют по формуле

$$\bar{K} = \sum_{t=1}^T K_t (1 + E_0)^{t_0 - t}, \quad (2.5)$$

где K_t – капитальные вложения в году t ;

T – срок строительства;

t_0 – год приведения (базисный год).

Обычно производственные мощности осваивают в течение ряда лет. По мере освоения водохозяйственного объекта увеличиваются издержки по его эксплуатации. Зависимость для приведенных установившихся ежегодных издержек $\bar{C}$ можно получить так же, как и для приведенных к одному и тому же базисному году капитальных вложений

$$\bar{C} = \sum_{t=t_0}^m \delta C_t (1 + E_0)^{t_0 - t}, \quad (2.6)$$

где δC_t – приращение ежегодных издержек в году t ;

t_0 – первый год эксплуатации;

m – год изменения издержек (от начала эксплуатации объекта, до выхода на полную мощность).

Динамические приведенные затраты $\bar{Z}$ определяются по формуле

$$\bar{Z} = \bar{K} \epsilon_n + \bar{C}. \quad (2.7)$$

При сравнении вариантов оптимальным считают вариант с минимальными динамическими затратами.

Во всех вариантах нужно соблюдать условия сопоставимости, т. е. должна быть получена продукция одинакового количества и качества, а затраты должны быть приведены к одному базисному году.

Выбор оптимальных параметров комплексного гидроузла. Параметры водохозяйственных объектов, так же, как и структуру водохозяй-

ственной системы, выбирают по минимуму производственных затрат. Например, при выборе параметров комплексного гидроузла (подпорной отметки, вместимости водохранилища) руководствуются следующими соображениями.

Отметка нормального подпорного уровня (НПУ) определяет основные размеры сооружений, объем строительных работ, площади затоплений, которые возрастают с повышением отметки НПУ. В то же время растет производственный эффект (выработка электроэнергии, площадь орошаемых земель и т. п.). Необходимо рассмотреть не менее трех вариантов НПУ. При этом нижний предел возможного диапазона изменений НПУ определяется минимально допустимыми уровнями оросительных водозаборов при самотечном орошении, необходимой мощностью гидроэлектростанций, судоходными глубинами, необходимой вместимостью водохранилища (для проведения заданного вида регулирования стока). Верхний предел может ограничиваться недопустимостью затопления ценных сельскохозяйственных угодий, крупных населенных пунктов, промышленных и транспортных объектов, топографическими или геологическими условиями створа плотины, подпором расположенного выше гидроузла, резким увеличением объема строительных работ.

Выбор полезного объема водохранилища – также сложная технико-экономическая задача. При заданной отметке НПУ полезный объем водохранилища определяется глубиной сработки $h_{ср}$. Увеличение ее в большинстве случаев приводит к росту положительного эффекта из-за более полного использования стока. Однако на гидроэнергетическом гидроузле увеличение сработки влечет за собой рост выработки электроэнергии лишь до определенного предела. Этот рост выработки связан с увеличением объемов воды, пропущенной через турбины. Но при этом уменьшается используемый на ГЭС напор, причем по мере понижения уровня воды в верхнем бьефе одно и то же уменьшение напора на величину $h_1 = h_2$ (рис. 2.7, а) происходит при все более уменьшающихся объемах воды, пропускаемой через турбины.

Из двух противоположно направленных факторов (рост объемов воды и уменьшение напоров) второй с увеличением сработки начинает действовать сильнее (рис. 2.7, б).

Увеличение положительного эффекта при росте глубины сработки сопровождается возрастанием объемов строительных работ, площадей затопляемых земель и т. д.

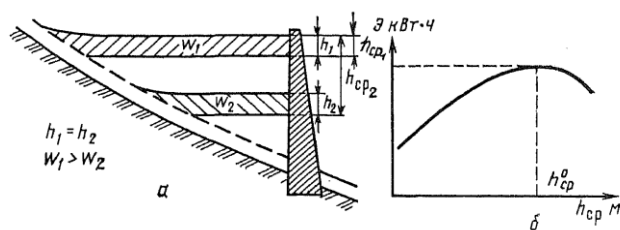


Рис. 2.7. Зависимость годовой выработки электроэнергии от глубины сработки водохранилища: *а* – схема сработки водохранилища; *б* – график зависимости объема выработки электроэнергии от величины сработки водохранилища

Экономический анализ заключается в сопоставлении затрат на получение одинакового объема продукции при разных вариантах технических решений. Например, при уменьшении отметки НПУ снижаются затраты на строительство плотины, компенсацию ущербов от затопления. Но так как снижается объем продукции, получаемый на объектах ВХК, необходимо предусмотреть получение недостающей продукции на других объектах народного хозяйства и затраты на получение этой продукции включить в общую сумму затрат варианта.

Каждый вариант обычно отвечает определенным сочетаниям параметров. Систему построения сетки вариантов принимают с учетом возможности рассмотрения всех анализируемых параметров.

Общая экономическая эффективность ВХК. Метод сравнительной экономической эффективности позволяет выбрать экономически наиболее выгодный вариант водохозяйственной системы. Экономическую эффективность выбранного варианта определяют по методу общей экономической эффективности. Показателем общей экономической эффективности служит коэффициент $\mathcal{E}_{\text{ВХК}}$, который вычисляют по зависимости

$$\mathcal{E}_{\text{ВХК}} = \left(\sum_{i=1}^n \Pi_i - C_{\text{ВХК}} \right) / K_{\text{ВХК}}, \quad (2.8)$$

где Π_i – стоимость продукции i -го участника ВХК;

$C_{\text{ВХК}}$, $K_{\text{ВХК}}$ – ежегодные издержки и капитальные вложения ВХК;

n – число участников ВХК.

Полученный коэффициент $\mathcal{E}_{\text{ВХК}}$ сравнивают с нормативным $\mathcal{E}_н$.

Эффективность использования водных ресурсов отдельными отраслями промышленности, являющимися участниками ВХК, опреде-

ляют подсчетом коэффициентов общей экономической эффективности каждого из участников водохозяйственного комплекса:

$$\mathcal{E}_i = (\Pi_i - C_i) / K_i. \quad (2.9)$$

Разность $\Pi_i - C_i$ называют прибылью Π_i отдельной i -й отрасли промышленности. Следовательно, коэффициент $\mathcal{E}_i$ позволяет судить о том, какую прибыль получает отрасль на каждый рубль капитальных вложений. Коэффициент $\mathcal{E}_i$ должен быть не ниже нормативного определяемого в соответствии с отраслевыми инструкциями.

Показатель, обратный коэффициенту общей экономической эффективности, называется сроком окупаемости капитальных вложений

$$T = K / \Pi. \quad (2.10)$$

Строительство объекта считают экономически целесообразным, если срок окупаемости не превышает нормативный, т. е. $T < T_n$.

В гидроэнергетике стоимость продукции $\Pi_{гэс}$ вычисляют по зависимости

$$\Pi_{гэс} = \mu(\alpha N + \beta \mathcal{E}), \quad (2.11)$$

где N и $\mathcal{E}$ – используемые мощность и выработка электроэнергии;

α и β – тарифные ставки за 1 кВт и за 1 кВт · ч;

μ – коэффициент, учитывающий потери в сетях и расход электроэнергии на собственные нужды.

При определении общей экономической эффективности необходимо также учитывать отрицательный эффект замораживания капитальных вложений при строительстве и изменение стоимости продукции во времени. При учете фактора времени коэффициент общей экономической эффективности определяют по зависимости

$$\bar{\mathcal{E}}_i = \bar{\Pi}_i / \bar{K}_i, \quad (2.12)$$

где $\bar{K}_i$ – приведенные к базисному году капитальные вложения i -го участника ВХК;

$\bar{\Pi}_i$ – прибыль i -го участника ВХК, приведенная к базисному году, определяемая по формуле

$$\bar{\Pi}_i = \sum_{t=1}^m \delta \Pi_t (1 + E_0)^{t_0 - t}, \quad (2.13)$$

здесь $\delta \Pi_t$ – изменение прибыли в год t по сравнению с предыдущим годом;

m – число лет, в течение которых изменялась прибыль.

Коэффициент общей экономической эффективности ВХК с учетом фактора времени можно подсчитать по формуле

$$\bar{\Xi}_{\text{ВХК}} = \frac{\sum_{t=1}^n \sum_{t=1}^m \delta \Pi_{ti} (1+E_0)^{t_0-t}}{\bar{K}_{\text{ВХК}}}, \quad (2.14)$$

где n – общее количество участников ВХК, получающих от него прибыль.

Распределение затрат водохозяйственного комплекса между его участниками. В комплексном гидроузле плотина и образуемое ею водохранилище являются общими сооружениями для всех участников ВХК. Отраслевые сооружения (здание ГЭС, судоходный шлюз, водозабор и т. п.) предназначены для использования водных ресурсов соответствующей отрасли. Для реализации эффекта от использования воды необходимы также сопутствующие сооружения, связывающие водохозяйственный объект с соответствующей отраслью народного хозяйства. Примером сопутствующих сооружений могут служить линия электропередач, оросительный канал, трубопровод, причальные сооружения, флот и т. п. Таким образом осуществляется связь водного хозяйства с энергетической, сельскохозяйственной водно-транспортной системами, с промышленностью, коммунально-бытовым хозяйством и др.

Затраты на строительство и эксплуатацию общих сооружений, а также на компенсацию ущербов окружающей среде называют *общими* или *комплексными* затратами ВХК. Затраты на строительство и эксплуатацию отраслевых и сопутствующих сооружений – *отраслевыми* затратами. Капитальные вложения и ежегодные издержки – соответственно *комплексными* и *отраслевыми*.

При строительстве ВХК его участники должны в той или иной мере компенсировать затраты. Это можно осуществить одним из двух способов: пользование водой за соответствующую плату министерству, которое финансирует строительство и эксплуатацию гидроузла; доленое участие в финансировании каждого министерства представляющего участника ВХК.

Во втором случае на каждого участника ВХК должны быть отнесены собственные отраслевые и часть комплексных затрат

$$K_i = K_{\text{отр}i} + K_{\text{ком}i}; \quad (2.15)$$

$$C_i = C_{\text{отр}i} + C_{\text{ком}i}; \quad (2.16)$$

$$Z_i = C_{\text{отр}i} + C_{\text{ком}i} + \varepsilon(K_{\text{отр}i} + K_{\text{ком}i}), \quad (2.17)$$

где K_i , C_i , Z_i – соответственно капитальные вложения, ежегодные издержки и расчетные (приведенные) затраты i -го участника ВХК, которые определяют его участие в финансировании ВХК;

$K_{отрi}$, $C_{отрi}$ – отраслевые капитальные вложения и ежегодные издержки i -го участника ВХК;

$K_{комi}$, $C_{комi}$ – доля комплексных капитальных вложений и ежегодных издержек, относимая на i -го участника ВХК.

Очевидно, что в целом для ВХК

$$K_{ком} = \sum_{i=1}^n K_{комi}; \quad (2.18)$$

$$C_{ком} = \sum_{i=1}^n C_{комi}, \quad (2.19)$$

где n – число участников ВХК.

Таким образом, расчетные затраты на строительство и эксплуатацию ВХК равны

$$Z_{вхк} = C_{ком} + \sum_{i=1}^n C_{отрi} + \varepsilon_n \left(K_{ком} + \sum_{i=1}^n K_{отрi} \right), \quad (2.20)$$

где ε_n – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности.

Долю комплексных затрат, приходящуюся на отдельного участника ВХК, можно определить несколькими способами, например, пропорционально объему воды, выделяемому этому участнику, или экономическому эффекту, получаемому им от использования воды. Наиболее простым является метод распределения затрат пропорционально объемам воды, но его невозможно применять в тех случаях, когда в состав участников ВХК входят водопользователи (например, судоходство, гидроэнергетика и т. п.). Поэтому этот метод применяют редко, например, для гидроузлов, предназначенных для орошения и водоснабжения.

Наибольшее распространение получил метод распределения затрат по принципу равной экономической эффективности для всех участников ВХК. При этом методе принимают одинаковый для всех участников водохозяйственного комплекса коэффициент общей экономической эффективности капитальных вложений $\varepsilon_i = \varepsilon_{вхк}$ либо коэффициент сравнительной эффективности $\varepsilon_i = \varepsilon_{вхк}$. Поскольку необходимо

определить два неизвестных $K_{\text{ком}i}$ и $C_{\text{ком}i}$, то основное условие равной экономической эффективности дополняется условием пропорциональности ежегодных издержек $C_{\text{ком}i}$ капитальным вложениям $K_{\text{ком}i}$. Это правомерно, так как издержки по комплексным объектам представляют собой в основном амортизационные отчисления. Поэтому можно считать, что

$$C_{\text{ком}i} = \rho K_{\text{ком}i}, \quad (2.19)$$

где ρ – коэффициент пропорциональности.

Распределение затрат ВХК по условию равенства коэффициентов общей экономической эффективности. Условие равенства коэффициентов общей экономической эффективности каждого из участников ВХК коэффициенту общей экономической эффективности его в целом записывают так

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{\text{ВХК}}. \quad (2.20)$$

Коэффициент $\mathcal{E}_i$ можно записать следующим образом:

$$\mathcal{E}_i = \frac{\Pi_i - C_{\text{ком}i} - C_{\text{отр}i}}{K_{\text{отр}i} + K_{\text{ком}i}}, \quad (2.21)$$

где Π_i – стоимость продукции i -го участника ВХК.

Используя формулу (2.19), получают

$$\mathcal{E}_{\text{ВХК}} = \frac{\Pi_i - \rho K_{\text{ком}i} - C_{\text{отр}i}}{K_{\text{отр}i} + K_{\text{ком}i}}. \quad (2.22)$$

Исходя из формулы (2.22) получают

$$K_{\text{ком}i} = \frac{\Pi_i - \mathcal{E}_{\text{ВХК}} K_{\text{отр}i} - C_{\text{отр}i}}{\rho + \mathcal{E}_{\text{ВХК}}}. \quad (2.23)$$

Долю комплексных ежегодных издержек $C_{\text{ком}i}$, относимую на i -го участника ВХК, вычисляют по формуле (2.19).

Распределение затрат ВХК по условию равенства коэффициентов сравнительной экономической эффективности. При распределении комплексных затрат по этому методу коэффициенты сравнительной экономической эффективности каждого из участников ВХК ε_i приравнивают к коэффициенту сравнительной экономической эффективности его в целом $\varepsilon_{\text{ВХК}}$.

Коэффициент сравнительной экономической эффективности i -го участника ВХК определяют по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{C_{\text{зам}i} - C_{\text{ком}i} - C_{\text{отр}i}}{K_{\text{отр}i} + K_{\text{ком}i} - K_{\text{зам}i}}, \quad (2.24)$$

где $K_{\text{зам}i}$, $C_{\text{зам}i}$ – капитальные вложения и ежегодные издержки в альтернативном (заменяемом) варианте получения i -й продукции.

В целом для ВХК коэффициент сравнительной экономической эффективности равен

$$\varepsilon_{\text{ВХК}} = \frac{C_{\text{зам}i} - \rho K_{\text{ком}i} - C_{\text{отр}i}}{K_{\text{отр}i} + K_{\text{ком}i} - K_{\text{зам}i}}. \quad (2.25)$$

Отсюда зависимость для определения доли комплексных капитальных вложений, относимая на i -го участника ВХК, равна

$$K_{\text{ком}i} = \frac{C_{\text{зам}i} - C_{\text{отр}i} - \varepsilon_{\text{ВХК}}(K_{\text{отр}i} - K_{\text{зам}i})}{\rho + \varepsilon_{\text{ВХК}}}. \quad (2.26)$$

Распределение затрат ВХК по условию одинакового коэффициента снижения расчетных затрат. Коэффициент снижения расчетных затрат ВХК $\alpha_{\text{ВХК}}$ показывает, во сколько раз затраты на строительство и эксплуатацию его меньше затрат заменяющих объектов

$$\alpha_{\text{ВХК}} = \frac{Z_{\text{ВХК}}}{\sum_{i=1}^n Z_{\text{зам}i}}, \quad (2.27)$$

где $Z_{\text{ВХК}}$ – затраты ВХК;

$Z_{\text{зам}i}$ – затраты по всем заменяющим объектам (с учетом их сопутствующих сооружений);

n – число участников ВХК.

Для отдельного участника ВХК коэффициент снижения расчетных затрат равен

$$\alpha_i = \frac{Z_i}{Z_{\text{зам}i}}, \quad (2.28)$$

где Z_i – расчетные затраты i -го участника ВХК;

$Z_{\text{зам}i}$ – расчетные затраты его заменяющего варианта.

При распределении комплексных затрат коэффициенты снижения затрат каждого из участников ВХК α_i приравнивают к коэффициенту снижения расчетных затрат ВХК $\alpha_{\text{ВХК}}$.

Тогда

$$K_{\text{ком}i} = \frac{\alpha_{\text{вхк}} C_{\text{зам}i} - C_{\text{отр}i} + \varepsilon_{\text{вхк}} K_{\text{отр}i}}{\rho + \varepsilon_{\text{н}}}. \quad (2.29)$$

Выражение $C_{\text{отр}i} + \varepsilon_{\text{вхк}} K_{\text{отр}i}$ представляет собой отраслевые расчетные затраты. Обозначив их через $З_{\text{отр}i}$, получают

$$K_{\text{ком}i} = \frac{\alpha_{\text{вхк}} C_{\text{зам}i} - З_{\text{отр}i}}{\rho + \varepsilon_{\text{н}}}. \quad (2.30)$$

При распределении комплексных затрат по условию равной эффективности могут встречаться случаи, когда $K_{\text{ком}i} > 0$, $K_{\text{ком}i} = 0$, $K_{\text{ком}i} < 0$. В первом случае i -й участник ВХК принимает на себя все отраслевые затраты и часть комплексных $K_{\text{ком}i}$, а во втором случае – только отраслевые затраты. Если же при подсчете $K_{\text{ком}i}$ окажется, что они имеют отрицательное значение, то для обеспечения равной экономической эффективности i -й участник ВХК принимает на себя лишь часть своих отраслевых затрат, а комплексных затрат не несет. Другая часть отраслевых капитальных вложений, равная $\rho K_{\text{ком}i}$, распределяются между остальными участниками ВХК. Это малоэффективные участники, имеющие до распределения комплексных затрат коэффициенты ε_i , ε_i , α_i меньшие, чем эти же показатели по ВХК в целом.

К ним можно отнести, например, коммунально-бытовое водоснабжение.

Распределение фактических затрат. В рассмотренных выше методах расчета приводится распределение динамических приведенных затрат (с учетом фактора времени).

Фактические комплексные затраты, относимые на отдельного участника ВХК определяются по формуле

$$K_{\text{ком}i} = K_{\text{ком}} \left(\frac{\bar{K}_{\text{ком}i}}{\bar{K}_{\text{ком}}} \right), \quad (2.31)$$

где $K_{\text{ком}i}$ – фактическая доля комплексных капитальных вложений, относимая на i -го участника ВХК;

$K_{\text{ком}}$ – фактические комплексные капитальные вложения;

$\bar{K}_{\text{ком}i}$ – доля приведенных комплексных капитальных вложений, относимая на i -го участника ВХК;

$\bar{K}_{\text{ком}}$ – приведенные комплексные капитальные вложения.

3. ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

С ростом населения и развитием народного хозяйства в целом и его отдельных отраслей потребность в воде неуклонно возрастает, и в настоящее время стоит задача удовлетворить как можно полнее запросы многочисленных участников водохозяйственных комплексов.

В современных условиях эта задача может быть успешно решена путем планирования водопотребления водных ресурсов для каждого региона, области, района с учетом предотвращения их истощения и дальнейшего загрязнения. Источники водных ресурсов и участники водохозяйственных комплексов образуют единую водохозяйственную систему, которая представляет собой целостное межотраслевое технологическое пространственное образование, состоящее из множества элементов, связанных единством предмета – водой.

Создание рациональных условий, предназначенных для воспроизводства, подготовки, использования и применения воды с целью удовлетворения хозяйственных, социально-биологических, эстетических нужд общества и сохранения природных ресурсов, в том числе и водных, – одна из задач комплексного использования водных ресурсов, решить которую позволяет грамотное и рациональное регулирование стока.

3.1. Регулирование стока при комплексном использовании водных ресурсов

Переход от одиночного водохозяйственного объекта к водохозяйственной системе и от обслуживания одной отрасли водного хозяйства к комплексному использованию вод приводит не только к усложнению водохозяйственных расчетов, но и к принципиальному изменению постановки прежних и возникновению новых задач, решаемых водохозяйственными расчетами с использованием регулирования стока. Эти принципиальные изменения вызываются следующими причинами:

- в водохозяйственной системе существуют варианты покрытия потребностей в воде водопользователей и водопотребителей;
- при комплексном использовании водных ресурсов возникает вопрос о рациональном распределении воды между компонентами комплекса в условиях дефицита, даже если речь идет об одиночном водопользователе или водопотребителе;

– рассматривая отдельную водохозяйственную единицу, можно ограничиться стадией максимального развития обслуживаемого ею водохозяйственного объекта, так как на всех предшествующих стадиях может быть тот или иной избыток воды;

– расчеты регулирования стока отдельными водохозяйственными объектами выполняются в основном по наблюдаемым гидрологическим рядам.

С учетом вышеизложенных причин гарантированное наличие водных ресурсов является неременным условием, обеспечивающим практически все виды хозяйственной деятельности человека. В течение длительного периода водопользования сформировались следующие основные отрасли водного хозяйства:

– водоснабжение городов и поселков, промышленных предприятий, сельскохозяйственных, транспортных и энергетических (тепловых и атомных электростанций);

– мелиорация – использование воды для орошения и обводнения и отвод избыточных вод с территории (осушение);

– гидроэнергетика – использование энергии воды;

– водный транспорт – использование воды для судоходства;

– рыбное хозяйство – разведение и лов рыбы.

Кроме перечисленных основных отраслей водного хозяйства, следует указать и другие направления в использовании вод: для санитарного благоустройства, организации отдыха населения (рекреаций). Одной из отраслей водного хозяйства является борьба с вредными и разрушительными действиями воды, в частности, с наводнениями. В современный период важнейшее значение приобретает защита водных источников от истощения и загрязнения, так как последние приняли угрожающий характер и создали целый ряд экологических проблем.

Решение различных водохозяйственных мероприятий по использованию речного стока сводится к удовлетворению водой одного или нескольких водопользователей (водопотребителей) с учетом их переменной потребности в воде на протяжении года. Эта потребность может быть представлена в виде графика водопотребления (рис. 3.1) или водопользования, который затем сравнивается с гидрографом реки (рис. 3.2).

Основными характеристиками, которые используются (среди прочих) при комплексном использовании водных ресурсов, являются:

1) средний многолетний годовой сток;

2) распределение стока в течение года (по сезонам, отдельным периодам, в течение месяца, суток);

3) максимальные расходы воды различной обеспеченности:

3.1) сформированные весенним снеготаянием (максимумы весеннего половодья);

3.2) сформированные ливневыми осадками (максимумы дождевых паводков);

3.3) сформированные в результате обоих факторов (весеннее снеготаяние и ливневые осадки);

4) объем стока весеннего половодья и дождевых паводков;

5) минимальные расходы;

6) среднегодовой расход взвешенных и донных наносов;

7) распределение расходов взвешенных и донных наносов в течение года;

8) продолжительность периодов с ледовыми явлениями, например, периодов с ледяным покровом и ледохода.

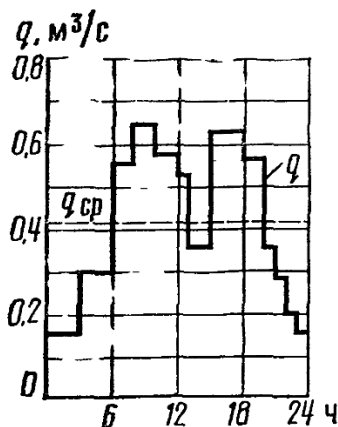


Рис. 3.1. Ступенчатый график водопотребления

Эти характеристики устанавливаются по многолетним рядам наблюдений. Для применения стандартных статистических методов данные необходимо проверять на стационарность и однородность известными методами математической статистики.

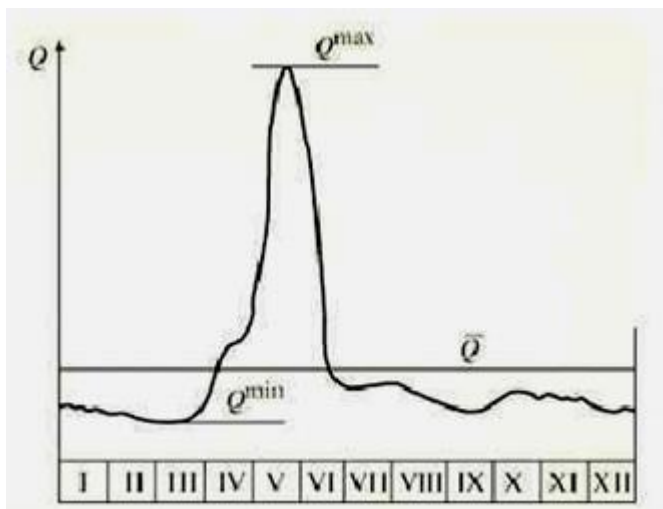


Рис. 3.2. Типичный гидрограф реки снегового питания

Методы моделирования могут быть полезными для получения гидрологических данных в следующих случаях: при наличии пропусков в рядах наблюдений; при коротком периоде наблюдений; при отсутствии данных для обследуемого участка, например, вблизи плотин, но при наличии их на соседних участках.

Если сток реки регулируется водохранилищами, то выполняются расчеты по его трансформации; если сток изымается на хозяйственные нужды, то выполняются расчеты по его восстановлению, т. е. приведению к естественному. При этом учитываются как безвозвратное водопотребление, так и размеры, режим поступления в реку возвратных вод. Аналогично восстанавливается естественный сток и в случае территориального перераспределения стока из одной системы в другую. Следует заметить, что естественный сток очень многих рек уже в настоящее время существенно нарушен и продолжает нарушаться в результате эксплуатации водохранилищ и значительных изъятий воды для целей водоснабжения и т. п., а восстановление его, т. е. приведение к естественным условиям, становится все сложнее. В восстановленные ряды вносится дополнительная, иногда существенная, погрешность, и поэтому использование их нередко оказывается нецелесообразным. Поэтому в проектной практике часто ограничиваются короткими ря-

дами наблюдений за стоком, не нарушенными хозяйственной деятельностью.

Расчетный период при комплексном использовании водных ресурсов, т. е. отрезок полного гидрологического ряда, должен удовлетворять условиям репрезентативности и отвечать следующим требованиям: по общей водности он должен быть близким к среднему многолетнему значению (норме стока); в состав его должны входить годы различной водности и характерные сочетания лет различной водности; коэффициент изменчивости годового стока за выбранный расчетный период должен быть близким к коэффициенту изменчивости годового стока за весь имеющийся гидрологический ряд. Длительность расчетного ряда обычно принимается не менее 20 лет. Указанная длительность условна и требует конкретного обоснования в зависимости от характера колебаний стока и глубины его регулирования водохранилищем. Подбор характерных для водохозяйственных расчетов лет необходимо производить не только по признаку водности года. Обязательно для маловодного года следует вводить дополнительные критерии – водность лимитирующего периода и водность лимитирующего сезона (рис. 3.3).

Подбор маловодного года должен осуществляться таким образом, чтобы его реальный гидрограф соответствовал расчетной обеспеченности, как по общей водности, так и по водности лимитирующих периода и сезона. Для разных отраслей использования водных ресурсов лимитирующий период и сезон будут разными.

Например, в отношении обеспечения водой промышленности и городов лимитирующим периодом будут межень и летний сезон, в отношении гидроэнергетики – межень и зимний сезон, в отношении обеспечения водой сельского хозяйства – вегетационный период и т. п.

Продолжительность лимитирующего периода зависит от степени намечаемого регулирования стока. При сезонном регулировании стока решающее значение имеет водность всей межени. При полном годичном регулировании стока межесезонное распределение стока не будет влиять на результат расчета, и модель маловодного года подбирается по обеспеченности годового стока, близкой к обеспеченности отдачи.

В водохозяйственных расчетах режим естественного, не искаженного человеческой деятельностью стока реки считается неизменным как на протяжении периода предшествующих гидрологических наблюдений, так и на протяжении периода будущей эксплуатации сооружений и водохранилищ. Вследствие этого хронологическая после-

довательность изменения естественного стока во времени рассматривается как прототип будущего режима. Правильность такого допущения подтверждается опытом эксплуатации многочисленных водохозяйственных установок, запроектированных и построенных на его основе. При этом, чем продолжительнее календарный ряд наблюдений за стоком реки, тем надежнее полученные на его основе параметры и проектные режимы работы водохранилища и гидроузла.

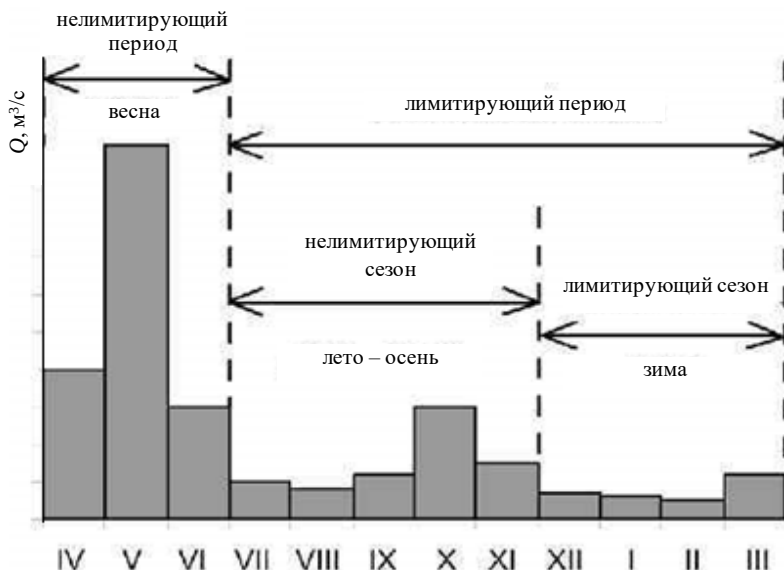


Рис. 3.3. Внутригодовое распределение стока

Проектируемые и строящиеся водохозяйственные объекты (водохранилище, каналы) имеют многоцелевое назначение. Водохозяйственное сооружение рассчитывается на длительный срок эксплуатации в течение последующего после строительства периода. Поэтому для водохозяйственных расчетов необходимо использовать возможные для этого периода значения речного стока и его режимные гидрологические характеристики.

Например, при обосновании размеров водохранилищ с заданной водоотдачей необходимо учитывать характер возможного в будущем маловодья — его длительность и степень понижения стока. Размеры

водопропускных сооружений в теле плотины также должны устанавливаться на основе расчета гидрографов возможных высоких половодий и паводков в течение будущего периода эксплуатации сооружений.

Таким образом, данные о речном стоке непосредственно используются для обоснования как размеров, так и режима эксплуатации водохозяйственных сооружений, обеспечивающих заданное водопотребление. При выполнении водохозяйственных расчетов возникает необходимость использования данных о факторах, влияющих на сток – метеорологических (осадки, испарение, температура воздуха и почвы и др.), ландшафте водосбора (рельефа, почвенного и геологического строения, растительности), морфометрических и гидравлических характеристиках речного русла и т. д.

Гидрологическая информация, поступающая от опорной гидрологической сети, составляет основу гидрологических расчетов при комплексном использовании водных ресурсов. Кроме того, необходимо привлекать данные специальных наблюдений других министерств и ведомств. Качество расчетов зависит от наличия и точности гидрологических данных. Проектирование любого водохозяйственного мероприятия начинается с анализа надежности и однородности данных имеющейся речной сети, с осуществления специальных гидрологических изысканий для сбора исходных данных по проекту.

3.2. Последствия и влияние водохозяйственного строительства на окружающую среду

Водохозяйственные объекты оказывают непосредственное воздействие на природную среду, которое проявляется как в период строительства объектов, так и при их эксплуатации.

Гидроэлектростанция при нормальном состоянии ее оборудования является экологически чистым источником получения электрической энергии.

Основным объектом, вызывающим противоречивые мнения об использовании ГЭС для выработки электрической энергии, является водохранилище.

Различают прямое и косвенное воздействия водохранилищ на окружающую среду. Прямое воздействие заключается в следующем:

- происходит затопление и подтопление земель, большая часть которых относится к высокопродуктивным сельскохозяйственным и лесным угодьям;

- при создании водохранилищ повышается уровень грунтовых вод, изменяется их режим, химический состав, состав почв, микроорганизмов и растительности, т. е. нарушается ход естественных природных процессов;

- с площади зеркала водохранилища происходит интенсивное испарение воды, косвенно влияющее на влажность воздуха, его температуру и на количество выпадающих осадков;

- ветровое воздействие вызывает переформирование берегов и донной части, что ведет к образованию отмелей и миграции донных наносов, вызывающих неблагоприятные гидробиологические и гидрохимические процессы, что ухудшает санитарное состояние водоема.

- преграждение плотинами путей нерестовых миграций, разрушение нерестилищ в верхнем бьефе и сокращение паводковых попусков для затопления на период нереста и выклева личинок в нижних бьефах наносит ущерб рыбному хозяйству.

Вместе с тем при правильном проектировании и надлежащей эксплуатации сооружений ГЭС уровень негативного их воздействия на окружающую среду можно снизить или компенсировать некоторыми достоинствами:

- для получения дешевой электроэнергии используется возобновляемый источник энергии;

- созданный запас пресной воды позволяет решать комплексные задачи систем водоснабжения, орошаемого земледелия, создания зон отдыха и т. д.

Вышеперечисленные, а также другие аспекты негативного воздействия ГЭС на окружающую среду приведены на рис. 3.4.

Водохозяйственные объекты оказывают существенное влияние и на живую природу – растительный и животный мир. Изменения параметров водной среды, атмосферы, почвы вызывают экологические нарушения, что приводит к изменению экологических систем – стратификация воды, когда верхние ее слои хорошо прогреваются под действием солнечной радиации, а нижние, особенно придонные, имеют более низкую температуру (рис. 3.5).

Сохранение или деформация экологических систем в нижнем за водохранилищем течении реки будет зависеть от того, из каких слоев забирается и пропускается в нижний бьеф вода. При глубинном заборе в нижний бьеф будет поступать холодная вода, а она может вызвать угнетение или гибель теплолюбивых растений и микроорганизмов, служащих питательной средой для подводного животного мира. Это, в

свою очередь, может привести к изменению видового разнообразия, например, ихтиофауны.



Рис. 3.4. Виды воздействия ГЭС на окружающую среду: 1 – водохранилище; 2 – плотина; 3 – здание ГЭС; 4 – генератор; 5 – турбина; 6 – повышающий трансформатор; 7 – подстанция; 8 – линия электропередачи; 9 – потребители электроэнергии

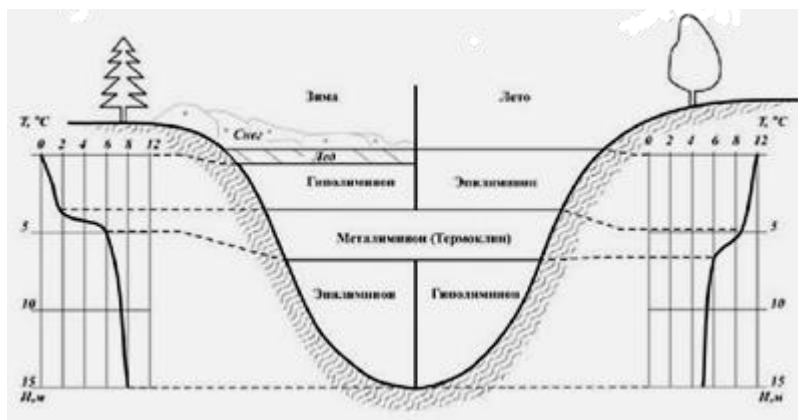


Рис. 3.5. Разделение водоема на слои при температурной стратификации

Создание водохранилищ и других водохозяйственных объектов относится к антропогенному виду воздействия на природу. Термин «ан-

тропогенное воздействие» подразумевает влияние хозяйственной деятельности человека на природу. Это влияние особенно сильно проявляется в период эксплуатации водной системы предприятиями-водопользователями отдельных отраслей энергетики, промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

Тепловые и атомные электростанции, сбрасывая теплые воды из систем охлаждения конденсаторов паровых турбин, нарушают тепловой режим водоемов и водотоков. Повышение средней температуры воды на 3 °С и более вызывает необратимые процессы в экологических системах. Этот вид воздействия энергетических объектов на природную среду имеет особенно вредные последствия при сосредоточении на берегах искусственных или естественных водоемов электростанций больших мощностей.

Водный транспорт, развиваемый на реках и водохранилищах, способствует загрязнению воды нефтепродуктами. Основным источником их поступления в водоемы и водотоки является утечка топлива и масел. Значительны сбросы коммунальных стоков с судов, на которых не предусмотрена их очистка или отсутствует централизованная их приемка береговыми водоочистными сооружениями.

Интенсификация земледелия на орошаемых и осушаемых землях в бассейнах рек и озер связана с широким применением органических минеральных удобрений. При нарушении технологии удобрения почв значительная их часть выносится поверхностными и грунтовыми водами в реки и озера. В результате вода загрязняется биогенами – химическими соединениями азота и фосфора. Развитие промышленного животноводства в зоне мелиорируемого земледелия вызывает загрязнение вод отходами животноводческих ферм и комплексов. Орошение земель является самым крупным водопользователем и в отдельных случаях может вызвать истощение природных водных ресурсов. Это еще один существенный фактор антропогенного воздействия на природную среду.

При проектировании мероприятий по мелиорации земель необходимо учитывать местные особенности природных условий. Так, орошение земель в южных районах страны может вызвать засоление почв, если не предусмотрены специальные агротехнические мероприятия или нарушена технология полива. В результате подъема грунтовых вод и их интенсивного испарения происходит накопление солей в почвенном слое, которое причиняет существенный ущерб сельскому хозяйству, вызывает экологические нарушения в природной среде. Лик-

видация последствий засоления земель – процесс довольно длительный и связан с большими затратами, поэтому еще на стадии проектирования необходимо предусматривать инженерные решения, которые позволили бы избежать этого неблагоприятного явления.

В низких местах, прилегающих к мелиорированным сельскохозяйственным угодьям, в результате интенсивного полива иногда происходит заболачивание земель. На таких землях появляется болотная растительность, гибнет лес и кустарник. Образование болотистых местностей сопровождается изменением микроклимата, появляются болезнетворные насекомые и т. п. Недостаточный учет возможных неблагоприятных последствий в нарушении природы, связанных с интенсивной мелиорацией земель в конечном счете сказывается на продуктивности сельского хозяйства и условиях жизни сельского населения.

3.3. Водные ресурсы бассейнов рек и перспектива их использования

Водные ресурсы являются одним из ключевых элементов устойчивого развития, имеющим огромное значение для его социальных, экономических и экологических аспектов.

Основные гидрологические характеристики речного стока не являются стабильными величинами. Под влиянием и при участии комплекса разнообразных по генезису и динамике факторов они непрерывно изменяются как по территории, так и во времени. В настоящее время на территории Беларуси гидрологический режим водных объектов определяется не только естественными колебаниями метеорологических элементов, но и антропогенными факторами. При этом роль последних с каждым годом усиливается, недоучет их может привести к значительным ошибкам при определении расчетных параметров.

Основным источником водных ресурсов Беларуси являются средние и крупные реки, вдоль которых концентрируется население и промышленное производство страны. Немаловажное значение имеют ресурсы малых рек. Их рассредоточенность по территории делает водные ресурсы доступными для повсеместного использования. Ресурсы речного стока Республики Беларусь в разрезе крупных речных бассейнов приведены в табл. 3.1.

На территории республики находится около 10,8 тыс. озер, 88 % из которых с площадью зеркала до 10 га. Озер площадью более 100 га всего 2,2 %. В озерах республики сосредоточено около 9 км³ воды.

Таблица 3.1. Ресурсы речного стока Республики Беларусь

Водосбор	Площадь водосбора, тыс. км ²	Местный сток, км ³			Общий сток в средний год, км ³
		в средний по водности год	75 %	95 %	
Западная Двина	33,20	6,50	5,24	3,89	13,79
Неман	46,00	9,26	8,02	6,28	9,26
Западный Буг	12,00	1,49	1,10	0,75	1,49
Днепр	63,70	11,20	9,13	6,90	18,90
Припять	52,70	7,970	5,91	4,03	13,70
В целом по Беларуси	207,60	36,40	31,10	24,50	57,90

Помимо естественных водоемов и водотоков на территории страны также повсеместно распространены родники. Родники представляют собой один из уникальных видов водных объектов, характерных для территории Республики Беларусь. Они имеют важное значение в процессах поддержания стабильности гидрологического режима поверхностных водных объектов, а также прилегающих к ним наземных биocenozов, являются центральным компонентом окружающих их ландшафтов и центрами формирования биоразнообразия, повышают их эстетические свойства. Некоторые родники представляют собой уникальные природные объекты, имеющие значительную научную ценность, как памятники природы. При этом родники являются наиболее уязвимым типом водных объектов. В результате неправильно проведенного благоустройства родников, мелиоративных, строительных или иных работ на прилегающих территориях значительное количество родников Беларуси во второй половине XX в. было уничтожено. Особенно неблагоприятное воздействие на состояние родников оказывает интенсивная трансформация прилегающих природных ландшафтов.

Количество и качество водных ресурсов определяют устойчивое развитие любого государства, от них зависит уровень жизни и здоровье населения. Достаточность водных ресурсов для конкретной страны зависит от численности населения, видов промышленного производства, специализации сельского хозяйства, повторного использования воды и других факторов.

Наиболее обеспечены водными ресурсами Витебская и Гродненская области, наименее – Гомельская и Брестская.

Центральные районы республики с наиболее развитым хозяйством и плотностью населения имеют значительно меньшие ресурсы речных

вод, чем периферические районы, располагающие транзитным стоком. В Минской области, расположенной на водораздельных возвышенностях, приток транзитных вод минимальный, в Гомельской области, куда стекаются воды рек Березина, Днепр, Сож и Припять – максимальный (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Сведения о ресурсах речного стока по областям Республики Беларусь

Область	Площадь, тыс. км ²	Местный сток		Транзитный сток, км ³ /год	Общий сток, км ³ /год
		всего, км ³ /год	на 1 км ² , тыс. м ³ /год		
Брестская	32,3	4,93	153	5,67	10,6
Витебская	40,1	7,91	197	11,30	19,2
Гомельская	40,1	5,61	139	25,30	30,9
Гродненская	25,0	4,91	196	4,85	9,8
Минская	40,8	7,78	191	0,70	8,5
Могилевская	29,0	5,27	182	9,94	15,2
В целом по Беларуси	207,6	36,40	175	20,70	57,9

Среди искусственных водных объектов на территории Беларуси особое место занимает Вилейско-Минская водная система, построенная в 1968–1976 гг. Это крупная водохозяйственная система по переброске речного стока из бассейна Балтийского моря в центральную и далее в южную часть Беларуси, т. е. к бассейну Черного моря. В первые годы эксплуатации системы годовой объем перебрасываемой воды, не считая пускового года, колебался от 205 до 234 млн. м³. В последние десятилетия объем переброски речного стока по Вилейско-Минской водной системе не превышает 60 млн. м³ в год.

Водные ресурсы Беларуси используются для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения, гидроэнергетики, судостроения, рекреации, рыбно-прудового хозяйства, орошения.

Питьевое водоснабжение в Республике Беларусь в основном базируется на использовании подземных источников, качество которых отвечает установленным санитарно-гигиеническим требованиям, за исключением содержания железа и, в отдельных случаях, марганца. В г. Минске для хозяйственно-питьевого водоснабжения наряду с подземными источниками используется вода из поверхностных источников Вилейско-Минской водной системы.

Обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной социально-экологической задачей Республики Беларусь.

Законом Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении», принятом в 1999 г., на государственном уровне установлены правовые гарантии удовлетворения потребностей физических и юридических лиц в питьевой воде в соответствии с нормативами качества питьевой воды и нормами питьевого водопотребления, а также государственные гарантии надежности и безопасности питьевого водоснабжения.

Централизованное обеспечение населения и других потребителей услугами по водоснабжению и водоотведению является одной из основных задач организаций жилищно-коммунального хозяйства, на долю которых приходится более 85 % объема оказываемых услуг.

Установленная мощность централизованных систем водоснабжения составляет 4,2 млн. м³ в сутки; одиночная протяженность водоводов и водопроводной сети – 38,2 тыс. км. Источниками централизованного водоснабжения служат 10197 артезианских скважин и 1 водозабор из поверхностных источников, качество воды обеспечивают 598 станций обезжелезивания, на уличных сетях установлено более 41 тыс. водоразборных колонок. Ежедневно в сеть подается 1,6 млн. м³ в сутки питьевой воды. Доступ к централизованным системам водоснабжения имеет 98,5 % городского и около 65,9 % сельского населения. Остальное население снабжается водой из нецентрализованных источников водоснабжения: шахтных колодцев и мелкотрубчатых скважин.

Нецентрализованными источниками водоснабжения (шахтными колодцами) пользуются 1,5 млн. человек, основную часть которых составляет сельское население. Из находящихся под контролем учреждений госсаннадзора 30,1 тыс. общественных источников нецентрализованного водоснабжения, из них 15,9 % источников не соответствуют санитарным требованиям: 12,5 % исследованных проб по санитарно-химическим и 5,4 % по микробиологическим показателям. Несоответствие качества воды в шахтных колодцах (повышенное содержание нитратов в питьевой воде в 9,9 % в целом по республике) связано с нарушением санитарно-гигиенических правил при размещении, оборудовании и эксплуатации колодцев.

Республика Беларусь, являясь внутриконтинентальным государством, заинтересована в развитии водного транспорта и включении водных путей страны в сеть внутренних водных путей Западной Европы.

В Беларуси эксплуатируется более 1700 км внутренних водных путей, в том числе: р. Днепр – 411,6 км, р. Припять – 413,5 км, р. Неман – 110 км, р. Западная Двина – 88,9 км, р. Березина – 308,5 км, р. Сож –

112,8 км, Днепро-Бугский канал – 243,2 км, р. Горынь – 13,5 км, Микашевичский канал – 7 км.

С точки зрения гидроэнергетики потенциальная мощность всех водотоков Республики Беларусь оценивается в 850 МВт, из них технически доступная – 520 МВт, экономически целесообразная – 250 МВт.

В настоящее время в Объединенной энергетической сети Беларуси эксплуатируется 51 ГЭС суммарной установленной мощностью 95,8 МВт. В 2017 г. введены в эксплуатацию Полоцкая ГЭС установленной мощностью 21,66 МВт и Витебская ГЭС установленной мощностью 40 МВт. Прорабатывается вопрос реализации инвестиционного проекта по строительству Бешенковичской ГЭС мощностью 33 МВт на реке Западная Двина.

Водные рекреационные ресурсы республики являются наиболее перспективной частью природно-рекреационного потенциала, поскольку основным типом рекреационных систем в Беларуси является озерно-речной.

В настоящее время вдоль магистрально вытянутых долин крупных рек сформировалась хорошо выраженная и разветвленная сеть учреждений длительного и кратковременного отдыха, которые находятся в пределах 2-часовой транспортной доступности от крупных городов и промышленных центров. При этом значительно развита рекреационная сеть лечебного, оздоровительного, спортивного и познавательного типов. В настоящее время преобладающим направлением рекреационной деятельности на реках является лечебное и оздоровительное. Вместе с тем, незначительно используются потенциальные резервы природно-рекреационного потенциала акваторий рек для спортивного вида отдыха, хотя существует необходимость увеличения доли освоения природно-рекреационного потенциала рек для спортивного вида отдыха.

В отличие от речных систем, водохранилища преимущественно используются для кратковременного неорганизованного отдыха в радиусе часовой транспортной доступности от городов и крупных населенных пунктов. Потенциальным и наиболее перспективным резервом рекреационного использования водоемов Беларуси являются озера, вокруг которых еще не сложилась развитая инфраструктура учреждений и зон отдыха.

В современное рекреационное использование вовлечены чуть более 50 озер, что соответствует 5 % от их общего количества. В то же время около 1,5 тыс. озер имеют площадь более 1 км² и могут рассматриваться как объекты для отдыха и оздоровления. При этом 84,6 % из

них расположены в бассейне Западной Двины, 2,7 % – в бассейне Днепра, 3,2 % – в бассейне Припяти, 7,7 % – в бассейне Немана, 1,8 % – в бассейне Западного Буга. Элементы рекреационной инфраструктуры представлены на озерах в виде учреждений отдыха длительного и кратковременного пребывания.

Возможности массового развития туризма (в том числе и международного), спорта и рыболовства достаточно велики. Разнообразие водных и околоводных природных систем, среди которых особая роль принадлежит поймам рек, имеет большое значение и в плане организации экологического туризма.

3.4. Основные водно-энергетические параметры проектируемого водохранилища

Параметры водохранилища и режим его эксплуатации устанавливаются на основании данных о притоке воды и наносов. Источником информации служат материалы наблюдений в створе проектируемого гидроузла или в створе, где гидрологический режим изучался в течение длительного времени.

Установление параметров водохранилища (емкости, отдачи и режима его работы) производится на основе анализа режима речного стока. При этом имеется в виду, что колебания фазово-однородных величин стока носят случайный характер, подчиняющийся определенной закономерности лишь в смысле распределения вероятностей. Только внутригодовой ход стока имеет закономерность функционального характера, отчетливо проявляющуюся в циклической смене фаз по временам года.

Гидрологическая основа для расчета (фактические данные) входит в обобщенный расчет в виде устанавливаемых по ним исходных статистических параметров стока и его внутригодового распределения, которые при отсутствии фактических данных определяются также и косвенными путями, применяющимися в гидрологии. Статистические элементы при расчетах по фактическому ряду стока входят, например, при определении среднего объема стока за год, при оценке повторяемости стока и т. д. Особую роль играет введение понятия гарантийности при определении и назначении допустимого числа перебойных лет в фактическом ряду.

Расчеты для обоснования параметров водохранилища заключаются в последовательном определении для ряда заданных вариантов НПУ

оптимальных уровней сработок УМО и соответствующих им величин гарантированной водоотдачи (мощности, годовой выработки электроэнергии, располагаемой и установленной мощностей). После этого обосновывается сама отметка НПУ путем сопоставления технико-экономических показателей вариантов НПУ. Первоначально подобные расчеты, ввиду их большого количества, производятся в сокращенном объеме обобщенными методами.

Расчеты первоначального наполнения водохранилища выполняют, как правило, применительно к многоводным, средним и маловодным условиям. По многоводным условиям устанавливаются темпы роста подпорных сооружений, по средним и маловодным – водно-энергетические показатели ГЭС в период от подъема уровня верхнего бьефа (водохранилища) до проектных отметок (период временной эксплуатации). Для периода временной эксплуатации обычно определяются следующие водно-энергетические показатели ГЭС: годовая выработка электроэнергии в средних по водности условиях, годовая и месячные выработки (мощности) в расчетных маловодных условиях (90 или 95%-ной обеспеченности), располагаемая по напору мощность в расчетных маловодных условиях.

Длительность первоначального наполнения водохранилища зависит от его объема и предстоящих гидрологических условий и может измеряться месяцами или годами. Расчеты первоначального наполнения водохранилища выполняются балансовым методом по смоделированным рядам расходов воды различной водности. Этот способ используется для крупных водохранилищ, наполнение которых возможно осуществить за несколько лет. В случае небольшого объема водохранилищ расчеты обычно проводятся по характерным (по водности) годам.

При моделировании теоретического маловодного периода 90 или 95%-ной обеспеченности из n лет коэффициент изменчивости стока для этого ряда лет (n -летия) определяют по формуле С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля:

$$Cv_n = \frac{cv_r}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{2r_1}{n(1-r_1)} \left(n - \frac{1-r_1^n}{1-r_1} \right)}, \quad (3.1)$$

где Cv_r – коэффициент изменчивости годового стока в створе проектируемого сооружения;

r_1 – коэффициент корреляции между годовым стоком смежных лет.

При $r_1 = 0$ формула упрощается.

Средневодный период в n лет представляет собой повторение средневодного года. Для проведения расчетов первоначального наполнения водохранилища из ряда наблюдений за стоком отбирают годы со среднегодовыми расходами, близкими к среднемуголетнему и среднему за n лет, а затем приводят их к искомому значению путем умножения среднемесячных расходов модели на соответствующие коэффициенты приводки.

За пределами расчетной обеспеченности P отдачи из водохранилища в связи со сработкой полезного объема водохранилища возможны перебои, т. е. снижение отдачи по сравнению с гарантированной. Установление величины снижения отдачи является чрезвычайно важной задачей водохозяйственных расчетов. При сезонном (годовом) регулировании величины отдачи за пределами расчетной обеспеченности устанавливаются на основе кривой обеспеченности меженного или годового естественного стока, так как наполнение и сработка водохранилища сезонного регулирования стока происходит в течение каждого года и на смежные годы влияния не оказывает.

При многолетнем регулировании стока вероятность перебоя отдачи в смежном году повышается. В режиме водохранилищ с большой отдачей длительные периоды нормальной работы могут сменяться группами лет с ограниченной отдачей. Глубина перебоя (дефицит в гарантированной отдаче) бывает различной по перебойным годам и изменяется от нуля до величины, близкой в пределе к годовой отдаче брутто. Величина отдачи за пределами расчетной обеспеченности может быть установлена в этом случае по кривой обеспеченности, отражающей работу водохранилища в течение длительного периода.

Определение вида годового регулирования стока. Вид годового регулирования определяется исходя из условий получения максимальной выработки электрической энергии на ГЭС. Максимальной выработке электроэнергии на ГЭС соответствует оптимальная величина сработки водохранилища $h_{\text{ср. опт}}(\text{м})$, которая находится в пределах

$$h_{\text{ср. опт}} = (0,15 - 0,25)H_1, \quad (3.2)$$

где H_1 – максимальная глубина верхнего бьефа, м.

Фактическая величина сработки $h_{\text{ср. ф}}$ определяется по полезному объему водохранилища. Для определения полезного объема водохранилища строят интегральную кривую притока воды (избыточного стока) к ГЭС (рис. 3.6).

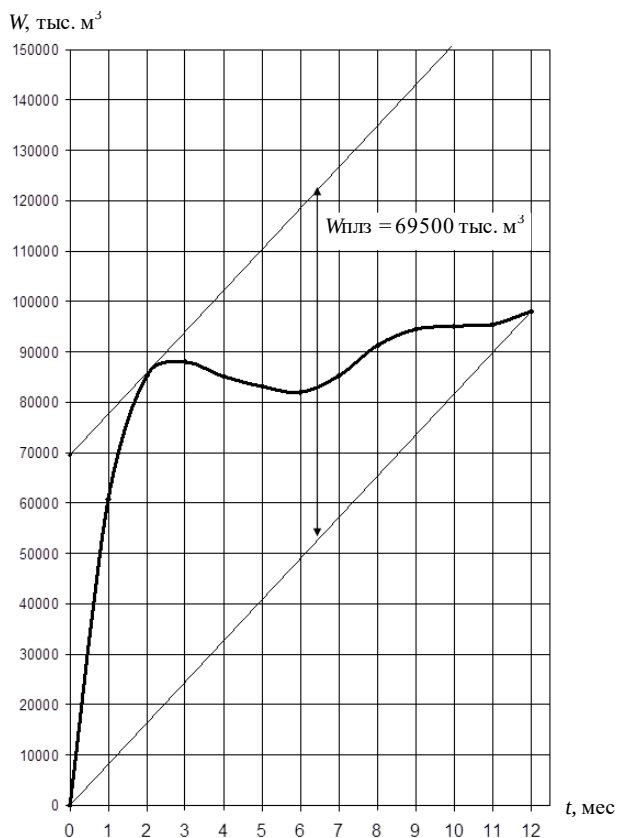


Рис. 3.6. Интегральная кривая притока воды (избыточного стока) к ГЭС

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 годичного регулирования стока $W_{\text{плз}}$.

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 осуществле-

ния полного годичного регулирования стока, если $h_{\text{ср. ф}} > h_{\text{ср. опт}}$, то принимается неполное годичное регулирование стока. В этом случае за полезный принимается объем водохранилища, соответствующий оптимальной величине сработки $h_{\text{ср. опт}}$.

Определение зарегулированного расхода и расчетного напора.

Величина зарегулированного расхода ($\text{м}^3/\text{с}$) при полном годичном регулировании стока равна среднегодовому расходу избыточного стока

$$Q_{\text{зар}} = W_{\text{г. изб}} / T, \quad (3.3)$$

где $W_{\text{г. изб}}$ – суммарный избыточный годовой сток, м^3 ;

T – число секунд в году ($T = 31,536 \cdot 10^6 \text{ с}$).

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 $W_{\text{вб}}$ определяется по топографической характеристике в соответствии с объемами воды в водохранилище на конец каждого расчетного периода, объем воды в водохранилище за каждый расчетный период $W_{\text{вх}}$ – как сумма мертвого объема $W_{\text{м.о}}$ и избыточного за соответствующий расчетный период $W_{\text{изб. i}}$.

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

$$Q_{\text{нб}} = Q_{\text{зар}} + Q_{\text{с. п}}, \quad (3.4)$$

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

Разность уровней бьефов дает напор за соответствующий расчетный период.

За расчетный принимают средневзвешенный напор $H_{\text{ср. взв}}$ (м):

$$H_{\text{р}} = H_{\text{ср. взв}} = \Sigma H_i / 12. \quad (3.5)$$

Расчет располагаемых мощностей ГЭС, среднесуточной и пиковой обеспеченностей мощности ГЭС, расчетного расхода. Располагаемые мощности N (кВт) определяют по формуле

$$N = 9,81 Q_{\text{зар}} H_i \eta_a, \quad (3.6)$$

где η_a – КПД агрегата ($\eta_a = \eta_{\text{г}} \eta_{\text{г}}$).

Коэффициент полезного действия турбины (η_T) можно принять равным 0,80–0,85, генератора (η_G) – 0,90–0,92.

Поскольку предусматривается годовичное 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 $\mathcal{E}_{\text{сут}}$ (кВт·ч):

$$\mathcal{E}_{\text{сут}} = 24 N_{\text{ср. сут}}^p \quad (3.7)$$

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

Наиболее просто эта задача решается с помощью анализирующей кривой графика нагрузки энергосистемы (рис. 3.7). График суточной нагрузки энергосистемы изменяется по часам в зависимости от потребляемой электроэнергии. Для его построения можно использовать следующее выражение по определению нагрузки на энергосистему P_i (кВт):

$$P_i = k_i N_{\text{ср. сут}}^p \quad (3.8)$$

где k_i – коэффициенты, принимаемые по заданию.

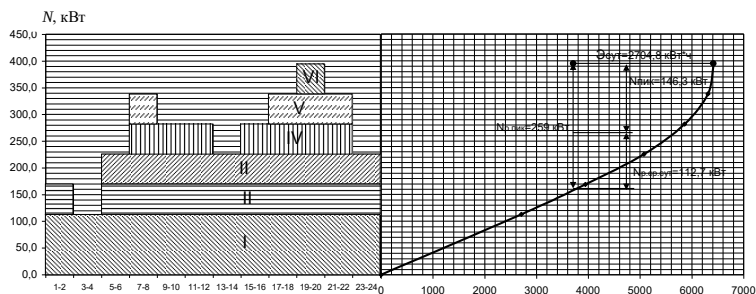


Рис. 3.7. График суточной нагрузки энергосистемы и его анализирующая кривая

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 $N_{\text{ср.сут.}}^p$. Тогда установленная рабочая гарантированная мощность ГЭС (кВт) будет равна

$$N_{\text{уст}} = N_{\text{пик}}^p + N_{\text{баз}} + N_{\text{рез}}, \quad (3.9)$$

где $N_{\text{пик}}^p$ – пиковая обеспеченная мощность, которая создается 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

$$N_{\text{пик}}^p = N_{\text{ср.сут.}}^p + N_{\text{пик}}, \quad (3.10)$$

где $N_{\text{ср.сут.}}^p$ – среднесуточная обеспеченная мощность, которая создается за счет среднесуточного зарегулированного расхода, кВт;

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

Величина базисной мощности определяется по формуле

$$N_{\text{баз}} = 9,81 Q_{\text{с.п}} H_p \eta_a, \quad (3.11)$$

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

H_p – расчетный напор, м;

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

Расчетный расход ГЭС $Q_{\text{ГЭС}}$ (м³/с) определяют по формуле

$$Q_{\text{ГЭС}} = Q_p = \frac{N_{\text{уст}}}{(9,81 H_p \eta_a)}. \quad (3.12)$$

4. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОТОКОВ И ВОДОЕМОВ

Качество воды природных водных объектов формируется под влиянием комплекса факторов природного и антропогенного происхождения.

Факторы естественного происхождения, как правило, обусловлены природным содержанием отдельных загрязняющих веществ в воде и почве. К таким показателям относятся железо и марганец, реже барий, кремний и бор. Почти повсеместно содержание железа в подземных водах республики превышает нормы, установленные для питьевого водоснабжения. В бассейнах рек Республики Беларусь к таким показателям относятся железо, марганец и медь.

К группе факторов антропогенного воздействия относятся:

- сброс хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод;
- вынос загрязняющих веществ поверхностными, грунтовыми и сточными водами с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий;
- поступление загрязняющих веществ от рассредоточенных на водосборной площади бассейнов рек животноводческих комплексов, складов хранения ядохимикатов, минеральных удобрений, нефтепродуктов и других экологически опасных объектов;
- выпадение загрязненных атмосферных осадков;
- трансграничный перенос загрязняющих веществ.

Так называемый диффузный сток является источником загрязнения водных ресурсов вследствие поступления загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты с сельскохозяйственных угодий и от животноводческих комплексов. Одним из основных видов загрязнений, формирующихся на речном водосборе в процессе сельскохозяйственной деятельности, является загрязнение биогенными элементами – соединениями азота и фосфора.

Отходы животноводства и сточные воды животноводческих комплексов являются одним из существенных источников загрязнения поверхностных и подземных вод. Количество загрязнений, поступающих в водные объекты, определяется мощностью объектов животноводства, выходом твердых и жидких отходов и их составом. Не обезвреженные навозосодержащие стоки и отходы животноводства являются одним из наиболее опасных источников загрязнения водных экосистем.

Годовой вынос соединений азота и фосфора с сельскохозяйственных земель в водные объекты складывается в результате взаимодействия естественных геохимических процессов, определяющих фоновые величины выноса, применения средств химизации и внесения на поля удобрений, а также поступления биогенных веществ с атмосферными осадками.

Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами установлены нормы качества воды по основным санитарным показателям для водоемов двух видов водопользования:

- к первому виду относятся участки водоемов, используемые в качестве источников централизованного или нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности;

- ко второму виду относятся участки водоемов, используемые для спорта, купания и отдыха населения, а также водоемы в черте населенных пунктов.

К основным нормативам качества воды относятся следующие:

- *взвешенные вещества*. Содержание взвешенных веществ в воде после спуска сточных вод не должно увеличиваться больше, чем на 0,25 мг/л для водоема первого вида и на 0,75 мг/л для водоема второго вида. Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных взвесей, допускается увеличение концентрации взвешенных веществ в воде до 5 %;

- *плавающие примеси*. На поверхности водоема не должно быть плавающих пленок, пятен минеральных масел и скопления других примесей;

- *запахи и привкусы*. Вода не должна приобретать запахов и привкусов интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемых в водоемах первого вида непосредственно или при хлорировании и в водоемах второго вида непосредственно;

- *окраска*. Окраска не должна обнаруживаться в столбике воды высотой 20 и 10 см для водоемов первого и второго видов;

- *температура*. Летняя температура воды в результате спуска сточных вод не должна повышаться более чем на 3 °С;

- *активная реакция*. Водородный показатель (рН) воды водоема после смешения со сточными водами не должна выходить за пределы 6,5–8,5;

- *минеральный состав*. Для водоемов первого вида он не должен превышать по плотному остатку 1000 мг/л, в том числе хлоридов – 350 мг/л и сульфатов 500 мг/л; для водоемов второго вида минеральный состав нормируется по показателю «Привкусы»;

– *растворенный кислород*. В воде водоема после смешения со сточными водами количество растворенного кислорода не должно быть менее 4 мг/л в любой период года в пробе, взятой до 12 ч дня;

– *биохимическая потребность в кислороде*. Полная потребность воды в кислороде при 20 °С не должна превышать 3 и 6 мг/л для водоемов первого и второго видов соответственно. Возбудители заболеваний не должны содержаться в воде. Методы предварительной очистки и обеззараживания сточных вод согласовываются в каждом отдельном случае с органами Государственного санитарного надзора;

– *ядовитые примеси*. Не должны находиться в концентрациях, которые могут оказать прямое или косвенное вредное действие на здоровье людей.

Разбавление сточных вод, внесенных в проточный водоем, происходит по мере их перемещения вниз по течению и смешения с возрастающим потоком. Концентрация загрязнений при этом снижается обратно пропорционально кратности разбавления n , величина которой в общем виде определена формулой

$$n = \frac{Q + q}{q}, \quad (4.1)$$

где Q – расход воды в реке в створе выпуска сточных вод при 95%-ной обеспеченности, м³/с;

q – расход сточных вод, м²/с.

Концентрация загрязнений по поперечному сечению загрязненной зоны потока неодинакова. В ней имеется струя с максимальной концентрацией загрязнения $C_{\max}$ и струя с минимальной концентрацией $C_{\min}$. На некотором расстоянии L от места выпуска воды смешиваются с общим расходом реки ($Q_{\text{см}} = Q_L$). Неодинаковая концентрация загрязнений выше створа полного смешения обусловлена тем, что отдельные струи смешиваются с неодинаковым количеством чистой воды. Поэтому расчеты производят для наиболее неблагоприятного случая, т. е. на минимальную часть расхода реки $Q_{\text{см}}$, которая обуславливает разбавление сточных вод в максимально загрязненной части потока. Эту часть расхода реки, которая характеризуется коэффициентом смешения α , определяют по формуле

$$\alpha = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}, \quad (4.2)$$

где L – расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа по фарватеру реки, м.

Коэффициент α , учитывающий гидравлические факторы смещения, определяют по формуле

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt[3]{\frac{E}{q}}, \quad (4.3)$$

где φ – коэффициент извилистости русла реки (отношение длины между двумя пунктами по фарватеру к длине по прямой);

ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод; принимается для берегового выпуска равным 1, а для выпуска в фарватер – 1,5;

E – коэффициент турбулентной диффузии, величина которого для равнинных рек определяют по формуле

$$E = \frac{V_{\text{ср}} H_{\text{ср}}}{200}, \quad (4.4)$$

здесь $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения реки, м/сек;

$H_{\text{ср}}$ – средняя глубина реки, м.

С учетом коэффициента смещения кратность разбавления n в расчетных створах теперь необходимо определять по формуле

$$n = \frac{\alpha Q + q}{q}. \quad (4.5)$$

Разбавление сточных вод в водохранилищах и озерах обусловлено перемещением водных масс в основном под действием ветровых течений. При установившемся движении в результате длительного действия ветра одного направления создается своеобразное распределение течений. В поверхностном слое, составляющем около 0,4 общей глубины водохранилища H , течение имеет одинаковое направление с ветром и скорость, изменяющуюся от V_0 на поверхности до нуля на глубине $0,4H$. Ниже размещается слой компенсационного течения противоположного направления.

Так как верхние слои воды по мере продвижения встречаются с новыми слоями, движущимися в обратном направлении, при расчетах нужно учитывать и последующие движения потока. Полное разбавление сточных вод является результатом совместного влияния начального разбавления, происходящего в пункте выпуска сточных вод, и основного, продолжающегося по мере продвижения сточных вод от места выпуска.

Необходимую степень очистки сточных вод перед выпуском в водоем определяют применительно к приведенным выше показателям

вредности. Чтобы правильно определить необходимую степень очистки сточных вод, нужно иметь исчерпывающие данные о количестве сточных вод и их составе, а также материалы обследований водоема, характеризующие его существующие и перспективные гидрологические и санитарные условия. Необходимая степень очистки сточных вод выражается уравнением

$$C_{\text{ст}}q + C_p\alpha Q \leq (\alpha Q + q)C_{\text{пдк}}, \quad (4.6)$$

где $C_{\text{ст}}q$ – концентрация загрязнений в сточных водах, с которой они могут быть спущены в водоем, г/м³;

C_p – концентрация загрязнений в водоеме выше места выпуска сточных вод, г/м³;

Q – расход воды в водоеме, м³/с;

Q – количество сточных вод, м³/с;

α – коэффициент смешения;

$C_{\text{пдк}}$ – предельно допустимая концентрация загрязнений в расчетном створе, г/м³.

После соответствующих преобразований уравнения получают:

$$C_{\text{ст}} \leq \frac{\alpha Q}{q} (C_{\text{пр}} - C_p) + C_{\text{пр. д.}} \quad (4.7)$$

Величины C_p , α и Q определяют на основании изысканий или по данным органов гидрометеорологической службы. Створы ближайших пунктов водопользования устанавливаются органами Государственного надзора с учетом данных о перспективах использования водоема.

Кроме определения величины $C_{\text{ст}}$, при проектировании следует определять концентрацию загрязнений в максимально загрязненной струе выше расчетного створа и сопоставлять ее с требованиями, предъявляемыми к качеству воды водопользователями, расположенными на этом участке реки. Если концентрация загрязнений выше приемлемой для водопользователей, величину $C_{\text{ст}}$ нужно, соответственно, уменьшить.

При спуске в водоемы сточных вод, содержащих несколько вредных веществ, учитывают комплексное действие этих веществ. В одних случаях токсическое действие одного вредного вещества ослабляется присутствием другого вредного или безвредного вещества. В других случаях оно резко усиливается, а при наличии вредных веществ, имеющих такой же лимитирующий показатель вредности, – суммируется. Суммарное действие токсичных соединений является наиболее част-

ным случаем, поэтому при сбросе в водоем сточных вод, содержащих несколько вредных веществ с одинаковыми показателями вредности, предельно допустимую концентрацию каждого из них нужно уменьшить пропорционально числу таких веществ.

Часто производственные сточные воды содержат вредные вещества, относящиеся по действию к различным группам вредности. В этих случаях их предельно допустимую концентрацию определяют по каждой группе в отдельности.

Данные группы – группы лимитирующего показателя вредности (ЛПВ) – распределены:

– на группу санитарно-токсикологического ЛПВ, куда входят хлориды, сульфаты и нитраты, для которых должно выполняться условие

$$\frac{C_{\text{Cl}}}{\text{ПДК}_{\text{Cl}}} + \frac{C_{\text{SO}_4}}{\text{ПДК}_{\text{SO}_4}} + \frac{C_{\text{NO}_3}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_3}} \leq 1. \quad (4.8)$$

– группу рыбохозяйственного ЛПВ, в которой одно загрязняющее вещество – нефтепродукты (НП), для которых должно выполняться условие

$$\frac{C_{\text{НП}}}{\text{ПДК}_{\text{НП}}} \leq 1. \quad (4.9)$$

– группу общесанитарного ЛПВ, в которой содержится также ингредиент – БПК_{полн}, для которого должно выполняться условие

$$\frac{C_{\text{БПК}}}{\text{ПДК}_{\text{БПК}}} \leq 1. \quad (4.10)$$

– группу токсикологического ЛПВ, в которой два вещества – аммонийный ион (NH_4^+) и нитраты (NO_2^-), для которых должно выполняться условие

$$\frac{C_{\text{NH}_4}}{\text{ПДК}_{\text{NH}_4}} + \frac{C_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} \leq 1. \quad (4.11)$$

– группу органолептического ЛПВ, в которой содержатся два ингредиента – железо (Ж) и синтетические поверхностно активные вещества (СПАВ), для которых должно выполняться условие

$$\frac{C_{\text{Ж}}}{\text{ПДК}_{\text{Ж}}} + \frac{C_{\text{спав}}}{\text{ПДК}_{\text{спав}}} \leq 1. \quad (4.12)$$

– группу, куда входят взвешенные вещества. Содержание взвешенных веществ в створе смешения не должно увеличиваться более чем на 0,75 мг/л по сравнению с фоном реки – C_p .

Под предельно допустимым сбросом (ПДС) загрязняющих веществ в природный объект понимается масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте. Предельно допустимый сброс устанавливается с учетом предельно допустимых концентраций $C_{пр. доп}$ веществ в местах водопользования и ассимилирующей способности водного объекта.

Предельно допустимый сброс определяется для всех категорий водопользователей как произведение расхода сточных вод q ($m^3/ч$) и концентрации вещества $C_{пр. доп}$ (мг/л) в сточных водах:

$$ПДС = q_{ст. воды} C_{пр. доп} \quad (4.13)$$

Единица измерения количественного значения ПДС – граммов в час (г/ч).

Экологическая оценка использования водотоков и водоемов. В настоящее время мониторинг экологического состояния поверхностных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям проводится в 297 пунктах наблюдений, включая 31 трансграничный участок водотоков. Регулярными наблюдениями охвачены 160 водных объектов, в том числе 86 рек и 74 водоема.

Наблюдения за гидрологическим режимом проводятся на 109 пунктах гидрологических наблюдений (далее – гидрологических постах), в том числе 99 гидрологических постов – на реках (из них 85 – стоковые, 14 – уровенные, 21 – реперный), и 10 гидрологических постов – на озерах и водохранилищах (из них 6 – реперных). Существующая сеть гидрологических постов предназначена для проведения наблюдений и получения данных о состоянии поверхностных водных объектов и их водных ресурсах с целью изучения гидрологического режима, ведения государственного водного кадастра, оценки влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и трансграничного массопереноса загрязняющих веществ, обеспечения потребителей первичными гидрологическими данными, фактической и прогностической гидрологической информацией.

В Республике Беларусь функционируют 7 автоматизированных гидрологических постов (6 постов в бассейне р. Припять и 1 пост в бассейне р. Вилия).

Проводится взаимный обмен информацией по трансграничным водотокам с соседними государствами (Россия, Украина, Польша, Литва, Латвия).

Многолетние ряды наблюдений за состоянием поверхностных вод республики показывают, что на протяжении последних лет существует ряд проблемных водотоков и озер. Антропогенному влиянию в наибольшей степени подвержены водные объекты в бассейнах рек Западный Буг, Припять и Днепр. Приоритетными веществами, избыточные концентрации которых чаще других фиксировались в воде водных объектов Республики Беларусь, являются биогенные элементы – соединения азота и фосфора, поступающие от различных источников (сточные воды промышленности и коммунального хозяйства, поверхностные сточные воды с территорий животноводческих ферм, неканализованных территорий и с сельскохозяйственных угодий (избытки органических и минеральных удобрений)), реже – органические вещества и тяжелые металлы.

Указанный перечень проблемных водных объектов не меняется на протяжении ряда лет, что свидетельствует о необходимости разработки водоохранных мероприятий для этих водных объектов. При сложившейся системе общего подхода к проведению наблюдений, в частности, выбора одинакового набора показателей, невозможно точно определить конкретный вид источника загрязнения.

Для определения, какой именно источник поступления биогенных элементов в водные объекты оказывает воздействие на состояние водных объектов, необходимо провести комплекс дополнительных исследований по данным проблемным водным объектам.

В настоящее время объектом мониторинга поверхностных вод являются только воды. Необходимо включение донных отложений как интегрального показателя загрязнения водных экосистем в национальную практику мониторинга поверхностных вод.

Мировая практика показывает, что необходимо проводить также мониторинг особо опасных загрязняющих веществ (приоритетные загрязнители), микроскопические дозы которых в воде оказывают резко негативное воздействие на водные биоценозы, здоровье человека и состояние водных экосистем в целом.

Естественные колебания характеристик гидрологического режима водных объектов приводят к возникновению рисков негативного воздействия вод на население, производственные объекты и объекты инфраструктуры.

Риск наводнений и иного негативного воздействия вод будет сохраняться и усиливаться в будущем в связи с учащением опасных гидрологических явлений в новых климатических условиях и продолжающимся антропогенным освоением территорий, что также требует увеличения количества автоматических гидрологических постов в составе государственной сети гидрометеорологических наблюдений для целей повышения качества гидрологических прогнозов.

Для повышения оперативности использования данных наблюдений гидрологических постов необходимо техническое перевооружение государственной сети гидрометеорологических наблюдений, установка приборов и оборудования, на основании новейших технических достижений, в том числе внедрение на сети автоматизированных гидрологических комплексов.

За последние годы в условиях изменяющегося климата существенное влияние на качество воды поверхностных водных объектов оказывали сложившиеся погодно-климатические условия. Аномально сухая погода с повышенным температурным режимом, низкие уровни воды в реках и озерах, чередующиеся с выходом воды на пойму в результате дождевых паводков, сказываются на дефиците кислорода (приводит к заморам рыб), повышенном содержании биогенных и органических веществ, колебаниях концентраций тяжелых металлов и т. д.

В связи с этим необходимо проводить в качестве стратегического направления изучение влияния изменения климата на качество поверхностных вод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волчек, А. А. Гидрологические и водохозяйственные расчеты: учеб.-метод. пособие / А. А. Волчек. – Горки: БГСХА, 2015. – 294 с.
2. Картвелишвили, Н. А. Регулирование речного стока / Н. А. Картвелишвили // Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. – 215 с.
3. Арсеньев, Г. С. Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. Учебник / Г. С. Арсеньев. – Санкт-Петербург: Изд-во РГМУ, 2005. – 231 с.
4. Железняков, Г. В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г. В. Железняков, Т. А. Неговская, Е. Е. Овчаров; под ред. Г. В. Железнякова. – Москва: Колос, 1984. – 205 с.
5. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их возможные изменения / А. А. Волчек, Л. В. Образцов, С. И. Парфомул // Вучоныя запіскі – Брэст, 2015. – Вып. 11, ч. 2. – С. 96–103.
6. Волчек, А. А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А. А. Волчек // Науч.-тех. информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР), 1986. – № 12. – С. 17–21.
7. Волчек, А. А. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) / А. А. Волчек, С. И. Парфомул // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Екатеринбург, 2007. – № 1. – С. 50–62.
8. Оптимизация режимной гидрологической сети Беларуси / В. Ф. Логино в [и др.] // Природопользование: сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии; под ред. И. И. Лиштвана, В. Ф. Логинова. – Минск, 2006. – Вып. 12. – С. 51–57.
9. Стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года. – Минск, 2018. – 35 с.
10. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Комплексная оценка экологического риска и расчет норм допустимых рекреационных нагрузок на водоемы в зонах отдыха Беларуси = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідрасфера. Комплексная ацэнка экалагічнай рызыкі і разлік нормаў дапушчальных рэкрэацыйных нагрузкаў на вадаёмы ў зонах адпачынку Беларусі: ТКП 17.06-17-2018 (33140). – Введ. 01.06.19. – Минск: Минприроды, 2019. – 19 с.
11. Савичев, О. Г. Регулирование речного стока: учеб. пособие / О. Г. Савичев, С. Ю. Краснощеков, Н. Г. Наливайко // Томский политех. ун-т. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2009. – 114 с.
12. Колобаев, А. Н. Рациональное использование и охрана водных ресурсов: учеб. пособие / А. Н. Колобаев. – Минск: БНТУ, 2004. – 430 с.
13. Яковлев, С. В. Комплексное использование водных ресурсов: учеб. пособие / С. В. Яковлев, И. Г. Губий, И. И. Павлинова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высш. шк., 2008. – 383 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ.....	6
1.1. Введение в курс «Комплексное использование водных ресурсов»	6
1.2. Водные ресурсы и их характеристика.....	39
1.3. Планирование использования водных ресурсов.....	58
1.4. Водохозяйственные балансы как основа планирования использования водных ресурсов и развития водного хозяйства	136
1.5. Особенности гидроэнергетики как участника водохозяйственного комплекса.....	161
1.6. Гидросиловое оборудование гидроэлектрических станций	169
1.7. Подбор гидротурбин и компоновка ГЭС	179
1.8. Современное санитарное состояние водных ресурсов и основные источники загрязнения.....	205
1.9. Основные показатели качества природных вод.....	215
1.10. Организация контроля качества воды природных источников.....	223
2. ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	229
2.1. Охрана водных ресурсов от загрязнения, засорения и истощения	229
2.2. Проблемы использования водных ресурсов малых рек	258
2.3. Учет использования водных ресурсов	272
2.4. Водохозяйственный комплекс.....	275
2.5. Технико-экономическое обоснование водохозяйственных комплексов	287
3. ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ.....	299
3.1. Регулирование стока при комплексном использовании водных ресурсов.....	299
3.2. Последствия и влияние водохозяйственного строительства на окружающую среду	305
3.3. Водные ресурсы бассейнов рек и перспектива их использования.....	309
3.4. Основные водно-энергетические параметры проектируемого водохранилища.....	314
4. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОТОКОВ И ВОДОЕМОВ.....	321
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	330

Учебное издание

Курсаков Владимир Кононович
Лукашевич Виктор Михайлович
Левшунов Иван Александрович и др.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Учебно-методическое пособие

Редактор *О. Н. Минакова*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 09.11.2022. Формат 60×84^{1/16}. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 19,29. Уч.-изд. л. 18,13.
Тираж 60 экз. Заказ .

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

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