

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии

На правах рукописи
УДК 556+626.31+626.8(575.3)

ШАРИПОВ Комрон Идиевич

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕКИ ВАХШ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 25.00.27 - Гидрология суши, водные ресурсы,
гидрохимия

Научный руководитель:

кандидат технических наук,

Гулахмадов Аминджон Абдуджабборович

Душанбе – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ		Стр.
	ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
	ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1.	ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ	13
1.1.	Аналитическое описание возобновляемых источников энергии	13
1.2.	Эффективность производства гидроэнергетических ресурсов	25
1.3.	Особенности используемых гидроэнергетических Ресурсов	33
	Выводы к первой главе	42
Глава 2.	РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА ДЛЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ВАХШ И НУРЕКСКОЙ ГЭС РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН)	44
2.1.	Обобщение понятия гидроэлектростанции	44
2.2.	Обзор основных методов расчётов регулирования стока	56
2.3.	Технико-экономические показатели и рациональное использование энергоресурсов	72
	Выводы к второй главе	81
Глава 3.	АНАЛИЗ И ПОДСЧЁТ ПОТЕНЦИАЛА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	82
3.1.	Методы составления и анализа энергетических балансовых уравнений	82
3.2.	Режим, нагрузка, графическое представление и интегральная кривая продолжительности нагрузки	86

3.3. Анализ и подсчёт годовой нагрузки электроэнергетической системы	89
Выводы к третьей главе	96
Глава 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	97
4.1. Математическая модель оптимизируемого режима энергосистемы	97
4.2. Математическое описание процессов стока и водно- энергетические расчёты методом Монте-Карло	101
4.3. Линейные модели стока с сосредоточенными параметрами	105
4.4. Моделирование сезонного и многолетнего процесса регулирования стока реки Вахш каскадом гидроэлектростанций	112
Выводы к четвёртой главе	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ	133
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	135
ПРИЛОЖЕНИЯ	149

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВЭС – Ветровая электростанция

ГЭС – Гидроэлектростанция

Ед. – Единица

ИВЭ – Источники возобновляемой энергии

ИККН – Интегральная кривая календарной нагрузки

ИКПН – Интегральная кривая продолжительности нагрузки

кВт – Киловатт

ККН – Кривая календарной нагрузки

Коэфф. – Коэффициент

Матем. – Математически

МВт – Мегаватт

Млн. т.у.т. – Миллион тонн условного топлива

МПУ – Максимальный подпорный уровень

НПУ – Наивысший подпорный уровень

ОРУ – Открытое распределительное устройство

Рис – Рисунок

РТ – Республика Таджикистан

РУ – Распределительное устройство

СНГ – Содружество Независимых Государств

ТЭС – Теплоэлектростанция

УМО – Уровень мёртвого объёма

ФПУ – Форсированный подпорный уровень

ШОС – Шанхайская организация сотрудничества

ЭЭС – Электроэнергетическая система

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Моделирование процессов речного стока, взаимообусловленное с энергетическими особенностями и периодическими изменениями климата, играют главную роль в обеспечении энергетической независимости и экологической безопасности стран Центральной Азии, в частности Республики Таджикистан (РТ), где образуется 60% водного стока бассейна Аральского моря. Предшествующий анализ климатических изменений в речных бассейнах РТ определили особые механизмы регулирования речного стока. При этом река Вахш - одна из главных водных артерий РТ, где Нурекский гидроузел является флагманом гидроэнергетики Таджикистана, бесперебойно используется для энергетики и ирригации страны.

Планируется завершение строительства Рогунской ГЭС по р. Вахш к 2029 г., что продлит жизнь Нурекского гидроузла на несколько десятилетий, и будет способствовать ускоренному темпу индустриализации страны. Темпы индустриализации даёт развитие промышленности и экономике, растёт рынок труда, создаются сотни тысяч новых рабочих мест.

Река Вахш отличается от других речных бассейнов республики. Отличительными чертами реки являются ее специфические и энергетические особенности. При этом Нурекская ГЭС является ее главной и надежной опорой в энергообеспечении нашей страны.

Степень изученности научной работы. Большая часть ранее проведенных исследований такими учёными, как Маматканов Д.М. (2006-2015 гг.), Кобулиев З.В. (2000-2020 гг.), Саидов И.И. (2012-2015 гг.), Муртазаев У.И. (2006 г.), Гулахмадов А.А. (2020-2021 гг.), Мухаббатов Х.М. (2004 г.), Петров Г.Н. (2012 г.), Авакян А.Б. (1987 г.), Сарсембеков Т.Т. (2004 г.), Усубалиев Е.У. (2000 г.), Наврузов С.Т. (1990 г.), Исаев Р.С. (2004 г.), Журавлев В.Г. (1978 г.), Крицкий С.Н. (1952 г.), Леви И.И. (1968 г.), Менкель М.Ф. (1952 г.), Данилов-Данильян В.И. (2010 г.) и др. посвящены различным

аспектам регулирования, использования и охраны водных ресурсов, но не затрагивают специфических особенностей регулирования речного стока.

Обзор научно-исследовательских работ по использованию гидроэнергетических ресурсов Центральной Азии показал, что вопросы досконального изучения гидрологического режима и управления водного стока речных бассейнов, в частности Таджикистана и в целом Центрально-Азиатского региона, рассмотрены недостаточно, при этом не уделено достаточного внимания вопросу изменения климата. Вследствии чего работа посвящена решению этих актуальных проблем.

Связь темы диссертации с научными программами. Работа выполнена в соответствии с задачами реализации программ, которые ранее были приняты Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций на основании инициативы Республики Таджикистан, включая резолюции: Объявление 2003 г. «Международным годом пресной воды» (Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 20 декабря 2000 г., 55/196); Объявление 2005-2015 гг. Международным десятилетием действий «Вода для жизни» (Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 23 декабря 2003 г., 58/217, 58-я сессия); Объявление 2013 г. Международным годом водного сотрудничества (Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 20 декабря 2010 г., 65/154, 65-я сессия) и объявление 2018-2028 гг. Международным десятилетием действий «Вода для устойчивого развития» (Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 21 декабря 2016 г., 71/222, 71-я сессия). Также Концепции по рациональному использованию и охране водных ресурсов Республики Таджикистан (Постановление Правительства РТ от 01 декабря 2001 г.), Программа реформы водного сектора Таджикистана на период 2016-2025 годы (Постановление Правительства РТ от 30 декабря 2015 года, №791) и Национальной стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года.

Соответственно, диссертационная работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ Института водных проблем,

гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана по теме ГР 0118ТJ00865 «Оптимизация взаимосвязи воды, продовольствия, энергии и экологии в условиях климатических изменений», ГР 0120ТJ01029 «Проблемы формирования и регулирования твёрдого стока на водных объектах Таджикистана и пути их разрешения», и ГР 0120ТJ01028 «Стратегия развития и оптимизация баланса энергоресурсов».

Цель и задачи исследования. Целью исследования является выявление особенностей регулирования водного стока бассейна реки Вахш с учетом физических закономерностей в изменчивости водного режима речных бассейнов для обеспечения экологической безопасности и энергетической независимости РТ.

Для реализации этой цели были определены следующие **задачи**:

1. Анализ проблем распределения, сбережения и использования гидроэнергетических ресурсов бассейна реки Вахш.
2. Формулирование предшествующих оценок, возобновляемых источников энергии, гидроэнергетических ресурсов бассейна реки Вахш в соединении периодического и климатического изменения за 1960 – 2020 гг.
3. Адекватное формулирование оценки осуществляемой, возможной и прогнозируемой внутригодовой выработки экологически чистой энергии при различных климатических и периодических изменениях на период до 2050 г.
4. Определение критериев рационального использования гидроэнергетических ресурсов по бассейну реки Вахш, в секторах экономики Республики Таджикистан.
5. Прогнозирование внутригодовой выработки электроэнергии на Нурекском гидроузле.
6. Разработка математической модели максимальной нагрузки Нурекской ГЭС с анализом балансовых уравнений и реализацией методов баланса и вероятностного расчета, при разработки оптимального и линейного моделирования по регулированию стока реки Вахш.

Предметом исследования являются водные ресурсы бассейна реки Вахш.

Объектом исследования является Нурекский гидроузел Республики Таджикистан.

Методы исследования. Основными методами исследования являются системный и сравнительный анализы статистических, натурных и экспедиционных материалов, собственных и ранее опубликованных разработок, нормативно-правовых документов и информационно – справочных материалов РТ, Конвенций и международных договоров, документов СНГ, Евро-АзЭС, ШОС и др.

Информационной базой данного исследования являлись официальные, статистические и аналитические материалы.

Научная новизна диссертационного исследования содержится в следующих научных результатах:

1. Определены энергетические и специфические особенности образования гидрологического режима горных водотоков по бассейнам рек (на примере бассейна реки Вахш и Нурекского гидроузла), а также элементы гидроэнергетического баланса под воздействием периодических климатических изменений.

2. Разработаны модели рационального использования гидроэнергетических ресурсов бассейна реки Вахш и дана прогностическая оценка внутригодовой выработки экологически чистой электроэнергии при различных климатических изменениях.

3. Дана оценка возможным колебаниям нагрузки при внутригодовой выработке экологически чистой электроэнергии в разных диапазонах зарегулированного стока реки Вахш для различных климатических периодов.

4. Проведен анализ ресурсов гидроэнергетического потенциала и энергетических ресурсов малой гидроэнергетики Таджикистана.

Практическая значимость результатов исследований заключается в следующем:

1. Обработана номограмма для расчета вероятности аварийного простоя в электроэнергетической системе (ЭЭС).

2. Усовершенствована информационно-методическая база, результаты которой могут быть использованы при разработке проектов, направленных на обеспечение рационального водопользования.

3. Показана эффективность применения гидроэнергетического потенциала и энергетических ресурсов малой гидроэнергетики Республики Таджикистана.

Реализация результатов исследований. Основные результаты диссертационной работы:

- внедрены в Открытой акционерной холдинговой компании (ОАХК) «Барки Таджик» и РГУППИ «Нурофар» при Министерстве энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан при разработке комплексной схемы и составлении исходных требований к проектированию водных объектов на 2020-2024 гг, при Секретариате Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Международного фонда спасения Арала;

- использованы в Министерстве энергетики и водных ресурсов РТ, Комитете по охране окружающей среды и Агентстве по мелиорации и ирригации при Правительстве РТ для обоснования и реформирования водного сектора и развития ирригации;

- положены в основу выполнения научно-технической программы «Комплексное использование водных ресурсов трансграничных рек бассейна Аральского моря в интересах гидроэнергетики и ирригации» (2013-2017 гг.);

- материалы диссертации использованы в учебном процессе Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа и предшествующая оценка гидроэнергетических ресурсов бассейна реки Вахш и возобновляемых источников энергии,

взаимосвязанные с периодическими и климатическими изменениями, за 1960-2020 гг.

2. Обработанная концепция обеспечения экологически чистой энергией, водоснабжением и водного обустройства территорий на основе общей закономерности управления ресурсами горных рек на примере реки Вахш и Нурекской ГЭС.

3. Математическая модель определения максимальной нагрузки гидроэлектростанции при недостаточных мощностях в электроэнергетической системе.

4. Оценка осуществляемого и возможного управления гидроэнергетическими ресурсами бассейна реки Вахш, а также внутригодовой выработки экологически чистой электроэнергии, взаимосвязанные с параметрами периодического изменения климата.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Научные положения, приведенные в диссертации, соответствуют области исследований специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия: п.3. - Проблемы региональной гидрологии, подобия и различия водосборных территорий по условиям формирования речного стока, генезиса составляющих стока, физической и схоластической природы колебаний водности рек, пространственно-временной изменчивости региональных и местных водных ресурсов; п.11. - Разработка методов расчета и прогноза характеристик стока воды, взвешенных и влекомых наносов, растворенных веществ для разного ранга водосборных территорий; изменчивости речного стока, характеристик русловых, устьевых и лимнологических процессов; методы оценки влияния хозяйственной деятельности (многолетнее и сезонное регулирование, изъятие стока, агро-и лесотехнические мероприятия) на сток и гидрологические процессы; п.12. - Разработка методов математического моделирования гидрологических и гидрохимических процессов.

Личный вклад автора состоит в выборе задач исследований, путей и способов их решения, формулировании и обосновании научных положений управлением регулирования стока речных бассейнов, проведении полевых и экспедиционных работ, анализе полученных результатов с выдачей аргументированных практических рекомендаций и публикации основных результатов исследований единолично и в соавторстве.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы были доложены на: Международной научно-практической конференции «Энергетический комплекс Таджикистана. Проблемы и перспективы устойчивого развития» (Душанбе, 2008 г.); республиканской НПК «Методы повышения качества и целесообразности процессов производства», (Душанбе, 2011 г.); региональном семинаре ААСНА – АН РТ «Дорожная карта: переход к зелёной экономике» (Душанбе, 2012 г.); Международной НПК «Роль водохранилищ в обеспечении орошения и охрана окружающей среды» (Душанбе, 2013 г.); Международной НПК «Проблемы гидромеханики и развитие гидроэнергетики, мелиорации и экологии в Центральной Азии» (Душанбе, 2013 г.); республиканской НПК «Водные ресурсы Республики Таджикистан и их значение в развитии народного хозяйства Таджикистана» (Душанбе, 2015 г.); Международной НПК «Водные ресурсы Республики Таджикистан» (г. Душанбе, 2015 г.); Международной НПК «Комплексное использование водно-энергетических ресурсов Центральной Азии в условиях глобального изменения климата» (Душанбе, 2020г.); республиканский НПК «Водные ресурсы: состояние, новые подходы и перспективы развития» (Душанбе, 2021г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 14 публикациях, из них 7 научных статей в журналах рекомендованные ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 7 статей в международных и республиканских конференциях.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов к главам, основных выводов, заключения,

приложения и списка использованной литературы, состоящего из 133 наименований. Общий объем диссертации изложен на 153 страницах компьютерного текста, из них 134 страницы основного текста, включающего 49 рисунок и 44 таблиц.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТН И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

1.1. Аналитические описания возобновляемых источников энергии

В конце прошлого века и начале нового неслучайно возникла огромная потребность в использовании возобновляемых источников энергии (солнечной энергии, энергии ветра, гидроэлектроэнергии и т. д.). Её первая причина: «Начало энергетического кризиса в середине 70-х XX века в результате повышения мировых цен на нефть за четыре года в 15-ти кратных размерах». Вторая причина взаимосвязана с ограничением и истощением рудниковых ресурсов (нефть, газ, каменный уголь), которые являются основой для всей мировой энергетики. В результате перед человечеством появилась важная задача эффективного использования этих ресурсов, а также отыскание других альтернативных источников возобновляемой энергии. Третья причина зависит от того, что абсолютное сжигание рудникового топлива стало причиной увеличения парниковых газов, что привело, в свою очередь, к глобальному потеплению климата с негативными последствиями [37]. Одним из тех, кто впервые отметил необходимость ассимилирования энергии и развитие возобновляемых ресурсов, является лауреат Нобелевской премии академик Н.Н. Семёнов. Он, анализируя динамику потребления и экологические показатели энергии интоксикациям карбоновых газов, отметил: «Ускоренное использование распространённых топливных ресурсов и увеличение карбонового газа в пространстве в будущем ставит задачу создания нового ресурса мировой энергетики перед человечеством. Время на создание этого ресурса очень мало и, по моим представлениям, примерно охватывает около 100 лет» [88]. Сегодня глобальная энергетическая безопасность и развитие антикризисной энергетической политики является одной из важных проблем.

На современном этапе технологического уровня и использования возобновляемых источников энергии по-разному, в том числе прямым

преобразованием солнечной энергии в электрическую энергию, создание разных тепломеханических оборудования, также системы конвертирования солнечной энергии на топливо имеет практическое применение. Конвертирование солнечной энергии на топливо ускоренно развиваясь, превращается в особый энергетический, социальный и экономический фактор. В мире использование растений с разными энергетическими целями, составляет 1 млрд. тонн условного топлива, что это эквивалентно 25% мировой добычи нефти [53].

Осуществление биологического топлива и создание промышленности по производству этого вида топлива на значительном уровне направлено на энергетическое обеспечение транспорта.

Насущные потребности к этому виду топлива связаны с тем, что транспортная энергетика является одной из обширных и развитых отраслей современной экономики. В настоящее время 95% транспортной потребности удовлетворяются посредством нефтяных карбогидридов [5].

Таджикистан имеет очень ограниченные возможности для доставки природного газа и нефти за рубежом страны. В стране имеются значительные запасы угля, но из-за отсутствия хороших дорог в горных районах и современного оборудования для его добычи, они используются в незначительном количестве. В настоящее время для Таджикистана использование возобновляемых источников энергии является лучшей альтернативой традиционной энергетике.

Законы действующие в энергетике Республики Таджикистан «Об энергетике» от 29.11.2000, №33; «О естественных монополиях» от 13.12 1997; «О внесении изменений в Закон Республики Таджикистан «О естественных монополиях и введении его в действие» от 12.05.2001; «Об использовании возобновляемых источников энергии» от 12.01.2010, №587; «О безопасности гидротехнических сооружений» от 29.12.2010, №666; «Об энергосбережении и энергоэффективности» от 19.09.2013, №1018 регулируют правовые акты, заключаемые между государственными органами, физическими и

юридическими лицами в отраслях для плодотворного и эффективного использования возобновляемых источников энергии, определяет организационные, правовые и экономические основы энергосбережения, охраны окружающей среды, снижения негативного воздействия на климат, сохранения возобновляемых источников энергии для будущего поколения.

На рисунке 1.1 показана карта водных ресурсов Республики Таджикистан.

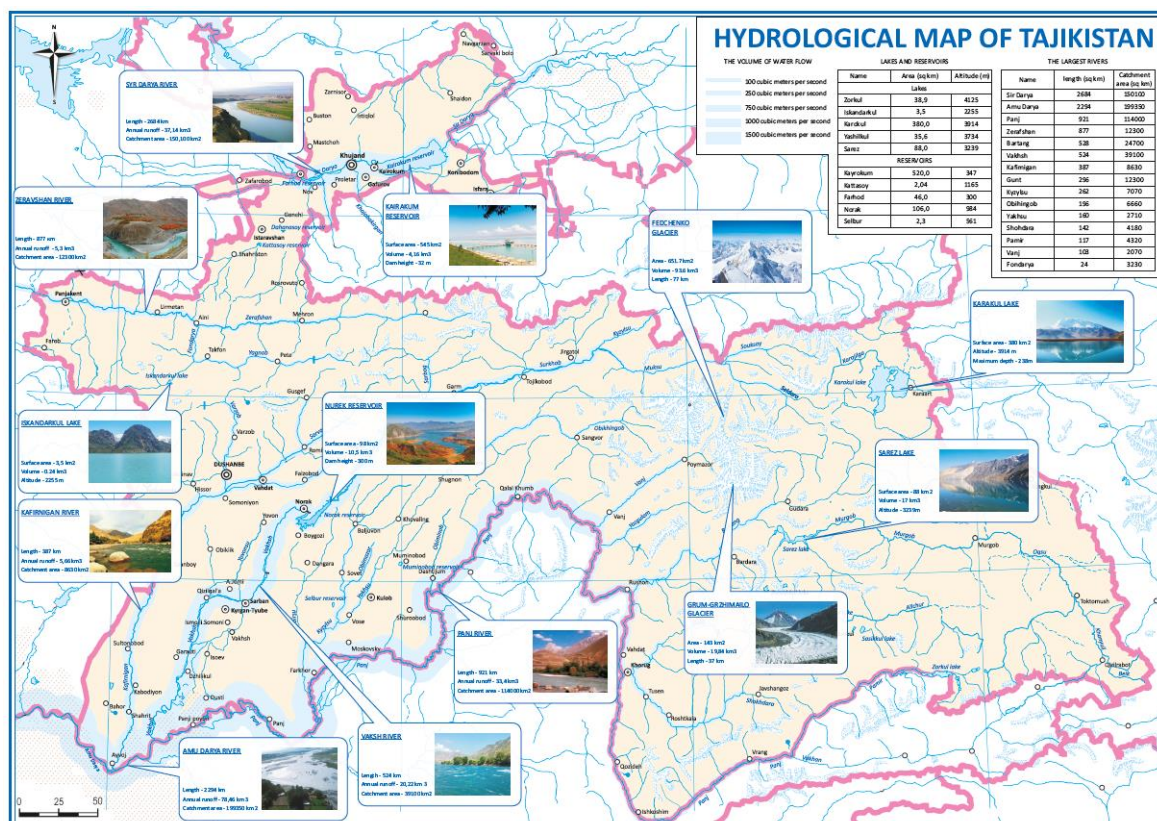


Рисунок 1.1. Карта водных ресурсов Республики Таджикистан

Более половины территории Таджикистана лежит выше 3000м над уровнем моря. Горы покрывают более 90% территории Таджикистана, а высочайшие пики находятся на Памире. Ледники питают множество горных рек, что позволяет производить электроэнергию с избытком, обеспечивая и нужды алюминиевой индустрии, и экспорт в соседние страны. Для возделывания пригодны лишь 6% земель. Ирригация позволяет использовать часть низменных районов страны для выращивания хлопчатника, фруктов и тутовых деревьев. Расширение посевов хлопчатника в советский период

привело к тому, что Таджикистан перестал обеспечивать себя продуктами питания. Таджикистан располагает значительными минеральными ресурсами, включая ртуть, серебро, золото и более 10% разведанных мировых запасов урана. Однако горный рельеф предельно осложняет разработку месторождений и транспортировку сырья [11]. Амударья и Сырдарья – крупнейшие и главные реки республики. Бассейн Амударьи образуется от слияния вод рек Пяндж, Вахш, Каферниган и Сурхоб. На всех реках страны насчитывается более 350 гидроэлектростанций, что является показателем богатого потенциала возобновляемой энергетики Таджикистана. В этом смысле Таджикистан признан пилотной страной в программе ООН «Устойчивая энергетика для всех». Реки – самое сокровенное богатство Таджикистана.

Таблица 1.1

Протяженность некоторых рек Таджикистана

Реки	Длина водотока, в км	Реки	Длина водотока, в км
Амударья – Пяндж	921	Кызылсу Аланская	262
Зеравшан	781	Кызылсу (южная)	262
Бартанг-Мургаб - Аксу	558	Обихингоу	196
Вахш	524	Яксу	150
Кафирниган	387	Сырдарья	2137
Гунд	313		

В настоящее время водные ресурсы считаются основным источником производства электроэнергии. На территории республики формируется более 60 % водных ресурсов Центральной Азии. В таблице 1.1. показаны протяженность некоторых рек Таджикистана. Также в таблице 1.2 показано количество рек и их градация.

Таблица 1.2

Количество и протяженность рек Таджикистана

Градация рек		Реки			
Характеристика	Длина, км	Общее количество	Суммарная протяженность, км	От общего количества %	От общей протяженности %
Самые малые	Менее 10	24224	46083	96,0	66,6
	10-25	824	11949	3,3	17,3
Малые	26-50	130	4481	0,5	6,5
	51-100	2,9	1958	0,1	2,8
Средние	101-200	12	1559	0,1	2,2
	201-300	2	526	---	0,8
Большие	301-500	2	697	-----	1,0
	501-1000	2	1936	-----	2,8
Всего по Таджикистану		25227	69189	100	100

В таблице 1.3 приведена информация о крупнейших озерах Таджикистана. Также в таблице 1.4 показаны некоторые водохранилища Таджикистана.

Таблица 1.3

Крупнейшие озера

Озёра	Площадь зеркала, км ²	Озёра	Площадь зеркала, км ²
Каракуль	380	Чаканкуль	9,2
Сарез	86,5	Турумтакуль	8,9
Зоркуль	38,9	Иссык-Куль	8,92
Исилькуль	35,6	Рангкуль	7,78
Шоркуль	16,29	Искандеркуль	3,4

Таблица 1.4

Некоторые водохранилища Республики Таджикистан

Водохранилища	Площадь зеркала, км ²	Полный объем, млн. м ³
Каракумское	520,0	3410
Нурекское	106,0	10500
Муминабадское	2,85	3,1
Сел бурское	2,3	2,07

Таблица 1.5

Главные ледники

Ледники	Площадь, км ²	Объем ледника, км ³	Бассейн реки
Федченко	156,0	93,6	р.Муксу
Гарма	114,6	--	р. Обихингоу
Витковского	50,2	6,88	р.Муксу
АН.СССР	48,1	5,24	р.Муксу
Наливкин	45,2	8,59	р.Муксу
Бычачий	37,1	8,05	р.Муксу
Грумм-Гржимайло	142,9	22,5	р.Танымас
Октябрьский	32,0	--	р. Каракуль
Географ, общества	64,4	10,54	р. Ванч
Рохзов 1	47,2	3,45	р.Язгулем

Согласно приведённым информациям в документах «Программа реформы водного сектора Таджикистана на период 2016-2025 годы» общая площадь ледников составляет 11,146 тыс. км² или 8% территории страны. В таблице 1.5 показаны главные ледники Таджикистана с их характеристиками.

Для осуществления программы «По комплексному и целенаправленному обширному использованию возобновляемых источников энергии в Таджикистане» согласно решению Правительства Республики Таджикистан от 2 февраля 2007 года, №41, при Институте физики и техники имени С.У. Умарова Академии наук Республики Таджикистан создано Государственное научное учреждение «Центр изучения и применения возобновляемых источников энергии».

В упомянутом центре были поставлены следующие особые задачи:

- Концентрированное стремление на развитие особых направлений фундаментального и практического исследования важных современных энергетических проблем, технологии возобновляемых источников энергии, приобретение научных результатов, которые имеют первостепенное значение для научно-технического и социально-экономического развития общества;
- постановка рекомендаций по использованию научных результатов в экономике страны;
- изучение и обобщение огромного вклада мировой науки в области возобновляемых источников энергии и постановка перспектив по развитию касающимся направлениям энергетики;
- подготовка квалифицированных специалистов;
- усовершенствование формы организации и согласование научного исследования;
- рекламирование технической информации в среде обширных слоёв населения, развитие научно-технического мышления общества.

Учёные Национальной академии наук Таджикистана, исследуя ресурсы возобновляемых источников энергии, дали оценку общему и техническому потенциалу и с экономической стороны целенаправленно возобновляемым источникам энергии в Таджикистане [70]. На рисунке 1.2. показана карта существующих и планируемых ГЭС Таджикистана.

С учётом мировой практики использования возобновляемой энергии оценены учёными НАНТ, коэффициенты преобразования солнечной энергии, площади солнечных батарей для работы на одного человека и для обширных слоев населения Таджикистана, возможная общая мощность солнечной энергии в Таджикистане на 2620 МВт, технический потенциал на 1494 МВт, потенциал с экономической стороны целенаправленный на 545.2 МВт (1.49 млн. т.у.т/год).

На данный момент использование солнечной энергии в социально-бытовой сфере имеет очень большое значение. Большим преимуществом солнечной энергии в этой сфере является отсутствие потребности развития

линии электропередач, возведение быстрыми темпами и ожидание потенциально больших потребителей.

С учётом того, что общая площадь расположения ветровых электростанций (ВЭС) может составлять 10% равнинной территории страны и признание опытов развитых стран по ВЭС, так как характерная площадь ВЭС равна $260 \text{ м}^2/\text{кВт}$, установлено, что потенциал ветроэнергетики Таджикистана составляет 38,527 МВт (10,12 млн т.у.т./год).

Заключительным возможным ресурсам гидроэнергетического потенциала Таджикистана дана следующая оценка:

Среднегодовая мощность – 601,67 МВт;

Среднегодовая энергия – 527 МВт [41].

Энергетическим ресурсам малой гидроэнергетики Таджикистана дана следующая оценка:

Возможная мощность – 21,05.0 МВт;

Промышленная мощность – 6,813 МВт;

Экономическая мощность – 6,813 МВт.

Только по сравнению с малой гидроэнергетикой в стране умеренно выполняются все требования для успешного его развития. Важнее всего малые реки республики, практически во всех территориях распространяются равномерно и являются огромным ресурсом.

Ресурсы возобновляемых источников энергии оцениваются следующими величинами (таблица 1.6.) [70].

Таблица 1.6

Ресурсы ИВЭ в Таджикистане, млн. т.у.т в год

Ресурсы	Общий потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Общая гидроэнергия	179.2	107.4	107.4
В том числе, малая	62.7	20.3	20.3
Солнечная энергия	4790.6	3.92	1.49

Энергия биомассы	4.25	4.25	1.12
Ветровая Энергия	163	10.12	5.06
Геотермальная энергия	0.045	0.045	0.045
Всего (без крупных ГЭС)	5199.795	38.635	28.015

На сегодняшний день важным направлением практического использования солнечной энергии для Таджикистана являются:

- получение электроэнергии прямым преобразованием солнечной энергии фотоэлектрическими методами;
- обеспечение теплом и холодом индивидуальных потребителей жилых, общественных и промышленных объектов.

Существует определенный опыт работы по преобразованию солнечной энергии для нагревания теплиц, высушивания хлопка и фруктов [41]. Со стороны ученых Института физики и техники имени С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана получены тонкие гетеро структурные (гетеро кристалльные) пленки на основе органических и неорганических полупроводников для изготовления качественного оборудования превращения солнечной энергии в электрическую энергию и другое оборудование электронной техники, также изготовлены фото деталей превращения солнечной радиации в электрическую энергию, приведены исследования и получены веские результаты.

На основе строения гибридов (органики Si и Co) изготовлены фото детали с коэффициентом полезного действия 3-10% и фотоэлектрические датчики для диапазона 100-1000 нм. Разработан, подготовлен и внедрен солнечный деталь, солнечная фотоэлектрическая станция, солнечные поварённые плиты, солнечное и биогазовое водонагревающее оборудование, которые имеют большое практическое значение в экономике Республики Таджикистан [37]. В течение дня и в разные времена года изучены мощностные и эффективные показатели работы фотоэлектрической модели.

Приведена схема соединения фотоэлектрической станции к действующей электросети [6].

В Таджикистане есть опыт использования фотоэлектрических солнечных станций с мощностью от 0,15 кВт до 5 кВт, со стороны отдельных потребителей, в том числе в гидрометеорологических и сейсмических станциях, больницах, лабораториях университетах, и также в горных районах [53].

Солнечная энергия. Таджикистан сегодня испытывает острый дефицит электроэнергии- до 4 млрд. кВт час. в год, при общем производстве \approx 15 млрд. кВт час.

Основной причиной дефицита электроэнергии является резкий рост бытового электропотребления. Общий объём электропотребления населением возрос с 700 млн. кВт час. в год в середине 80-х годов до 7 млрд. кВт час. в настоящее время [37].

Одним из решений проблемы дефицита электроэнергии может быть использование солнечной энергии. Основные аргументы в пользу этого:

- В населенных пунктах Таджикистана в году количество дней без солнца составляет всего 35-45 дней.
- Большая часть общего электропотребления используется населением для отопления и горячего водоснабжения.
- Солнечные коллекторы очень просты по конструкции, материалом для них может служить алюминий, производимый в республике.
- В Таджикистане уже существует устойчивый рынок водонагревательных электроустановок – «термоксов». Благодаря дешёвой цене солнечные коллекторы не требуют электричества, могут быть предложены на коммерческой основе [75].

В таблице 1.7 показана средняя, месячная и годовая скорость ветра в разных метеостанциях Таджикистана.

Таблица 1.7

Средняя, месячная и годовая скорость ветра, м/с

Регионы	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Худжанд	5,3	5,5	5,6	4,8	4,2	4,0	4,4	4,4	4,0	3,8	4,6	4,8	4,6
Пенджикент	1,6	1,8	2,1	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	2,2	1,8	1,5	1,4	2,0
Яванский	2,7	3,4	3,1	2,6	2,6	2,6	2,0	1,7	1,8	1,8	1,7	2,1	2,3
Раштский	3,6	3,5	3,1	2,3	1,9	2,0	1,9	2,1	2,2	1,8	2,8	3,2	2,5
Мургабский	1,2	2,1	2,7	3,2	3,0	3,0	2,6	2,3	2,2	2,2	2,0	1,5	2,3
Ишкашимский	0,9	1,6	2,2	2,4	2,6	2,6	2,7	2,7	2,4	1,9	1,4	1,0	2,0
Анзоб	5,0	5,5	5,5	4,7	4,1	4,1	3,9	4,0	4,2	4,5	4,7	4,8	4,6
Хорог	1,6	1,8	2,6	2,7	2,3	2,6	2,8	2,8	2,4	2,0	1,9	1,8	2,3
Шаймак	2,1	2,6	2,5	2,6	2,5	2,1	2,0	1,9	2,1	2,3	2,6	2,3	2,3
Ледник Федченко	7,1	7,4	7,2	6,6	5,7	4,8	4,0	4,0	4,8	5,9	7,4	7,1	6,0

Эффективность использования установок по переработке энергии ветра возможно за счет её скорости, при скорости ветра не менее 5 м/сек. Поэтому, использование энергии ветра в Таджикистане целесообразно осуществлять только при тщательном обследовании и его технико-экономического обоснования. В этом направлении, в виде эксперимента, в селах Учкул, Мискинабад и Бунгакиён Шуроабадском и Файзабадском районах с привлечением инвестиций международных организаций, ОАХК «Барки Точик» и физических лиц установлено 9 ветровых установок [2].

В настоящее время существует в Таджикистане микро, мини и малые ГЭС мощностью от 3-4300 кВт. Из них является МГЭС «Марзич» является самым большим мощностью 4300 кВт в Айнинском районе (Рис.1.2) и на рисунке 1.3 показана карта существующих и планируемых ГЭС Таджикистана.



Рисунок 1.2. Малая гидроэлектростанция «Марзич» в Таджикистане

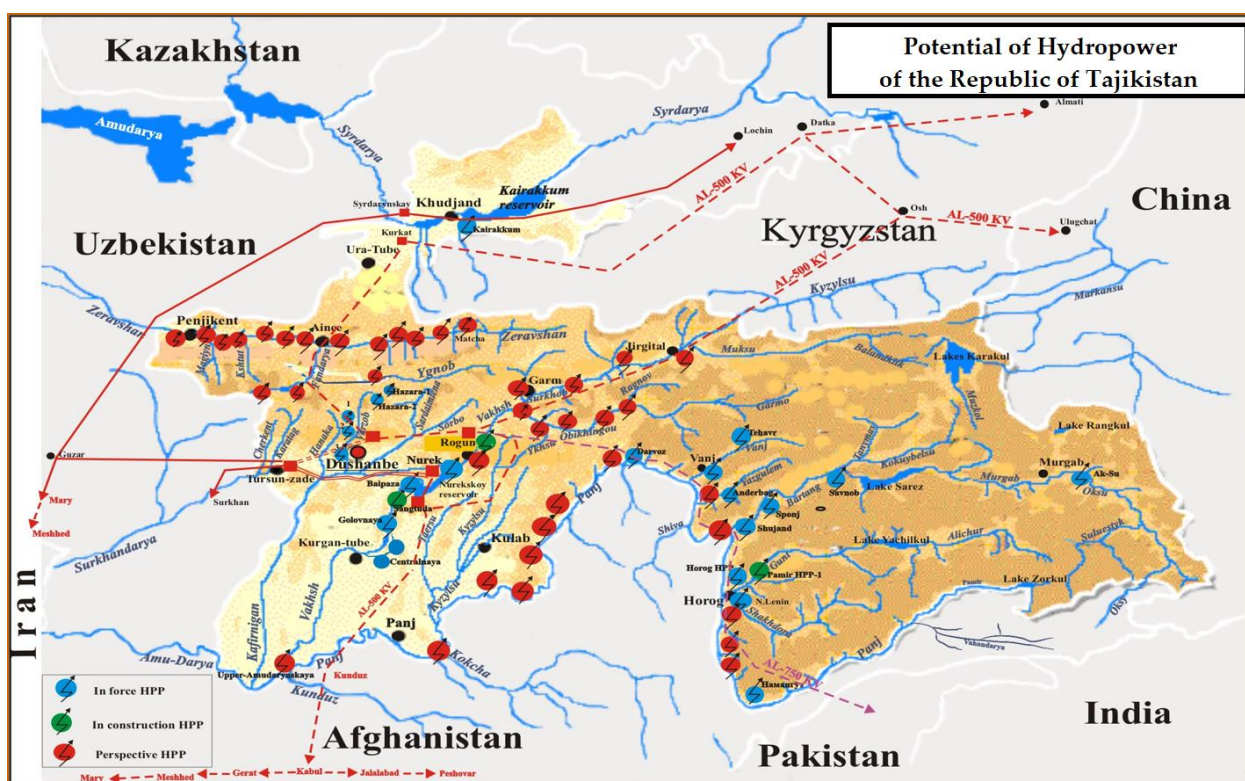


Рисунок 1.3. Карта существующих и планируемых ГЭС Таджикистана

Как показано в таблице 1.1, доля возобновляемых источников энергии в общем объеме энергии Таджикистан может быть значительной, но их применение в стране, за исключением малых ГЭС, практически пока широко не осуществляется. Доля разнородных источников в структуре энергетического потребления Республики Таджикистан.

В настоящее время в Таджикистане из всех видов возобновляемых источников энергии, могут широко использоваться: МГЭС, солнечная энергия и энергия биомассы [2].

Для подготовки квалифицированных кадров в области возобновляемых источников энергии в Таджикистане занимаются кафедры и опытные лаборатории источников возобновляемой энергии в Таджикском национальном университете и в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими. Уровень знаний по специальности можно повысить также в Центре исследования и усовершенствования источников возобновляемой энергии при Физико-техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана.

Также создана необходимая материальная научно-техническая база в области исследования и усовершенствования источников возобновляемой энергии.

1.2. Эффективность производства, потребления и использования энергоресурсов

Эффект от регулирования графика электрической нагрузки в энергосистеме выразится, во-первых, в снижении максимума нагрузки энергосистемы и соответствующем уменьшении установленной мощности электростанций. Во-вторых, увеличится коэффициент заполнения суточных графиков нагрузки и возрастёт годовое число часов использования установленной мощности электростанций, что способствует улучшению режима работы агрегатов и снижению расхода топлива.

В третьих, будет обеспечено некоторое увеличение запаса пропускной способности отдельных участков электрической сети, снижение потерь мощности в линиях электропередачи. Фондоотдача энергетической мощности предприятий в значительной степени определяется величиной резервных мощностей, также оказывает существенное влияние на уровень фондоотдачи (фонд ёмкости). В энергетических системах с преобладанием в структуре гидроэлектростанций, фонд ёмкости будет в большинстве случаев выше, чем в энергосистемах в преимущественным удельным весом тепловых электростанций.

Исключительно важное значение для характеристики эффективности производственных фондов энергетических предприятий имеет соотношение активных и пассивных их частей. Чем выше доля активной части основных фондов, тем производство более эффективно, так как больше продукции может быть произведено на единицу стоимости основных фондов. Соотношение активных и пассивных фондов зависит от большого количества факторов. К ним относятся: тип энергетического предприятия, природно – климатические условия производства и транспорта энергии, вид первичного энергоносителя, используемого на электрических станциях, параметры силового оборудования и т.д. [6].

На показатели фондоотдачи энергии генерирующих и топливодобывающих предприятий оказывает влияние структура энергопотребления, определяющая объём производства различных энергетических ресурсов. Углубление электрификации народного хозяйства региона, при соответствующей обеспеченности гидроресурсами, вытесняя из топливно энергетического баланса другие энергоносители, предопределяет рост показателя фондоотдачи в электроэнергетике и снижение его в других отраслевых системах энергетического комплекса.

Эффективность использования производственных фондов гидроэлектростанций тесно связана с вопросами водообеспеченности. Значительный забор воды на орошение земель и обеспечение потребности в воде других отраслей народного хозяйства в условиях дефицита водных ресурсов, может привести к снижению эффективности производственных фондов гидроэлектростанций.

Существенное влияние на фондоотдачу оказывают региональные факторы, предопределяющие различную удельную стоимость основных фондов энергетических предприятий. Удельные капиталовложения являются одним из критериев рационального размещения энергетических мощностей по отдельным районам страны. Этот показатель имеет определяющее значение для характеристики эффективности основных фондов, так как при меньшей

удельной стоимости за счет тех же капиталовложений можно ввести большую мощность. Удельная стоимость 1 кВт мощности гидроэлектростанции зависит от: 1) типа станции и величины напора воды, причем с увеличением напора удельные капиталовложения снижаются; 2) единичной мощности гидроагрегатов и установленной мощности электростанций; 3) объема и стоимости регулирующих водохранилищ; 4) природно-географических факторов; 5) соотношения установленной и гарантированной мощности; 6) количество часов эксплуатации установленной мощности; 7) функций, возложенных на гидроагрегаты станции энергосистемой и т.д. [70].

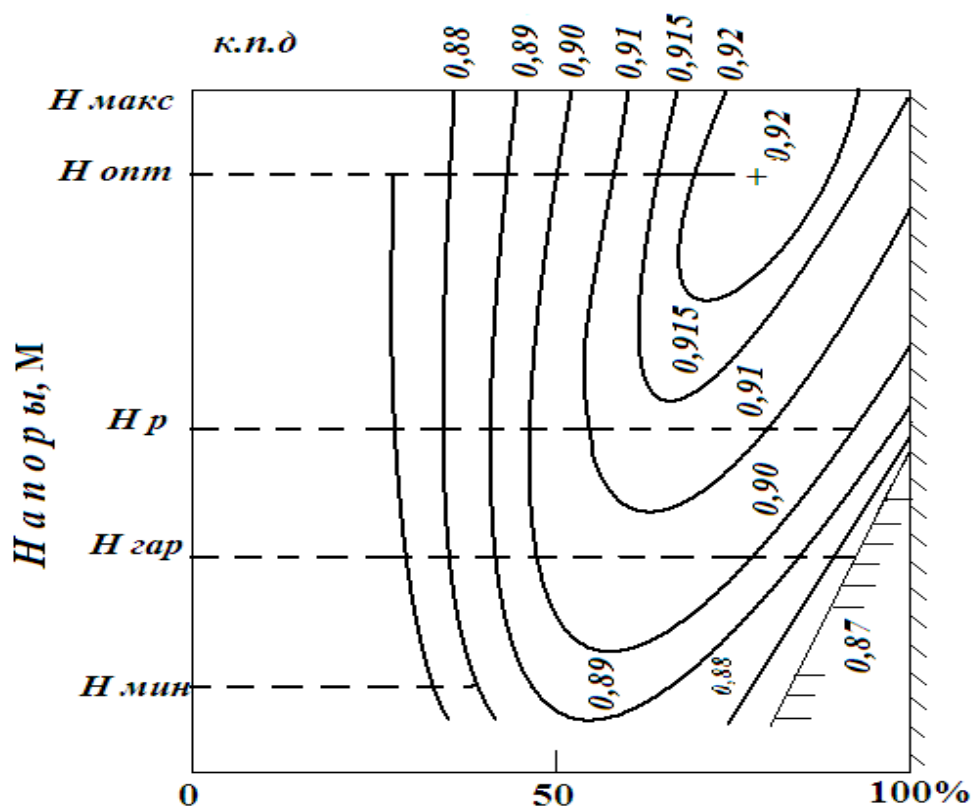


Рисунок 1.4. График зависимости $\eta = f(N)$

На рисунках 1.4 и 1.5 приведены данные для характерных напоров: максимально возможного H_{\max} , оптимального $H_{\text{опт}}$, расчетного H_p , гарантийного $H_{\text{гар}}$ и минимально допустимого H_{\min} . Значение $H_{\text{опт}}$ соответствует к наибольшему к.п.д. гидротурбины.

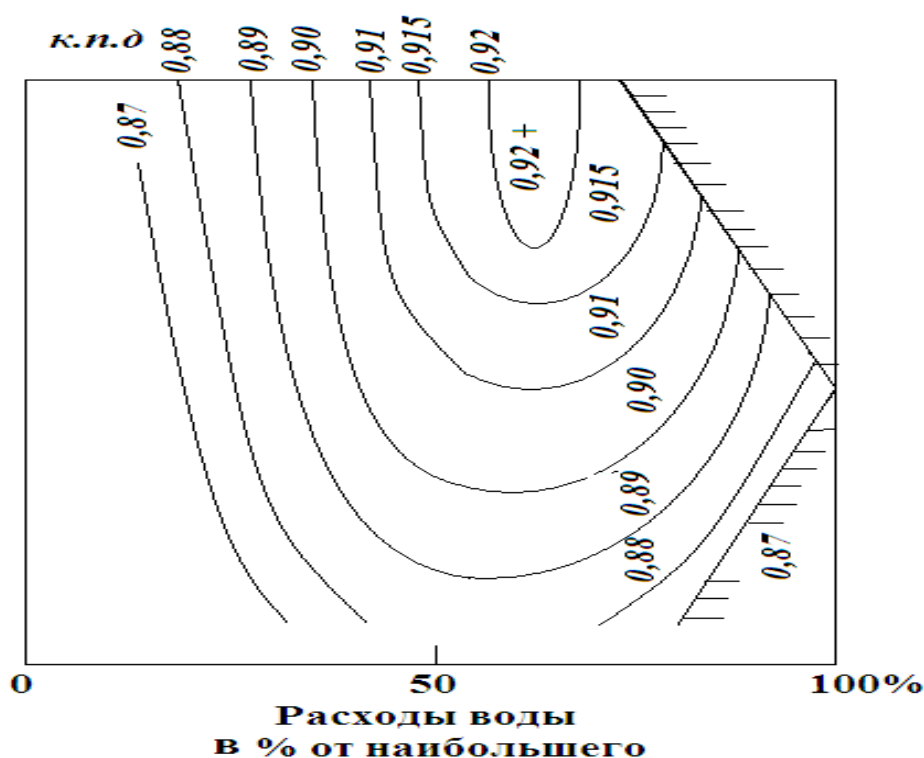


Рисунок 1.5. График зависимости $Q = f(\eta)$

Следует отметить, что многие из перечисленных факторов имеют предельно-допустимые значения, превышение или игнорирование которых может привести к нежелательным последствиям. Например, увеличение напора автоматически предопределяет повышение высоты плотины гидроэлектростанции и увеличении объёма воды в водохранилище. Последнее может локально изменить климат, повысить сейсмическую активность, увеличить интенсивность оползней и вызвать другие неблагоприятные явления в окружающей среде. Аналогично рассуждение относительно единичных мощностей агрегатов и установленных мощностей электростанций, т.к. чрезмерное повышение их приводит к снижению последних и, в конечном счёте, к снижению эффективного участия в покрытии совмещенного графика электрической нагрузки энергосистемы.

Специфические особенности энергетики, в частности электроэнергетической отрасли, предопределяют необходимость анализа фонда ёмкости (фондоотдачи) во взаимосвязи с другими показателями эффективности производства энергии. Так, технический прогресс в электроэнергетике может сопровождаться повышением фонда емкости, в этих

условиях критерием экономической обоснованности роста фонда ёмкости должно явиться такое снижение себестоимости энергии, которое в конечном итоге обеспечивает увеличение эффективности его производства [78].

Следует отметить, что темпы роста производительности труда в энергопотребляющих отраслях народного хозяйства, определяются уровнем и пропорциями развития энергетических отраслей. Так, увеличение объемов потребления и расширения сферы применения электроэнергии являются важными условиями научно-технического прогресса в электропотребляющих установках в виде прироста производительности труда.

До последнего времени использование энергетических ресурсов шло, в основном, по пути экстенсивности развития. Возрастающие потребности в энергии покрывались без должного анализа рационального его использования. На современном этапе энергосбережение является одной из задач научно - технического прогресса.

Экономический и энергетический эффект обеспечивается за счёт проведения следующих энергосберегающих мероприятий:

- изменение структуры производимой и потребляемой продукции, в том числе увеличение использования менее энергоемких материалов;
- совершенствование структуры производства и потребления энергетических ресурсов, обеспечивающее вытеснение из сферы потребления дорогих видов топлива;
- организация соответствующего контроля и учета расхода энергетических ресурсов путём широкого применения техники измерения, управления и регулирования энергетических процессов.

Существенное влияние на эффективность использования энергии, на объём её потребления, оказывает форма расселения. Значительная сосредоточенность жилых домов и населенных пунктов в целом ограничивает возможности централизованного электроснабжения [93].

Характерное влияние на показатели эффективности, энергетического производства, оказывают стабильность и соотношение цен на продукцию

энергетического комплекса. Обоснованное установление обеспечивает решение важных задач, связанных с разграничением сфер применения различных видов энергии. Уровень тарифов на электроэнергию является одним из факторов, определяющих дислокацию (размещение) энергоёмких предприятий. Однако, при установке тарифов на электроэнергию следует принимать во внимание нестабильность производства электроэнергии гидроэлектростанциями. Выработка электроэнергии гидроэлектростанции находится в прямой зависимости от тарифов электроэнергии на другие народнохозяйственные нужды, интенсивности испарения и т.д.

Необходимость и важность учёта этого фактора при формировании цен на электроэнергию особенно возрастает в условиях значительного удельного веса гидроэлектростанций в структуре генерирующих мощностей.

Это обстоятельство требует тщательных проработок при обосновании размещения на территории данного региона электроёмких производств. В периоды вынужденного снижения выработки электроэнергии гидроэлектростанциями потребность электроёмких потребителей покрывается за счёт электроэнергии, поступающей в систему из-за ее пределов или путём перехода части потребителей народного хозяйства с электроэнергии на другие энергоносители, в частности, на органические виды топлива. Стоимость органического вида топлива значительно выше, так как в этом случае используются замыкающие энергоресурсы, имеющие ухудшенные технико-экономические показатели.

Очевидно, цены на различные виды энергии следует устанавливать стабильно на определенный период времени. Если в течении этого периода проявится тенденция изменения конкурентоспособности отдельных видов энергоносителей, то возникает необходимость в дальнейшей рационализации в этом направлении [55].

Интенсификация энергетического комплекса тесно связана со снижением отрицательного воздействия его на окружающую среду.

Не вдаваясь в общие проблемы охраны окружающей среды, выделим те из них, которые свойственны развитию энергетики.

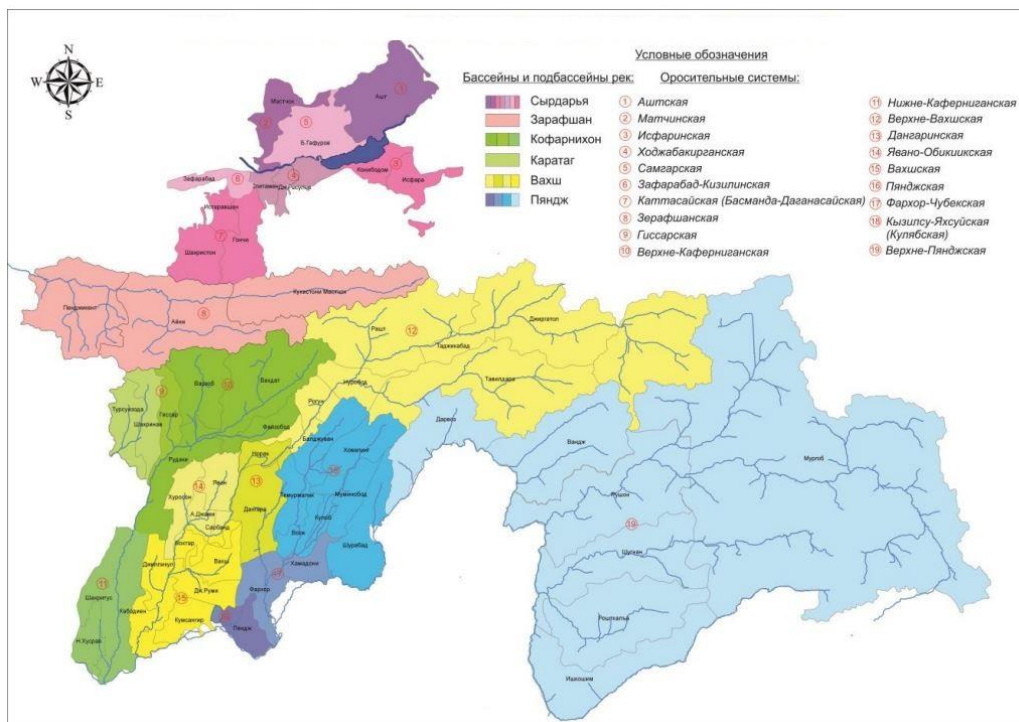


Рисунок 1.6. Бассейны рек и оросительные системы Таджикистана

Снижение отрицательного воздействия энергетического комплекса на окружающую среду до допустимых пределов возможно за счёт привлечения дополнительных материальных средств. Содержание экономического критерия нормирования загрязнения окружающей среды заключается в введении нормы предельно допустимой концентрации, превышение которой наносит экономический ущерб общественным материальным ценностям, эстетическим ценностям архитектуры и ландшафта, не представляя биологической и социальной опасности. Экономический ущерб от загрязнения окружающей среды представляет собой дополнительные затраты [93].

Сооружение гидроузлов на реках Вахш, Сырдарья явилось основной для развития экономики прилегающих районов. В соответствии со своеобразным сочетанием природных и экономических условий, характерными особенностями специализации и комплексного развития хозяйства, территорию Таджикистана можно разделить на две зоны – северную и южную.

Северная зона, как наиболее равномерно заселённая и развитая в промышленном и сельскохозяйственном отношении, сформировалась на базе площадей, прилегающих к реке Сырдарье и её притокам. Согдийская область, входящая в северную зону, занимает свыше 18 процентов территории республики, включая 9 городов и 12 районов. Здесь проживает около 1/3 части населения республики.

В северной зоне сложилась экономическая база, играющая важную роль в индустриализации не только Таджикистана, но и Центральной Азии в целом, и обладающая предпосылками дальнейшего развития за счёт освоения природных ресурсов, повышения степени использования созданных фондов в различных отраслях народного хозяйства и роста производительности труда. Энергетические ресурсы складываются (Фан- Юганское, Шурабское месторождения) из гидроэнергетических ресурсов (Сырдарья и ее притоки) [61].

Южная зона включает в себя столицу республики – г. Душанбе, районы республиканского подчинения, бывшие Курган-Тюбинская и Кулябская области. Здесь сосредоточен основной потенциал энергетических ресурсов республики. Занимая 0,5% территории страны и 9,1% численности населения страны и 10 % Центральной Азии, этот регион сосредотачивает около 10 процентов всех гидроэнергетических ресурсов бывшего СССР и 70 % Центральной Азии. Кроме того, как особый высокогорный район республики необходимо выделить Горно- Бадахшанскую автономную область (ГБАО) [29].

Высокая эффективность гидроэнергетических ресурсов южной зоны республики, определяющая возможность интенсивного вовлечения их в хозяйственный оборот путем сооружения гидроэлектростанций, создала предпосылки для формирования и развития Хатлонской области, являющегося крупнейшим в Центральной Азии центром гидроэнергетических и энергоёмких производств. Для Хатлонской области характерна

многоотраслевая структура хозяйства, наличие современных предприятий высокого технического уровня и уровня энерговооружённости.

Действующие и строящиеся здесь предприятия характеризуются значительной мощностью, экономической эффективностью, оправдывающей крупные затраты, связанные с освоением территории и природных ресурсов [59].

К благоприятным условиям развития Хатлонской области относятся: существенный резерв трудовых ресурсов, относительно благоприятные условия для закрепления кадров, возможности развития сельскохозяйственного производства, в частности, наиболее ценных сортов хлопчатника и наличие водных ресурсов.

Наиболее развитой подсистемой энергетического комплекса Таджикистана является электроэнергетика. Именно электроэнергетика явилась решающим фактором, обеспечивающим эффективность общественного производства, формирования высоких темпов экономического роста республики [78].

1.3. Особенности используемых гидроэнергетических ресурсов

Основными проблемами водных и энергетических ресурсов в ЦА в настоящее время является орошаемое земледелие и гидроэнергетика. Одна из этих проблем связана с противоречием между странами нижнего течения и странами верхнего течения из-за резкого увеличения орошаемых земель в странах нижнего течения и строительства гидроэлектростанций в странах верхнего течения. Страны верхнего течения, такие как Кыргызстан и Таджикистан, больше заинтересованы в увеличении энергетического потенциала на основе оптимизации речного стока, а страны нижнего течения, такие как Туркменистан и Узбекистан, больше заинтересованы в оптимизации речного стока на основе режима орошения.

Энергетический комплекс Таджикистана сформирован на базе высокой обеспеченности его гидроэнергетическими ресурсами. Потенциальные и

экономически эффективные гидроэнергетические ресурсы Таджикистана составляли соответственно 54 и 58 % всех гидроэнергетических ресурсов Центрально-Азиатских экономических районов [59]. В таблице 1.8 показаны Размещение гидроэнергетических ресурсов по республикам Центрально-Азиатского региона.

Характерной особенностью рек Таджикистана и всего Центрально-Азиатского экономического региона является комплексный характер использования их стока. Освоение гидроэнергетических ресурсов посредством сооружения мощных гидроэлектростанции с ёмкими водохранилищами позволяет успешно решать не только энергетические проблемы, но и задачи водоснабжения и ирригации.

Таблица 1.8

Размещение гидроэнергетических ресурсов по республикам Центрально-Азиатского региона (в млрд.квт.ч)

Экономический район и республика	Потенциальные		Технически возможных для исполъ.	Экономически эффект.	Насыщен. потен. ресурс.
	Крупных, малых и сред. рек	Крупных. сред. рек			
СНГ	3831,2	3338,0	2106,0	1095,0	174
Центральная Азия В.т.ч.:	554,5	527,3	248,8	145,7	434
Узбекистан	88,5	84,7	27,4	11,0	197
Кыргызстан	142,5	153,5	72,9	48,0	718
Таджикистан	299,6	285,6	143,6	85,0	2100
Туркменстан	23,9	22,1	4,8	1,7	49

Средняя глубина водоёма Нурекского водохранилища составляет 107 м. Уровень водохранилища колеблется в пределах 53 м. Оно осуществляет сезонное регулирование стока реки Вахш. Используется для орошения 1 млн га плодородных земель Каршинской и Кызыл-Кумской степей, Дангаринского плато и других территорий. В таблице 1.9 приведены количество, протяжённость, густота речной сети и озёр по бассейнам рек.

Таблица 1.9

Количество, протяжённость, густота речной сети и озёр по бассейнам рек

Бассейн реки	Площадь в пределах страны тыс. км ²	Общее кол-во рек.	Сум-ная протяжен. рек, км	Густота речной сети		Озеро площадью более 0,11 км ²	
				Кол-тво на 1км ²	Протяжен. на 1км ²	Кол-тво	Общая площадь, км ²
Сырдарья	13,4	987	4069	0,074	0,304	----	----
Зеравшан	11,8	1781	5770	0,151	0,489	8	7,15
Сурхандарья (Каратаг, Шеркент)	1,6	408	1098	0,255	0,661	2	0,27
Кафирниган	11,6	2628	5947	0,227	0,513	----	----
Вахш	31,2	4815	12308	0,154	0,394	28	9,8
Пяндж	65,0	123,19	34867	0,190	0,536	118	255
Бессточные Озера Восточного Памира	8,5	2289	5150	0,269	0,606	10	404
Всего по Таджикистану	143,1	25227	69189	0,176	0,484	166	677

Потенциальная энергия водотоков Таджикистана учтена по 511 рекам длиной более 10 км. Суммарная длина этих рек составляет 14880 км. По территории республики протекают наиболее многоводные и самые богатые по потенциальным гидроэнергетическим ресурсам реки Центральной Азии - Пяндж и Вахш.

В бассейнах реки Вахш и Пяндж сосредоточено 80,5 % потенциальных гидроэнергетических ресурсов республики. По удельной насыщенности наиболее мощным является бассейн реки Вахш 455,6 кВт/км², потенциальные ресурсы бассейнов рек Сурхан- Кафирниган и Зеравшан составляют соответственно 10,4 и 8,1 % от всех потенциальных гидроэнергетических ресурсов республики.

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы реки Сырдарья на территории республики незначительны и составляют менее одного процента, удельная насыщенность составляет всего 18,9 кВт/ км².

На территории республики, помимо крупнейших и средних по мощности водотоков имеются значительное количество малых рек. Следует отметить, что детальное изучение гидроэнергетических ресурсов малых рек с охватом всей территории Таджикистана не проводилось. По имеющимся оценкам эти ресурсы составляют около 14 млрд. кВт/ч или 52 % ресурсов малых рек Центральной Азии. Освоение ресурсов малых рек не может в целом определять целесообразность сооружения на них гидроэлектростанций межрайонного значения [1].

Однако, в условиях дефицита топлива в республике, вовлечение малой гидроэнергетики в хозяйственный оборот существенно повысит надежность энергосбережения для децентрализованных потребителей, позволит сократить объемы завозимого дорогого органического топлива в отдаленные районы республики.

Среднегодовая выработка электроэнергии по всем рекам республики может составить 453,5 млрд. кВт час., в том числе по малым рекам и склоновому стоку 170,3 млрд. кВт час. топливный эквивалент соответственно составляет 136 млн. т.у.т. и 51 млн. т.у.т.

Освоение остальной части гидроэнергетических ресурсов, значительный потенциал которых размещен в зонах децентрализованного энергоснабжения республики, зависит от степени достоверности оценки экономически эффективных ресурсов.

Наиболее высоким (68,6%) уровнем освоения характеризуется бассейн р. Сырдарья. В настоящее время интенсивно осваиваются гидроэнергетические ресурсы бассейна реки Вахш. С вводом в эксплуатацию Рогунской ГЭС в полную мощность, будет решен ряд существующих вопросов. В частности, будет полностью покрыт дефицит электроэнергии в зимнее время и увеличатся экспортные возможности энергетической системы Таджикистана. Также будет продлён срок эксплуатации всех гидроузлов каскада реки Вахш и появляются технические возможности по каскадному регулированию гидроэлектростанций, что позволит оптимизировать

деятельность энергетической системы и увеличить выработку электроэнергии на нижележащих станциях. Значительные возможности расширения использования гидроэнергетических ресурсов в республике связаны с вовлечением в хозяйственный оборот потенциала реки Пяндж [29].

Наряду с потенциальными и технически возможными к использованию гидроэнергетическими ресурсами, важное народнохозяйственное значение имеют экономически эффективные ресурсы. Величина экономически эффективности гидроэнергетических ресурсов Центральной Азии по существующим оценкам составляет 145,7 млрд. кВт час, что составляет 13,3% этой категории общесоюзных ресурсов. По республикам Центрально-Азиатского экономического района эта величина распределялась следующим образом: Таджикистан - 85 млрд. кВт час; Киргизстан. - 48 млрд. кВт час; Узбекистан -11 млрд. кВт час; Туркменистан-1,7 млрд. кВт час.

Таблица 1.10

**Ввод генерирующих мощностей в энергосистемах государств
Центральной Азии в 2011-2021 гг. (МВт)**

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Всего
Казахстан	415,5	678,9	164,4	198,7	357,6	656,7	117,4	252,8	1032	695	455,5	5024,6
Кыргызстан							300					
Таджикистан	110	2,06		210		300		360	400			1382,1
Туркменистан				689,8	504,4							
Узбекистан	45		480	27	15		1150,7	370	980,6			3068,3

В таблице 1.10 показана Динамика суммарной установленной мощности электростанций в государствах Центральной Азии. В таблице 1.11 показано производство электроэнергии в млрд. кВт·ч в государствах Центральной Азии. В таблице 1.10. показаны ввод генерирующих мощностей в энергосистемах странах Центральной Азии. Также на рис. 1.7 приведены данные выработки электроэнергии в Республике Таджикистан с 1991 по 2016 гг.

Таблица 1.11

**Производство электроэнергии возобновляемыми источниками
энергии в государствах Центральной Азии в 2000-2012 гг. (млрд
кВт·ч)**

Год	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Казахстан	51,6	67,9	71,7	76,6	80,3	78,8	82,3	86,0	90,2
Кыргызстан	14,9	14,9	14,5	14,8	11,8	11,1	12,1	14,96	15
Таджикистан	14,2	17,1	16,9	17,5	16,1	16,1	16,2	16,1	16,8
Туркменистан	9,9	12,8	12,6	14,03	15,65	13	15,2	18,27	19
Узбекистан	46,9	47,6	49,3	49	50,1	50	51,94	52,75	52,94
Всего	2137,5	2165,3	2171	2178,93	181,95	2178	2187,74	2199,28	2205,94

Таблица 1.12

**Производство электроэнергии гидравлическими электростанциями
в государствах Центральной Азии в 2011-2021 гг. (млрд кВт·ч)**

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Казахстан	7,90	7,60	7,70	8,20	8,80	11,10	10,50	9,60	8,80	9,20	8,40
Кыргызстан	14,13	14,02	12,93	13,16	10,88	11,25	13,94	14,28	13,66	13,78	
Таджикистан	16,0	16,7	16,9	16,1	16,6	16,4	16,9	18,2	19,0	17,9	18,7
Туркменистан											
Узбекистан	5,07	5,953	5,077	5,398	6,136	6,143	7,154	5,188	5,792	5,02	

Таблица 1.13

**Производство электроэнергии тепловыми электростанциями в
государствах Центральной Азии в 2011-2021 гг. (млрд кВт·ч)**

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Казахстан	78,30	82,60	84,20	85,70	81,40	82,10	90,60	95,90	96,20	94,90	101,80
Кыргызстан	0,83	0,97	0,90	1,5	1,90	41,60	1,21	1,37	1,22	1,40	
Таджикистан	0,05	0,05	0,04	0,2	0,3	0,6	1,0	1,3	1,5	1,7	1,7
Туркменистан	18,27	19,31	20,28	22,23	22,40						
Узбекистан	46,84	46,10	48,64	49,27	50,29	51,49	52,14	56,32	56,41	61,38	

В таблицах 1.11, 1.12, 1.13 и 1.14 показаны производство электроэнергии возобновляемыми источниками энергии, производство электроэнергии гидравлическими электростанциями, производство электроэнергии тепловыми электростанциями и производство электроэнергии

всеми видами источниками энергии в государствах Центральной Азии в 2011-2021 гг.

Таблица 1.14

Производство электроэнергии в государствах Центральной Азии в 2011-2021 гг. (млрд кВт·ч)

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Казахстан	86,2	90,2	91,9	93,9	90,8	94,1	102,4	106,8	106,0	108,1	114,4
Кыргызстан	15,13	15,05	13,95	14,54	12,95	13,04	15,34	15,65	14,88	15,34	
Таджикистан	16,1	16,8	16,9	16,3	16,9	17,0	17,9	19,5	20,5	19,6	20,4
Туркменистан	18,27	19,31	20,28	22,23	22,40						
Узбекистан	52,75	52,94	54,55	55,56	57,53	58,97	60,7	62,83	63,57	66,42	71,3

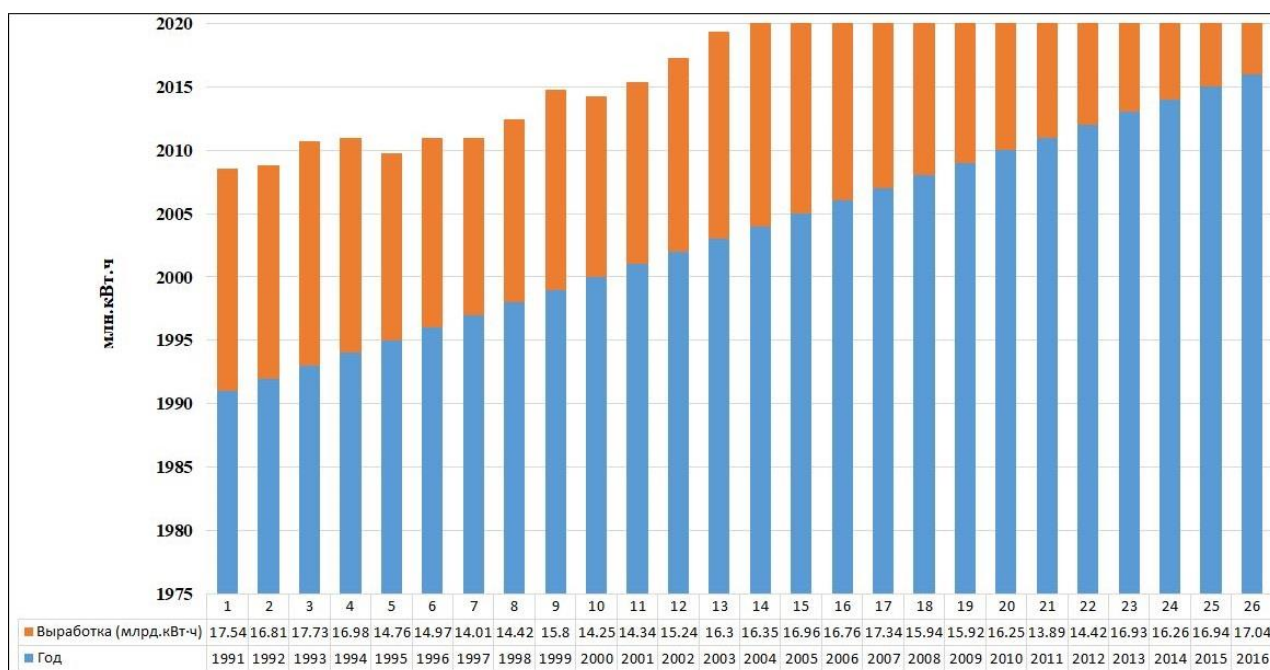


Рисунок 1.7. Выработка электроэнергии в Республике Таджикистан с 1991 по 2016 гг.

Одной из основных проблем развития энергетической отрасли республики является дальнейшее освоение богатейших гидроэнергетических ресурсов и углубление, на этой основе, электрификации промышленного производства, сельского и коммунально-бытового хозяйства. В условиях ограниченных возможностей развития топливной базы, крайне низкого уровня обеспеченности населения республики высококачественным органическим топливом, важность приобретает задача дальнейшего развития бытовой электрификации населенных пунктов. Электроэнергия является наиболее

универсальным и экологически качественным энергоносителем. Эффективность использования ее в отраслях народного хозяйства выражается в решении новых задач в области технического прогресса, снижении энергетической составляющей в себестоимости продукции, экономии живого труда и сырья, повышение качества продукции, улучшение условий труда и быта населения, снижение ущерба от ухудшения состояния окружающей среды.

Особого внимания заслуживает проблема надежного энергоснабжения Горно-Бадахшанской автономной области и других горных и предгорных районов республики, находящихся вне зоны централизованного энергоснабжения (объединения энергосистемы и т.п.). Низкий уровень обеспеченности топливом и энергией предопределяет замедленные темпы индустриального развития этих районов. Сложность этой проблемы усугубляется размещением населённых пунктов на отметках свыше 2000м и специфику расселения. Влияние расположения населённых пунктов в высокогорьях на показатели использования топлива можно охарактеризовать кратко следующим: удельный расход топлива на дизельных электростанциях ГБАО в два с лишним раза выше номинального, а мощности дизельных энергоустановок падают в среднем на 10 % на каждые 1000 м высоты, т.е. при средних высотах области в 3000 м рабочая мощность составляет всего 70-75 % установленной [120]. Удельный вес населённых пунктов с численностью от 100 до 500 человек составляет по ГБАО около половины.

Проблематичным остаётся вопрос совершенствования режимов потребления энергетических ресурсов. Важным средством интенсификации энергетического комплекса является решение задачи выбора рациональных энергоносителей [2].

Факторами, определяющими темпы и пропорции развития энергетического комплекса Таджикистана, являются:

- структура потребителей и размещение энергоёмких предприятий;

- обеспеченность энергетическими ресурсами и их качественные характеристики;

- особенности режима потребления топливно-энергетических ресурсов;

- инвестиционная политика;

- социальные, климатические и другие особенности региона.

Обоснование основных направлений развития энергетического комплекса республики, предусматривающее решение сформулированных выше задач, должно производиться с учетом народнохозяйственной эффективности. Это связано с тем, что выбор стратегий развития на основе повышения эффективности отдельных энергоснабжающих и энергопотребляющих систем и даже энергетического комплекса в целом могут привести к решениям, экономически невыгодным для народного хозяйства.

В этом состоит сущность исследования возможных путей интенсификации энергетики республики: В основе этого метода лежит принцип, согласно которому энергетический комплекс Таджикистана, с одной стороны, является одной из крупнейших подсистем народного хозяйства республики, а с другой входит в состав энергетического комплекса страны.

Приведенный выше анализ показал, что на формирование задач интенсификации энергетики Таджикистана значительное влияние оказывают региональные факторы. Своевременное и качественное их решение позволит смягчить дефицитность топливно-энергетических ресурсов.

Гидроэлектростанции Таджикистана по выполняемым функциям делятся на две группы. К первой группе относятся гидроэлектростанции, покрывающие базисную часть графика электрической нагрузки энергосистемы и осуществляющие электроснабжение электромеханических производств.

Вторая группа – это гидроэлектростанции, используемые для снятия пиков графика и внезапных выбросов нагрузки.

Гидроэнергетика, как подсистема энергетического комплекса, является одновременно составной частью водохозяйственной системы республики. В

этой связи экономическое обоснование сооружения гидроэлектростанций их работы должно осуществляться с учётом комплексного использования водных ресурсов другими водопользователями и водо потребителями, интерес которых не совпадает с интересами электроэнергетики.

Электроэнергетика республики характеризуется значительными темпами развития сетей. Так, если в 1960 г. удельный вес передаточных устройств составлял всего 4,8%, то в 90-е гг. и до 2000 годов доля этой группы основных фондов возросла почти в 5 раз. Это связано с сооружением мощных электрических станций и удлинением в связи с этим радиуса передачи электроэнергии, повышением уровня централизации электроснабжения, интенсивной электрификацией сельского хозяйства. Наиболее интенсивный ввод генерирующих мощностей и линий электропередачи был в десятой пятилетке: на электрических станциях он превысил соответствующий показатель восьмой пятилетки в 14 раз, а одиннадцатой пятилетки в 4 раза. Коэффициент централизации производства электроэнергии в 1985 г. и до 2000 годов составлял 99,7% [88].

Поступление электроэнергии в Таджикистан из ОЭС Центральной Азии в 1985 г. составляло 39% общего ее потребления, а передача в соседние республики Центральной Азии – 37,7% суммарного производства на электростанциях республики. Это обуславливается тем, что в первом случае используется отпуск электроэнергии с шин собственных станций, а во втором, отпуск энергии потребителям с учётом поступления её из-за пределов республики [80].

ВЫВОДЫ К ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

Начальная глава диссертационного исследования осведомляет нас о причинах появления проблем в энергетическом секторе страны, нахождение путей для решения этих проблем. Эти проблемы взаимосвязаны, с мировым, энергетическим кризисом которая охватывает вторую половину XX века до наших времён. Конечно, оно в основном проявляется в истощение огромного,

мирового запаса нефти, газа, каменного угля и других видов ресурсов. Рудниковые ресурсы являются источниками энергии, также, как ледники являются источниками пресной воды. Начальная глава диссертационного исследования посвящена механизмам решения этих насущных проблем.

1. Рассмотрены современные проблемы водных и гидроэнергетических ресурсов Республики Таджикистан и даны оценки разнообразия источников энергии.

2. Приведены потенциальная энергия водостоков Таджикистана по рекам. По территории республики протекают наиболее многоводные и самые богатые по потенциальным гидроэнергетическим ресурсам реки Центральной Азии. В бассейнах реки Вахш и Пяндж сосредоточено 80,5% потенциальных гидроэнергетических ресурсов республики.

3. Выявлено, что возможная общая мощность солнечной энергии составляет 2620 МВт, технический потенциал 1494 МВт и целенаправленный потенциал (с экономической стороны) составляет 545,2 МВт.

4. По результатам анализа достоверных и доступных источников даны оценки возможным ресурсам гидроэнергетического потенциала Республики Таджикистан.

Глава 2. РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА ДЛЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА РЕКИ ВАХШ И НУРЕКСКОЙ ГЭС РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН)

2.1. Обобщение понятия гидроэлектростанции

В настоящее время вода является основным источником энергии в стране: более 95% электроэнергии в Таджикистане вырабатывается гидроэлектростанциями. Помимо гидроэлектростанций, существует значительный генерирующий потенциал ветра, солнца и других возобновляемых источников. Рост внутреннего и регионального спроса требует строительства новых и реконструкции существующих генерирующих мощностей. Таджикистан окружен странами с прогнозируемым структурным дефицитом электроэнергии (например, Афганистан и Пакистан) или дорогостоящим производством электроэнергии, что открывает привлекательные возможности для экспорта.

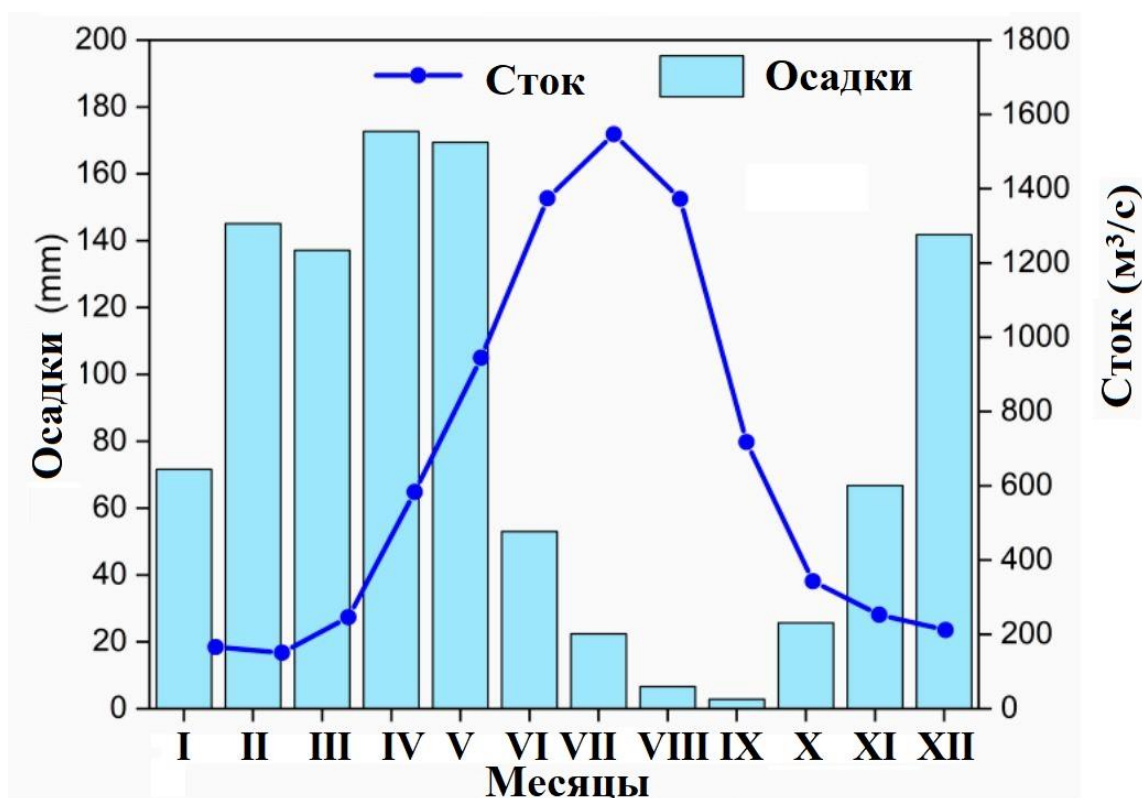


Рисунок 2.1. График стока и осадков в бассейне реки Вахш

Талая вода снега/ледника в Алайской долине и на северном Памире стекает в реку Вахш. Среднесуточный расход на гидрологическом посту Дарбанд за период 2000–2013 гг. составил 673 м³/с, при минимальном

значении $18 \text{ м}^3/\text{с}$ и максимальном значении $2704 \text{ м}^3/\text{с}$. Среднегодовой расход составляет $660 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2.1). Река Вахш протекает в основном по узкой долине, местами переходящей в непроходимые ущелья шириной 8-10 м, местами расширяясь до 1,5 км. Река Вахш считается одной из самых важных рек с точки зрения потенциала производства электроэнергии в Таджикистане. На этой реке построено несколько крупных и средних гидроэлектростанций (ГЭС).

Энергетические системы, связанные между собой линиями электропередачи, позволяющими осуществлять передачу электроэнергии, из одной энергосистемы в другую, образуют объединённую энергетическую систему. Объединённые и отдельные энергосистемы, соединённые между собой линиями электропередачи, образуют единую энергетическую систему.

Энергетическая система состоит из отдельных элементов, преобразующих или передающих энергию.

Таковыми элементами можно считать котлоагрегаты, турбоагрегаты и гидроагрегаты, трансформаторы, линии электропередачи, реакторы, конденсаторные батареи и т.д.

Во время работы каждого из элементов его состояние определяется значениями нескольких величин, таких как ток, напряжение, активная, реактивная и полная мощность, КПД, величина потерь энергии. Указанные величины позволяют оценить степень загрузки элемента и соотношение между потерями энергии в элементе и переданной или преобразованной в нём энергией.

Эти значения принято называть параметрами режима, а состояние описываемого ими элемента - его режимом. Также часто используется понятие режима более крупных частей энергосистемы, чем элементов (режим гидроэлектростанций), понятие режима всей энергосистемы или режима объединённых энергосистем. В зависимости от этого под режимом понимается состояние всех элементов ГЭС, энергосистемы и т. д. Если

известна нагрузка каждого из потребителей энергии, то режим энергосистемы еще не определён полностью.

На рисунке 2.2 показана схема приплотинной ГЭС, на рис. 2.3 -схема деривационной ГЭС.

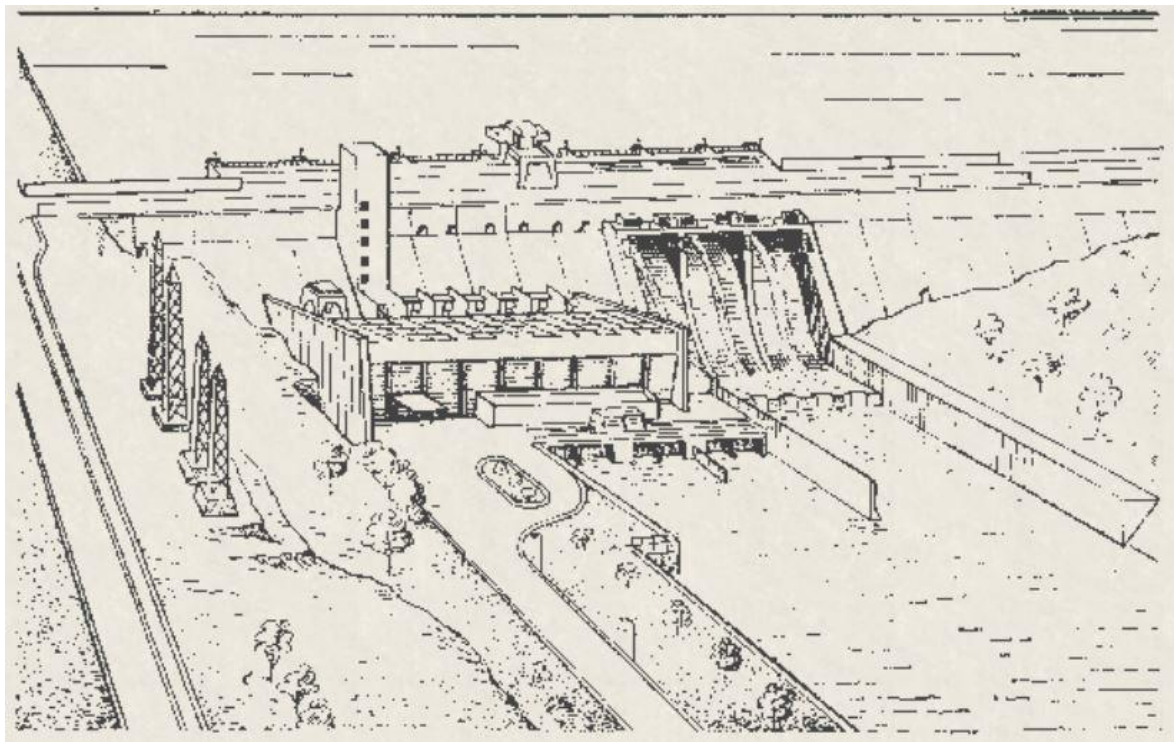


Рисунок 2.2. Схема приплотинной ГЭС

При расположении створа в верхнем течении реки приплотинные ГЭС наиболее удачно сочетаются в комплексе с орошением. Создания значительных возможностей, позволяет строить крупные гидроэлектростанции, а образования водохранилищ большой ёмкости — осуществлять годовые и даже многолетнее регулирование стока, что обеспечивает рост площади орошаемых земель с высокой их водообеспеченности [78].

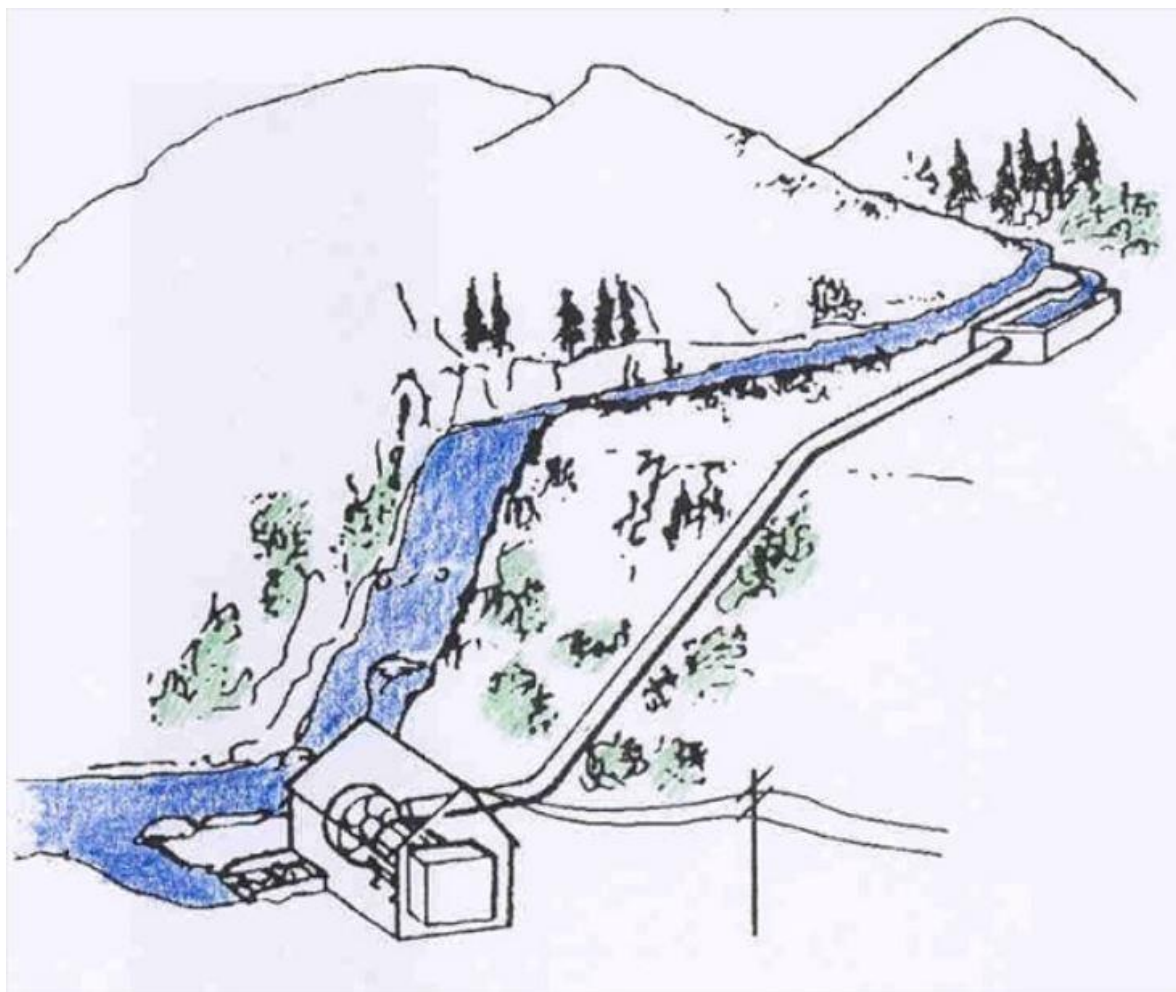


Рисунок 2.3. Схема деривационной ГЭС

Приплотинные водосливные гидроэлектростанции возводят в узких каньонах, когда не удастся разместить отдельно здание и водосливную часть плотины. В этих же условиях строятся полуподземные и подземные здания, если геологическое строение створа благоприятно для выполнения подземных сооружений здания ГЭС выполняют с верхним строением нормальной высоты, пониженными и без верхнего строения [78].

В отличие от русловых здания прилотинных и деривационных гидроэлектростанций непосредственно не воспринимают напора воды и образуют группу безнапорных зданий. Приплотинные водосливные гидроэлектростанции возводят в узких каньонах, когда не удастся разместить отдельно здание и водосливную часть плотины.

Таджикистан в 2005 году создал свой национальный комитет, а также в 2006 году вступил в Международную комиссию по большим плотинам. На

тот период Нурекская ГЭС была самой большой плотиной Мира. Опыт её эксплуатации был чрезвычайно интересен специалистам по плотиностроению. На постсоветском пространстве Таджикистан был третьей республикой – член МКПБ (Россия – правопреемник СССР, Литва). В таблице 2.1 приводим перечень больших плотин (по классификации ICOLD), находящихся на территории Таджикистана, имеющих высоту 15 м. и более метров.

Таблица 2.1

Плотины Таджикистана

№	Название плотины	Год ввода	Название реки	Высота плотины (м)	Установленная мощность (МВт)	Объем водохранилища (млн. м³)	Кем управляется
1	Фархадская	1984 г.	р. Сырдарья	27,5	127	330	Узбекистаном
2	Кайраккумская	1952-1956 гг.	Сырдарья	30,5	126	3413,5	ОАХК «Барки Точик»
3	Гловная	1962г.	р. Вахш	44,5	240	94,5	ОАХК «Барки Точик»
4	Сельбурская	1964г.	Кызылсу	18,2	-	26	«Агенство мелиорации»
5	Муминабадская	1965г.	Оби Сурх	44	-	27	«Агенство мелиорации и ирригации при Правительстве Республики Таджикистан»
6	Каттасайская	1966г.	Каттасай	55	-	55	«Агенство мелиорации и ирригации при Правительстве Республики Таджикистан»
7	Нуркская	1979г.	Вахш	302,5	3000	10 500	ОАХК «Барки Точик»
8	Даганасайская	1983г.	Даганасай	50	-	42	«Агенство мелиорации и ирригации при

							Правительство Республики Таджикистан»
9	Байпазинская	1989г.	Вахш	75	600	125	ОАХК «Барки Точик»
10	Сангтудинская- 1	2009г.	Вахш	75	670	258	ОАО «Рус- Гидро» и Республика Таджикистан
11	Сангтудинская- 2	2012г.	Вахш	30	220	66,5	«Сангоб» и «Фароб» Иран
12	Рогунская	Повторно строится с 2016г.	Вахш	335	3600	13800	ОАО «Рогунская ГЭС»

Примером компоновки сооружений с плотиной из местных материалов является Нурекский гидроузел на реке Вахш. В состав этого гидроузла входят: глухая плотина, водосбросные сооружения, станционный комплекс сооружений [78].

Гидравлическая турбина - машина, преобразующая энергию потока воды в механическую энергию вращения рабочего колеса, которое приводит во вращение ротор генератора электрического тока. Турбина и генератор вместе образуют гидроагрегат.

Вода, пройдя через турбины из верхнего бьефа в нижний, производит работу таким образом:

$$A = \gamma Q H \text{ кг м/с,} \quad (1)$$

где γ - вес 1 м³ воды, кг.

Технической единицей мощности, т. е.

работы в единицу времени, является:

$$1 \text{ кВт} = 102 \text{ кг/с.}$$

Значит, мощность гидроэлектростанции в каждый момент определяется по зависимости:

$$N = \frac{\gamma Q H}{102} \varphi_T \varphi_\Gamma = 9,81 Q H \varphi_T \varphi_\Gamma = A Q H \text{ кВт} \quad (2)$$

где Q - расход, пропускаемый через гидротурбины, $\text{м}^3/\text{с}$;

H - полезный напор.

Такими расчётными величинами стока являются минимальный месячный и суточный сток летний и зимний, максимальные расходы и объёмы стока от снеготаяния и от ливней, объёмы стока за год, межень, сезон и другие фазово-однородные величины стока, относившиеся в различные годы к сходным фазам годового стокового цикла. В практике гидрологических расчетов установлено, что фазово-однородные величины стока подчиняются определённым законам распределения вероятностей. Важным средством таких расчётов стала кривая обеспеченности – интегральное изображение распределения вероятностей. По этой кривой определяется средняя вероятность появления того или иного значения стока, вероятность выражается в процентах от числа случаев. Например, обеспеченность $P=95\%$ означает, что низкий сток может появиться в среднем 1 раз в 20 лет; $P=0,1\%$ соответствует средней возможности появления одного максимума из 1000 случаев (лет) и т.п. [48]. На рисунке 2.5 и 2.6 показаны график зависимостей $N = f(t)$ и график зависимостей $N = f(t)$.

Отметка нижнего бьефа определяется по кривой: $Q=f(Z)$ [22] или по расчёту неустановившегося движения потока;

$\varphi_T=0,85\div0,95$ – коэффициент полезного действия (КПД) турбин;

$\varphi_G=0,96\div0,98$ – коэффициент полезного действия генераторов;

$A=8,1\div8,6$ – коэффициент для средних и крупных ГЭС. Этот коэффициент для мощных гидроэлектростанций может повышаться до 8,9 и для малых гидроэлектростанций может снижаться до 6,5÷7,5. Выработка энергии (кВт.час) решается по формуле:

$$\mathcal{E} = N \cdot T \quad (3)$$

где T – число часов работы ГЭС мощностью N (кВт) [76].

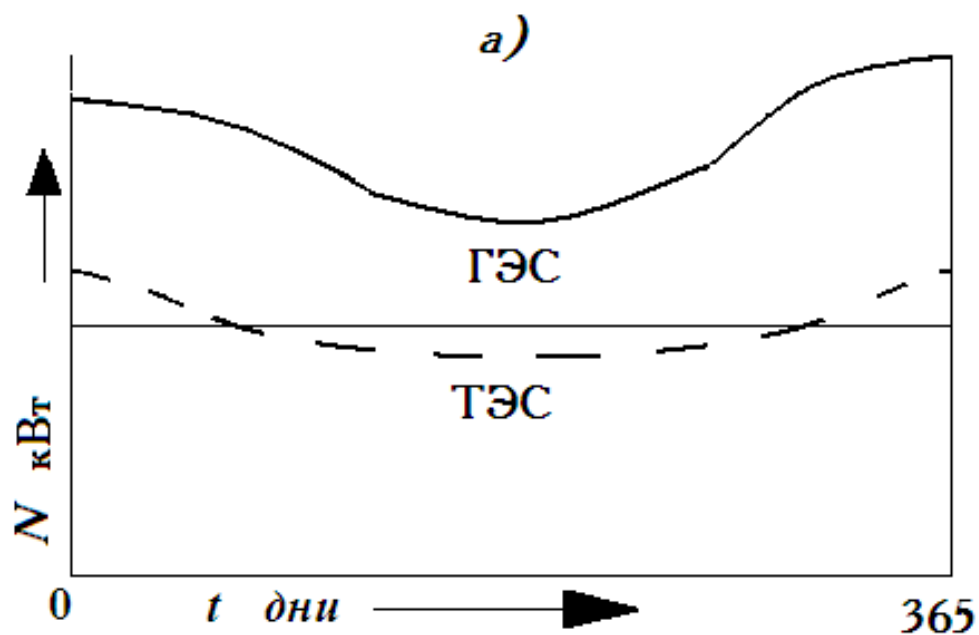


Рисунок 2.4. График зависимостей $N = f(t)$

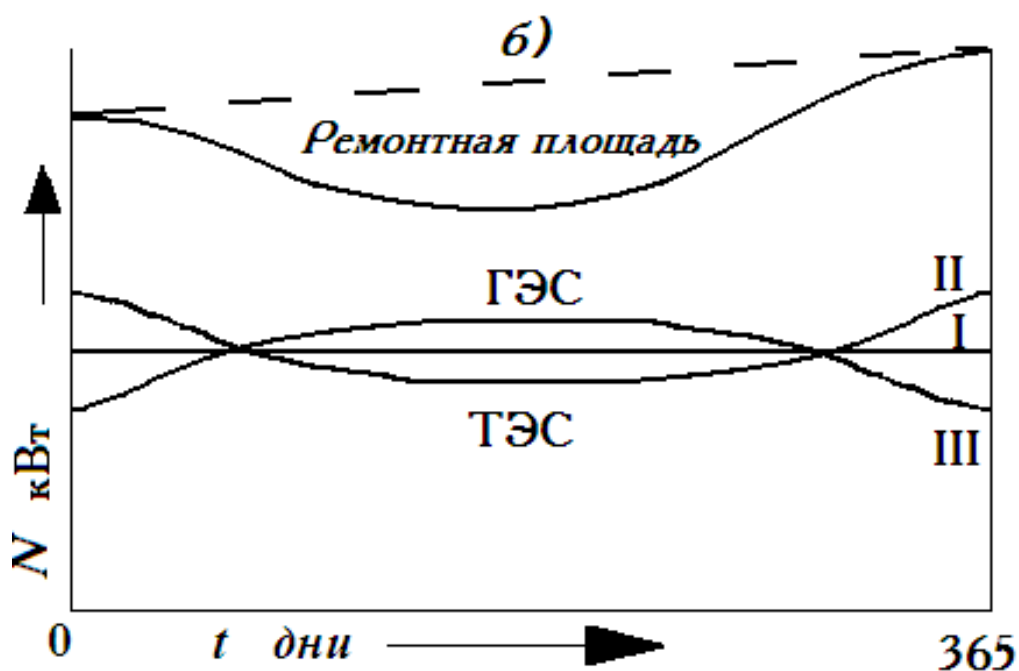


Рисунок 2.5. График зависимостей $N = f(t)$

Составляем задачу на выработку экологически чистой электроэнергии. По приведённым значениям (мощности N , кВт, число часов работы ГЭС, T час) определяем выработку энергии, не влияющую негативно на окружающую среду и верхние слои атмосферы земной поверхности.

Задача: найти выработку электроэнергии в ГЭС, если мощность электростанции 450 кВт, а число часов работы ГЭС пропорционально 24ч.

Решение:

$$\mathcal{E} = N \cdot T$$

$$N = 450 \text{ кВт};$$

$$\mathcal{E} = 450 \text{ кВт} \cdot 24 \text{ ч} = 10800 \text{ кВт} \cdot \text{сут.}$$

$$T = 24 \text{ ч}$$

$$\mathcal{E} = 10800 \text{ кВт} \cdot \text{сут.}$$

Ответ: 10800 кВт.сут.

Сток на гидростанциях (ГЭС) используется для получения энергии, потребность в которых изменяется как в пределах суток, так и в течение года соответственно суточному и годовому графикам нагрузок ГЭС [99]. На рисунке 2.6. показан график суточной нагрузки ЭЭС.

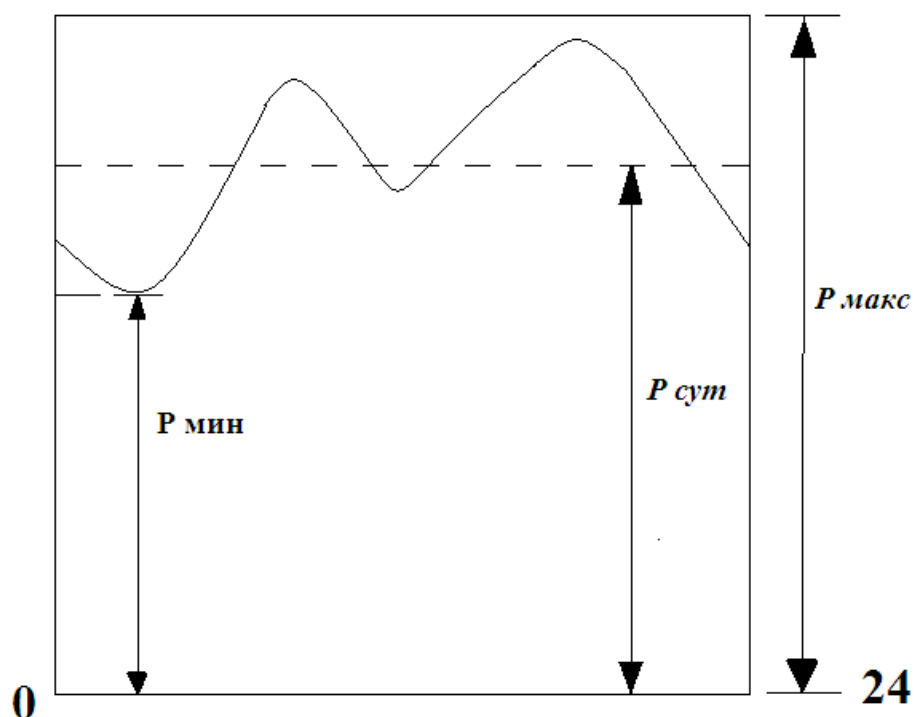


Рисунок 2.6. График нагрузки ЭЭС ($P_{\text{сут}}$ - суточный, $P_{\text{макс}}$ – максимальный, $P_{\text{мин}}$ – минимальный)

При проектировании ГЭС производится выбор наиболее целесообразных и экономичных ее параметров, оборудования и правил эксплуатации с учётом работы в энергосистеме совместно с тепловыми станциями. Для этой цели производится:

- а) выбор схемы использования реки и первоочередных гидростанций;

б) составление водохозяйственного баланса (сток, потери, водопотребление, ёмкостные характеристики водоёма, заиление). На рисунке 2.7. показан график годового максимума нагрузки.

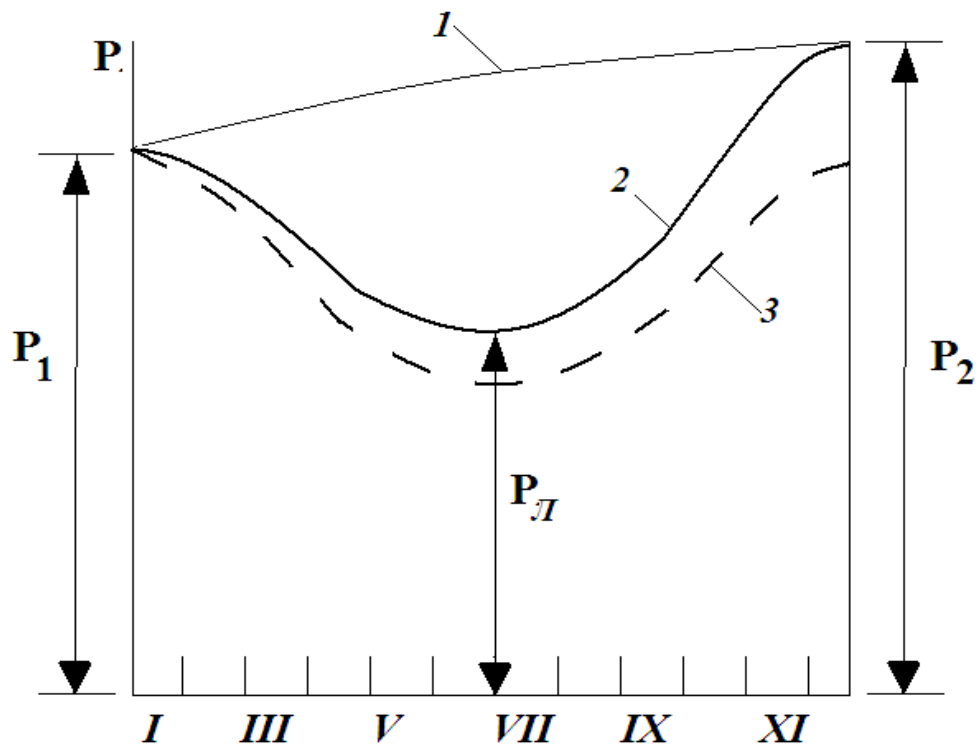


Рисунок 2.7. График годового максимума нагрузки

1- линия прироста;

2- динамическая кривая;

3- статическая кривая;

в) обоснование обеспеченности работы ГЭС и выбор характерных по водности лет или периодов;

г) выбор НПУ водохранилища ГЭС;

д) выбор глубины сработки водоема и режима регулирования стока;

е) выбор установленной мощности и оборудования ГЭС;

ж) определение выработки энергии и мощности ГЭС с выявлением ее роли в покрытии графика нагрузок энергосистемы;

з) расчёт энергетически экономических показателей ГЭС;

и) построение диспетчерских графиков работы водохранилища ГЭС;

к) выбор режима регулирования стока в каскаде ГЭС [76].

Гидравлические характеристики водосбросных и водопроводящих сооружений определяют условия отвода воды из верхнего бьефа в нижний бьеф (рисунок 2.9).

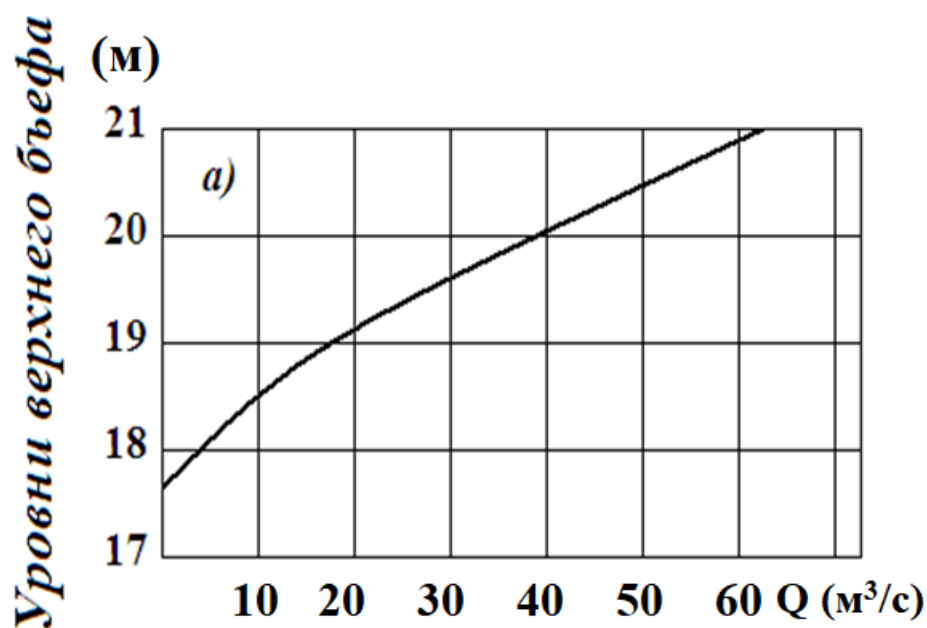


Рисунок 2.8. График пропускной способности водослива плотины

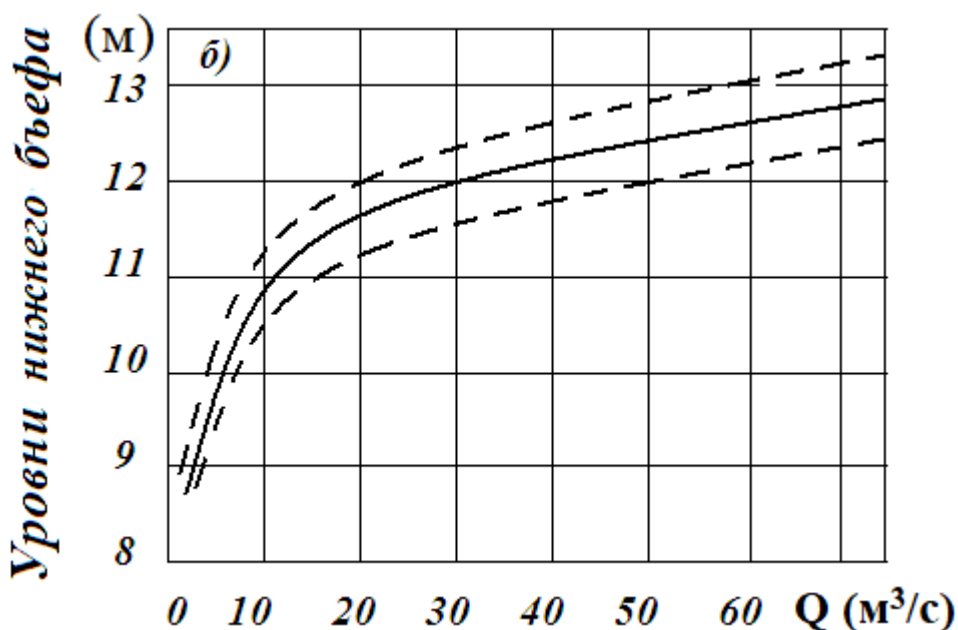


Рисунок 2.9. График зависимости $Q = f(H)$ в нижнем бьефе плотины

По заданным значениям уровни нижнего бьефа, известным методом интерполяции, находим значение расхода воды в нижнем бьефе плотины.

Чтобы учесть возможные отклонения, при проектировании рекомендуется гидравлическую характеристику нижнего бьефа принимать в

виде пучка кривых—основной кривой и двух огибающих, ограничивающих область возможных колебаний связи расходов и уровней (рисунок 2.10) [48].

В ряде случаев ГЭС бывает вынуждена часть своей обеспеченной энергии переводить в базисную часть графика и в маловодные сезоны, что вызывается условиями водного транспорта или другими потребителями воды на нижележащем участке реки.

При указанных ограничениях в работе ГЭС или при отсутствии их и независимо от того, находится ГЭС в энергосистеме или работает изолированно, она всегда характеризуется следующими водными энергетическими показателями;

- обеспеченные среднее суточная и пиковая мощности;
- среднегодовая энергетическая выработка;
- установленная мощность;
- число часов использования установленной мощности в среднем за год;
- капиталовложения общие и удельные на 1 кВт установленной мощности и на 1 кВт.ч. среднегодовой энергетической выработки, а также себестоимость 1 кВт.ч;
- $\alpha_{бр}$ — коэффициент регулирования стока¹
- Коэффициент изменчивости стока
- $\varphi_{бр}$ - коэффициент использования стока² [81].

В гидрологических расчётах для определения величины стока применяем точные моделированные формулы, а для построения кривых обеспеченности необходимо лишь основные статистические параметры стока и их средние квадратические ошибки (σ).

Среднее значение стока (норма):

$$\bar{X} = \sum X_i : n \quad (4)$$

$$\sigma_x = C\vartheta * \bar{X} : \sqrt{n} \quad (5)$$

Коэффициент вариации:

$$C\vartheta = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (6)$$

$$\sigma_{C\vartheta} = \frac{C\vartheta\sqrt{1+C\vartheta^2}}{\sqrt{2n}} \quad (7)$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \overline{XC\vartheta} \quad (8)$$

¹Коэффициент регулирования стока $\alpha_{бр}$ имеет своим верхним пределом единицу. При весьма больших полезных объёмах водохранилища теоретически он может быть несколько более единицы, т.е. $\alpha_{бр} > 1$.

²Во время регулирования расхода по жёсткому графику возврата коэффициенты $\alpha_{бр}$ и $\varphi_{бр}$ практически совпадают.

При невысокой обеспеченности, то есть при частых перебоях $\varphi_{бр} < \alpha_{бр}$.

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\sigma\sqrt{1+3C_{\vartheta}^2}}{\sqrt{2(n-1)}} \quad (9)$$

Коэффициент асимметрий:

$$C_s = \frac{\sum(K-1)^3}{nC_{\vartheta}^3} \quad (10)$$

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n}} \sqrt{1 + 6C_{\vartheta}^2 + 5C_{\vartheta}^4} \quad (11)$$

В гидрологических расчётах широкое применение нашли семейство кривых С. Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля.

1. $C_s = C_v$; 2- $C_s = 2C_v$; 3- $C_s = 4C_v$;

2.2. Обзор методов расчётов регулирования речного стока

Регулирование стока – это перераспределение объема речного стока во времени, изменение его режима в соответствии с потребностями различных отраслей народного хозяйства (гидроэнергетика, ирригация, водоснабжение, водный транспорт и т. д.). Это делается путем хранения избыточной воды в водохранилищах в периоды, когда расход превышает потребность или угрожает наводнениями, а также путем осушения накопленных запасов в периоды неурожая. В зависимости от продолжительности периода накопления различают суточное, недельное, сезонное, годовое и долговременное

регулирование стока [62]. Существует также долгосрочное регулирование потока. Может наблюдаться компенсаторная и вторичная регуляция или изолирующая и непериодическая регуляция. Циркадная (суточная) регуляция заключается в перераспределении суточного расхода Q практически равномерно по часам суток на основе неравномерности потребления воды.

Еженедельное регулирование меженных расходов на реке при его полном использовании означает практически равномерное перераспределение стока в течение недели по норме водопотребления в будние дни и минимизацию водопотребления в нерабочие дни. Здесь сток и среднее водопотребление равны:

$$q_{\text{ср}} = Q = \frac{q_1(n-k) + q_2k}{n} \quad (12)$$

где q_1 - потребление воды в тех днях, когда был рабочий день.

q_2 - потребление воды в тех днях, когда не было рабочего дня.

N - длительность недели (декады)

k - длительность нерабочих дней.

$$q_1 = q_{\text{ср}} + \frac{(q_{\text{ср}} - q_2)k}{n-k} \quad (13)$$

Дополнительный объём потребления воды в рабочие дни:

$$V_1 = (q_1 - q_{\text{ср}})(n-k) 86400 \quad (14)$$

Избыток объёмов воды в нерабочие дни:

$$V_2 = (q_{\text{ср}} - q_2)k 86400 \quad (15)$$

Подставляя значение $q_{\text{ср}}$ из формулы (11) в одну из двух последних формул, найдём необходимую ёмкость недельного регулирования:

$$V = V_1 = V_2 = k(q_1 - q_2) \frac{n-k}{n} 86400 \text{ м}^3 \quad (16)$$

Сезонное (годовое) регулирование заключается в перераспределении стока из многоводья в межень.

Как поясняют С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель [48], все случаи регулирования обусловлены долговременным регулированием, учитывая очень редкие колебания расхода. Долговременное регулирование расхода,

когда величина гарантированного водопотребления превышает гарантированную величину годового расхода, то есть ($A_{бр} > \Gamma_p$) требуется перераспределение с помощью водохранилища части стока из многоводных лет на маловодные. Компенсационное регулирование применяется для покрытия дефицита между годовым планом водопотребления и расчётным гидрографом сброса с нерегулируемой территории.

Таблица 2.2

Гидроэлектростанции на реке Вахш Республики Таджикистан

Река Вахш	Объем водохранилища, км ³	Установленная мощность, МВт	Выработка, млрд. кВт.ч/год	Стоимость проекта млн.долл.США
Рогунская ГЭС (строиться)	13,3	3600	13,0	543,5
Шуробская ГЭС (проект)	0,027	850	2,1	987
Нурекская ГЭС	10,5	3000	11,2	-
Байпазинская ГЭС	0,084	600	2,9	-
Сангтудинская ГЭС-1	2,7	670	2,5	482,5
Сангтудинская ГЭС-2	0,932	220	0,665	220
Головная ГЭС	-	240	0,96	-
Перепадная ГЭС	-	29,95	0,21	
Центральная ГЭС	-	15,1	0,114	
Итого	27,543	9225,05	33,649	2233

Вторичным (или повторным) регулированием стока можно назвать такой вид регулирования, который по существу определяется не режимом стока, а системой регулирования вышестоящего водохозяйственного объекта, не удовлетворяющей требованиям водопотребителей ниже. Например, гидроэлектростанция, регулирующая расход для покрытия зимней пиковой нагрузки (исходя из годовой динамики затрат на турбину), не может создать условия для снижения расхода оросительной воды с пиком летом [54]. На реке

Вахш создан каскад ГЭС с водохранилищами, имеющие различную степень регулирования стока (таблица 2.2).

Рогунская ГЭС является самой верхней частью запланированного и частично построенного каскада на реке Вахш. Пять из них уже работают, Рогунская ГЭС строится, а Шуробская ГЭС находится в стадии планирования. Необходимо будет принять во внимание тот факт, что Нурекская плотина, высокая плотина с большим водохранилищем, находится в эксплуатации около 30 лет, и что она также обеспечивает воду для орошения в нижнем течении. Другие существующие гидроэнергетические проекты (которые также должны быть рассмотрены), имеют довольно небольшой запас с ограниченным влиянием на речной сток. На основе выполненных гидрологических расчётов речного стока в РТ был построен ряд ГЭС. На рисунке 2.10. показана схема каскада гидроэлектростанций на реке Вахш.

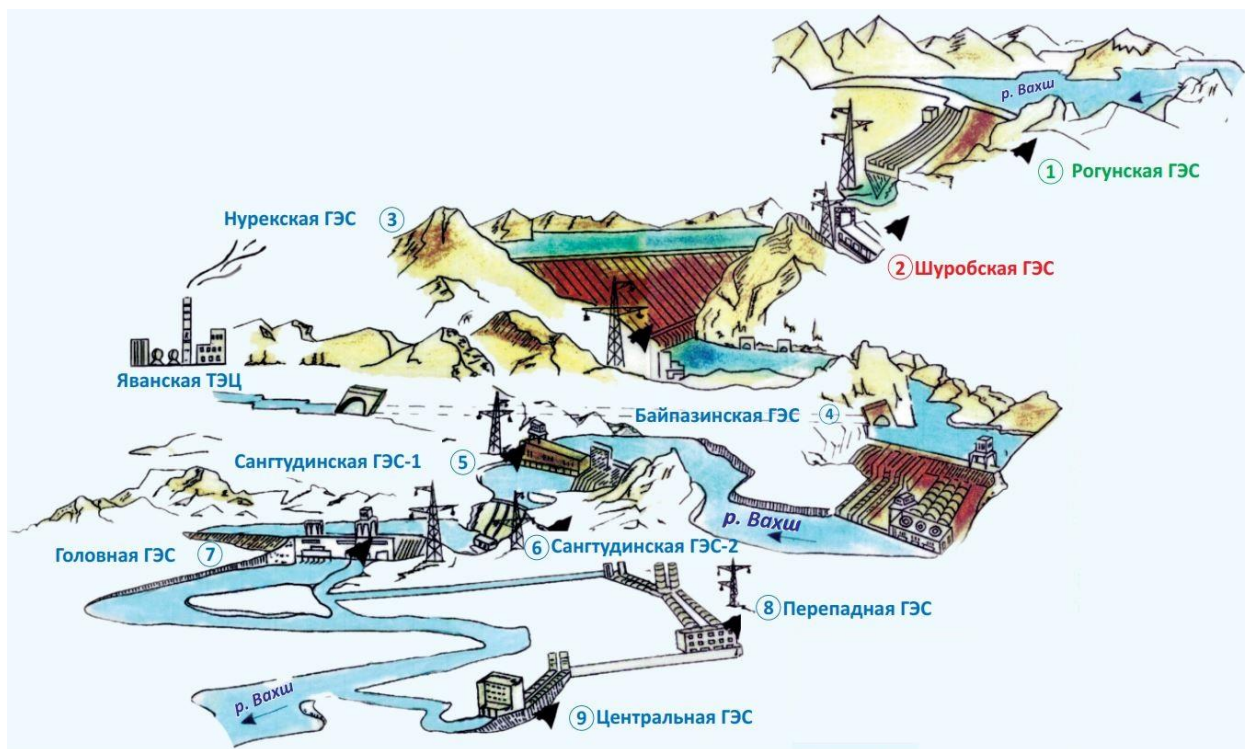


Рисунок 2.10. Схема каскада гидроэлектростанций на реке Вахш. Республики Таджикистан (<https://www.mewr.tj/?cat=17>).

Во время регулирования стока для каскада гидроэлектростанций, последовательно расположенных друг за другом, режим регулирования гораздо усложняется. Каждая ГЭС, отличается своеобразием влияния

выщележащей установки величинами притока с собственного водосброса, величинами напора, установленной мощности, относительной ёмкости (по отношению к среднему стоку) и т. п. Рассмотрим регулирование стока реки Вахш для Вахшского каскада гидроэлектростанций. Целью нашего исследования является выявление диапазона влияния зарегулированного стока при таком сложном режиме регулирования. Многолетние исследования гидрологического режима и энергоиспользования реки Вахш показали, что многолетнее и годовое регулирование стока реки Вахш по каскадам гидроэлектростанций производить наибольший эффект. По имеющимся оценкам, имеется 9 створов, выгодных для строительства гидроэлектростанций с водохранилищами. В настоящее время эксплуатируются 7 из 9 возможных площадок с установленной мощностью 4570 МВт.

Каскад гидроэлектростанций на реке Вахш

Гидроэлектростанция Головная, Перепадная и Центральная

За период 1954 – 1960 годы общий потенциал электростанции страны на 3,1 и производство электроэнергии на 4,1 раз увеличилось. В 1960 году централизованное обеспечение электроэнергией потребителей энергии составляло 85,5 %. В эти годы в магистральном ирригационном канале Вахш гидроэлектростанция Головная (1962–1963 годы), Перепадная и Центральная были сданы в эксплуатацию. В 1959 – 1964 годах каскад гидроэлектростанций на реке Вахш – Головная, мощностью 210 МВт и Перепадная (1959 году) с мощностью 29,95 МВт Центральная (1954 году), с мощностью 18,4 МВт, были сданы в эксплуатацию.

В те годы гидроэлектростанция Головная считалась одной из величайших электростанций в Центральной Азии. В 2010 -2013 годы по инициативе Правительства Республики Таджикистан и с привлечением зарубежных инвестиций электростанция «Головная» была обновлена и модернизирована. Турецкая Компания Генсерн на основе проекта по

восстановлению отрасли гидроэнергетики, обновил четвёртый агрегат электростанции.

До 1-го января 2013 года электростанция производила 32,86 миллиард. кВт·час. электроэнергии.

Головная гидроэлектростанция

Установлены три гидроагрегата с мощностями по 45 тыс. кВт и три гидроагрегата с мощностями по 35 тыс. кВт. Общая установленная мощность электростанции составляет 240 тыс. кВт.

Таблица 2.3

Производство электроэнергии в Головной ГЭС

Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час
1963	1763	1979	996,5	1996	946,6
1964	358,1	1980	1142,6	1997	787,8
1965	476,5	1981	1102,1	1998	737,3
1966	625,3	1982	963,9	1999	947,7
1967	668,7	1983	938,7	2000	918,7
1968	792,3	1984	1178,9	2001	952,9
1969	953,2	1985	1178,1	2002	1034,1
1970	1028,8	1986	945,3	2003	1028,4
1971	943,7	1987	1021,4	2004	1092,1
1972	903,6	1988	1191,9	2005	1121,2
1973	808,9	1989	969,4	2006	1105,2
1974	689,0	1990	1148,0	2007	1115,4
1975	763,3	1991	1113,7	2008	892,6
1976	719,3	1992	1011,8	2009	842,0
1977	936,4	1993	1058,4	2010	868,7
1978	918,8	1994	1041,3	2011	914,4
		1995	920,9	2012	742,5

Первый агрегат электростанции запущен в 1962 г. и остальные 5 агрегатов были введены в действие в 1963 году. Энергетической системой присоединена с 220 кВт-ми линиями электропередач, тремя линиями электропередач и девяти 110 кВт-ми линиями электропередач. В таблице 2.6 приведены выработка электроэнергии в Головной ГЭС.

В гидроэлектростанции установлены два гидроагрегата с мощностями по 7550 кВт. Общая установленная мощность гидроэлектростанции составляет 15100 кВт. Электростанция была введена в действие в 1964 году. В энергетической системе присоединена с двумя 110 кВт-ми линиями электропередач.

Таблица 2.4

Производство электроэнергии в Перепадной ГЭС

Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час
1960	156,4	1977	227,7	1995	189,0
1961	212,3	1978	225,7	1996	186,4
1962	214,9	1979	218,2	1997	151,2
1963	215,7	1980	226,7	1998	109,4
1964	197,2	1981	213,8	1999	147,9
1965	207,0	1982	215,1	2000	196,2
1966	200,8	1983	218,7	2001	206,1
1967	233,1	1984	211,5	2002	209,7
1968	246,5	1985	202,4	2003	203,4
1969	228,6	1986	209,4	2004	181,8
1970	221,8	1987	1199,6	2005	188,5
1971	231,8	1988	220,2	2006	187,7
1972	215,4	1989	206,8	2007	136,4
1973	226,3	1990	212,0	2008	138,9
1974	220,4	1991	190,8	2009	198,2
1975	224,9	1992	204,6	2010	167,5
1976	216,8	1993	196,9	2011	170,2
		1994	182,2	2012	188,4

ГЭС имеет 2 гидроагрегата мощностью 10 800 кВт и один гидроагрегат мощностью 8 350 кВт. Суммарная установленная мощность электростанции составляет 29 950 кВт.

Станция введена в эксплуатацию в 1958 году. Подключение к электросети осуществляется по четырем линиям электропередачи по 110 кВ и трем линиям электропередачи по 35 кВ. В таблице 2.7 показано производство электроэнергии на Перепадной ГЭС. В Таблице 2.8 также показано производство электроэнергии на центральной ГЭС.

Центральная гидроэлектростанция

С первого дня эксплуатации до 1-января 2013 года гидроэлектростанция Головная производила 45,73 млрд, кВт/час электроэнергии, гидроэлектростанция Перепадная— 10,609 млрд. кВт. час., гидроэлектростанция Центральная 1,596 млрд. кВт/часов производили электроэнергию, в совокупности по каскаду составляют 57,935 млрд кВт. часов электроэнергии.

Таблица 2.5

Производство электроэнергии в Центральной ГЭС

Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час
1964	10,0	1980	36,3	1996	-
1965	49,1	1981	34,7	1997	4,6
1966	46,9	1982	39,9	1998	-
1967	56,8	1983	35,4	1999	-
1968	56,0	1984	40,7	2000	15,1
1969	58,0	1985	38,7	2001	30,7
1970	57,5	1986	34,7	2002	27,6
1971	54,8	1987	42,8	2003	26,0
1972	35,9	1988	34,9	2004	25,8
1973	54,5	1989	32,7	2005	41,1
1974	55,3	1990	30,2	2007	18,1
1975	54,7	1991	28,1	2008	32,1
1976	54,6	1992	11,0	2009	32,0
1977	47,4	1993	-	2010	41,2
1978	46,6	1994	-	2011	36,7
1979	44,0	1995	-	2012	42,5

Нурекская ГЭС – крупнейшая гидроэлектростанция Таджикистана, построенная на реке Вахш, с установленной мощностью 3000 МВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 11,2 млрд кВтч/год. Она обеспечивает около 75% всей выработки электроэнергии в республике. Проектирование ГЭС началось в 1950-х годах, строительство началось в 1961 году. Первый агрегат станции был запущен 15 ноября 1972 года, а последний агрегат станции введён в эксплуатацию в декабре 1979 года. На Нурекской ГЭС построена уникальная 300-метровая глиняная плотина, которая является самой высокой плотиной в мире. При строительстве станции образовалось водохранилище площадью зеркала 98 км², объёмом 10,5 км³ и протяжённостью около 70 км.

Сангтудинская ГЭС-1 входит в тройку крупнейших гидроэлектростанций Таджикистана наряду с Нурекской ГЭС и Байпазинской ГЭС. Это пятая очередь каскада Вахшских ГЭС. Электростанция построена на реке Вахш установленной мощностью 670 МВт (четыре агрегата по 167,5 МВт каждый) и среднегодовой выработкой электроэнергии 2,73 млрд кВтч/год. Высота плотины станции 75 метров, площадь поверхности водохранилища 9,75 км², объём 2,58 км³. Первый гидроагрегат ГЭС был введен в эксплуатацию в январе 2008 года, а официальный ввод электростанции в эксплуатацию состоялся 31 июля 2009 года.

Сангтудинская ГЭС-2 – проектная мощность станции 220 МВт. Сангтудинская ГЭС-2 способна вырабатывать ЭЭ до 1 млрд кВт*ч в год. Первый агрегат ГЭС был введен в эксплуатацию 5 сентября 2011 года. Второй энергоблок введен в эксплуатацию в сентябре 2014 года. В таблице 2.3 представлена выработка электроэнергии на Нурекской ГЭС.

Таблица 2.6

Производство электроэнергии в Нурекской ГЭС

Год	Произ. э/э.млн. кВт. час	Год	Произ. э/э.млн. кВт. час	Год	Произ. э/э.млн. кВт. час	Год	Произ. э/э.млн. кВт. час
1972	61,5	1982	8840,0	1992	11540,9	2002	11005,0
1973	1055,1	1983	9012,9	1993	12410,7	2003	11638,6
1974	1548,3	1984	11789,2	1994	11940,6	2004	11584,1
1975	1951,4	1985	11404,3	1995	10504,0	2005	12292,9
1976	2060,0	1986	8932,6	1996	10540,0	2006	11946,0
1977	4305,9	1987	11091,0	1997	9792,9	2007	12388,0
1978	5651,6	1988	130000	1998	10145,7	2008	10633,0
1979	7916,4	1989	9945,2	1999	10954,3	2009	10410,0
1980	10514,7	1990	12044,4	2000	9934,1	2010	10553,0
1981	10101,8	1991	11703,0	2001	10096,6	2011	9879,2
						2012	10814,1

Байпазинская гидроэлектростанция

Станция построена на реке Вахш. В гидроэлектростанции установлены 4 гидроагрегата с мощностями по 150 тыс. кВт. Общая установленная мощность электростанции составляет 600 МВт.

Таблица 2.7

Производство электроэнергии в Байпазинской ГЭС

Год	Произ. э/э.млн. кВт. час	Год	Про из. э/э.млн. кВт. час	Год	Про из. э/э.млн. кВт. час
1985	917,4	1994	2537,9	2003	2407,6
1986	1372,0	1995	2222,0	2004	2448,7
1987	1568, 0	1996	2306,5	2005	2513,7
1988	1908,8	1997	2164,0	2006	2535,0
1989	1883,9	1998	2228,1	2007	2556,0
1990	2648,3max	1999	2366,8	2008	2239,0
1991	2613,0	2000	2082,4	2009	1993,0

1992	2289,3	2001	2084,9	2010	2003,2
1993	2256,0	2002	2003,2	2011	2077,9
				2012	1869,5

Три первые агрегата электростанции запущены в 1985 году и последняя – четвёртая введена в действие в 1986 году. Соединена с энергетической системой страны посредством четырёх 220 кВт –ых линий электропередач.

До 1-го января 2013 года гидроэлектростанция производила 60,096 млрд. кВт/час электроэнергии. В таблице 2.4 приведены выработка электроэнергии в Байпазинской ГЭС.

Кайракумская гидроэлектростанция

Кайракумская гидроэлектростанция «Дружба народов», которая сдана в эксплуатацию в 1957 году, мощностью 126 тыс. кВт, отличалась эффективным освоением гидроэнергетических ресурсов рек Центральной Азии. Эта гидроэлектростанция имеет особое значение для электрификации северных районов страны.

Таблица 2.8

Производство электроэнергии в Кайракумской ГЭС

Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Произв. э/э.млн. кВт. час
1957	180,9	1971	688,2	1985	453,9	764,3
1958	453,4	1972	635,3	1986	373,5	659,5
1959	689,1	1973	676,0	1987	448,4	629,0
1960	727,7	1974	296,1	1988	808,8	683,4
1961	416,8	1975	243,8	1989	556,2	836,4
1962	362,6	1976	333,6	1990	579,6	791,3
1963	527,8	1977	277,3	1991	640,0	624,8
1964	684,4	1978	315,3	1992	691,5	646,0
1965	364,9	1979	441,2	1993	728,5	646,6
1966	725,8	1980	528,0	1994	805,2	487,7
1967	580,9	1981	585,4	1995	575,9	521,8
1968	625,7	1982	554,3	1996	736,4	898,7max
1969	855,2	1983	478,2	1997	632,2	712,9
1970	798,5	1984	445,1	1998	743,4	695,1

Кайраккумская гидроэлектростанция со своим водохранилищем, посредством сезонного регулирования русла реки, служит для обеспечения электроэнергией и водой население городов, расположенных в окраинах реки Сырдарья. На рисунке 2.11 показаны пропуски воды из Кайраккумского водохранилища при ирригационном и энергетическом режимах. В таблице 2.4 приведена выработка электроэнергии в Кайраккумской ГЭС. Эта гидроэлектростанция имеет 6 гидроагрегатов с мощностями по 21 тыс. кВт. электроэнергии. Агрегаты начали работу в следующем порядке:

1956 году - два агрегата.

1957 году - четыре агрегата.

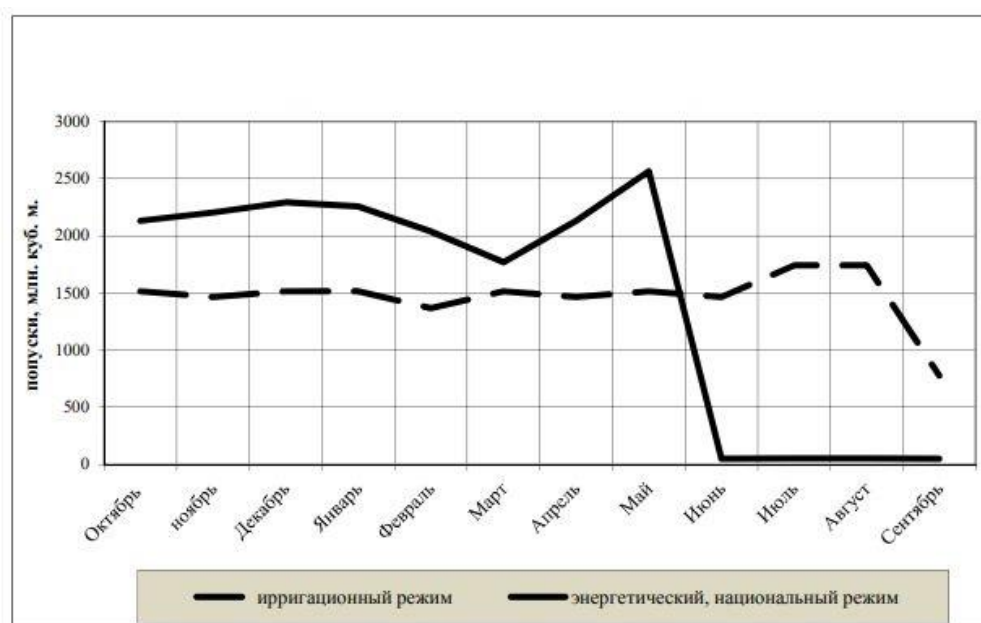


Рисунок 2.11. Пропуски воды из Кайраккумского водохранилища при ирригационном и энергетическом режимах

При рациональной энергетической работе Кайраккумской ГЭС выработка электроэнергии на ГЭС в самый трудный для нее зимний период составляет 752,25 млн кВт.ч, что почти в полтора раза больше, чем в режиме орошения (523,27 млн кВт.ч).

Каскад гидроэлектростанций на реке Варзоб

Гидроэлектростанция «Варзоб -1» начала работу в конце 1936 года. Первый агрегат гидроэлектростанции был введен в действие в 1936 году, и второй введен в действие в 1937 году. Из двух агрегатов мощностями по 3720 кВт, суммарно составляет 7440 кВт и в 2012 году Компанией BHEL агрегаты и их вспомогательное оборудование были полностью заменены. Мощность агрегатов была увеличена в 2 раза, т.е. $2 \times 4750 = 9500$ кВт. В таблицах 2.9, 2.10 и 2.11 приведены выработка электроэнергии в трех гидроэлектростанций реки Варзоб.

Таблица 2.9

Производство электроэнергии в ГЭС «Варзоб -1»

Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час
1937	11,9	1956	40,6	1975	50,9	1994	35,4
1938	19,5	1957	51,4	1976	55,5	1995	36,4
1939	26,3	1958	48,8	1977	55,4	1996	29,5
1940	30,8	1959	50,8	1978	53,0	1997	29,4
1941	37,1	1960	50,2	1979	50,8	1998	34,9
1942	37,3	1961	48,0	1980	52,7	1999	38,0
1943	43,5	1962	53,2	1981	53,6	2000	29,7
1944	43,5	1963	55,3	1982	54,6	2001	28,3
1945	42,1	1964	53,9	1983	53,6	2002	38,1
1946	41,5	1965	54,3	1984	52,2	2003	23,2
1947	47,2	1966	54,7	1985	52,0	2004	33,07
1948	49,7	1967	55,8	1986	49,2	2005	41,94
1949	39,3	1968	54,8	1987	55,0	2006	44,68
1950	40,3	1969	58,9-max	1988	44,6	2007	44,6

1951	29.9	1970	57,4	1989	53.0	2008	34.5
1952	37.0	1971	50.9	1990	50.4	2009	36.2
1953	37.2	1972	53.6	1991	54.1	2010	31.17
1954	43.6	1973	54.6	1992	52.1	2011	25.8
1955	37.3	1974	50.0	1993	29.6	2012	2.67

В энергетическую систему присоединена посредством четырёх 35 кВт-ых линий электропередач. От начала эксплуатации до 1-го января 2013 года гидроэлектростанция производила 3 млрд. 281.кВт.часов электроэнергии. Гидроэлектростанция «Варзоб-2» начала работу в 1949 году. Состоит из двух агрегатов мощностями по 7200 кВт, суммарно 14400 кВт.

Таблица 2.10

Производство электроэнергии в ГЭС «Варзоб -2»

Год	Произв. э/э.млн. кВт. час.	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час.	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час.	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час.
1949	24,0	1965	83,6	1981	77,0	1997	23,4
1950	46,9	1966	81,9	1982	75,9	1998	20,1
1951	65,9	1967	84,6	1983	65,7	1999	40,4
1952	60,8	1968	85,1	1984	77,2	2000	44,3
1953	69,5	1969	88,3	1985	80,4	2001	36,8
1954	74,2	1970	78,9	1986	72,6	2002	20,5
1955	64,8	1971	82,1	1987	86,9	2003	30,7
1956	72,3	1972	83,1	1988	73,0	2004	39,0
1957	75,2	1973	51,5	1989	64,1	2005	13,3
1958	78,0	1974	80,1	1990	73,3	2006	32,0
1959	79,6	1975	56,8	1991	55,6	2007	32,5
1960	71,8	1976	81,1	1992	37,6	2008	26,7

1961	76,0	1977	80,2	1993	51,7	2009	0
1962	78,1	1978	83,0	1994	49,0	2010	15,4
1963	82,3	1979	77,4	1995	26,9	2011	29,3
1964	86,3	1980	72,0	1996	22,9	2012	13,26

В энергетическую систему присоединена пятью 35 кВт-ми линиями электропередач. Гидроэлектростанция «Варзоб -3». Начал работу в 1952 году. Состоит из двух агрегатов мощностями по 1760 кВт, суммарно 3520 кВт. В энергетическую систему присоединена посредством двух кабельных линий электропередач, которые передают электроэнергию на РУ-6 кВт «Варзоб -2».

С первого дня деятельности до 1 января 2013 года гидроэлектростанция производила 628,5 млн. кВт/часов электроэнергии. «Каскад гидроэлектростанций на реке Варзоб» в энергетической системе Таджикистана считаются первыми. Так, же в состав «Каскад гидроэлектростанций на реке Варзоб» входят малые гидроэлектростанции «Хазара -1» и «Хазара-2», каждая из которых имеют мощности по 250 кВт.

Таблица 2.11

Производство электроэнергии в ГЭС « Варзоб-3»

Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час	Год	Произв. э/э.млн. кВт. час
1952	1,7	1967	17,5	1982	13,1	1997	1,3
1953	5,7	1968	18,8	1983	НД	1998	1,3
1954	11,4	1969	16,2	1984	11,7	1999	4,1
1955	13,9	1970	13,1	1985	13,8	2000	7,5
1956	15,4	1971	15,8	1986	11,2	2001	61,1
1957	16,9	1972	15,8	1987	14,2	2002	3,1
1958	18,6	1973	7,5	1988	11,3	2003	5,1
1959	17,8	1974	12,3	1989	12,4	2004	5,6

1960	15,9	1975	8,6	1990	13,3	2005	1,5
1961	17,6	1976	13,4	1991	9,0	2006	4,3
1962	18,7	1977	14,5	1992	5,7	2007	4,6
1963	21,0	1978	14,4	1993	9,5	2008	4,6
1964	19,8	1979	13,9	1994	8,6	2009	0
1965	20,1	1980	13,2	1995	0,2	2010	0,841
1966	17,6	1981	12,7	1996	0,841	2011	0,607
						2012	2,36

При регулировании стока для каскада гидроэлектростанций, последовательно расположенных друг за другом, режим регулирования гораздо усложняется. Каждая ГЭС отличается своеобразием влияния вышележащей установки величинами притока с собственного водосброса, величинами напора, установленной мощности, относительной ёмкости (по отношению к среднему стоку) и т.п.

Очевидно, что Рогунское водохранилище по всем своим параметрам крупнее Нурекского водохранилища. При составлении схемы энергоиспользования, Рагунское водохранилище выступает как крупное водохранилище - регулятор на верхнем участке реки.

Наиболее важным вопросом регулирования стока по каскаду гидроэлектростанций является вопрос об очередности опорожнения и наполнения водохранилищ. Сработка водохранилищ каскада ГЭС начинается в такой последовательности, чтобы сумма мощности и энерговыработки по каскаду была наибольшей. Если ГЭС будут работать в энергосистеме, а не автономно, тогда возможно маневрировать при перераспределении мощности между отдельными ГЭС каскада.

Рассмотрим ряд наибольших характерных показателей 2015 и 2016 годов. В 2015 году наибольший показатель соответствует июлю месяцу, то есть периоду половодья, в котором выработано 1142096 кВт.час электроэнергии. Годовая выработка составляет 10385237 кВт.час. В 2016 году

тоже наибольший показатель соответствует июлю месяцу (период половодья), в котором выработано 1115525 кВт.час, электроэнергии. Годовая выработка составляет 10121142 кВт.час. электроэнергии. В 2015 году по сравнению с 2016 годом выработано на 264095 кВт.час больше электроэнергии.

При исследованиях выявлены, что за 2017 по 2020 исследуемые годы увеличивалось выработка электроэнергии. Самая наибольшая выработка электроэнергии за исследуемые годы соответствует показателям 2019 года. В 2019 году в период половодья выработано 1358334 кВт.час электроэнергии, всего за год 11149624 кВт.час, электроэнергии.

Для оптимизации работы гидроузлов целесообразно применение моделированного стока. Для моделирования стока существует ряд методов моделирования. Для нашего примерного регулирования стока приемлемы методы вероятностного расчёта и методы оперативного прогноза. Применяя на практике эти методы, возможно получить хорошие результаты. Эти методы можно применять, как при годовом регулировании стока, так и при многолетнем регулировании.

Сток воды является природным ресурсом для страны. Водохранилища и плотины имеют огромное значение для каскадного регулирования стока реки Вахш. Вода водохранилища главным образом дает гарантию водоснабжения для орошения бытового и промышленного использования во время засухи и является важнейшей заботой в решении проблемы уменьшения негативных последствий при наводнениях [4].

2.3. Технико-экономические показатели и рациональное использование энергоресурсов

Рациональное использование естественного освещения вместо искусственного повышает производительность труда не ниже чем на 3-4%. Поэтому важно отметить, что введение в стране “летнего” времени с переводом стрелки часов на 1 час вперёд, помимо ежегодной экономии около 3,5 млрд.кВт.ч электрической энергии, облегчения прохождения вечерних

максимумов нагрузки в энергосистемах, дает увеличение на 163 час в год светлой части суток в период активной деятельности людей. Определенный эффект может дать внедрение щелевых, а в определенных случаях и стекловолоконных световодов для освещения закрытых и подземных помещений с помощью дневного концентрированного солнечного света. Такие установки могут использоваться в сочетании с электрическим освещением. При этом достигается экономия электрической энергии в дневное время [44].

На современном этапе и на обозримое будущее вопросы энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии в энергообеспеченности нашей страны и экономической конкурентоспособности в целом будут в числе важнейших экономических вопросов.

Возрастающий спрос на энергию, проблемы, связанные с надёжностью электроснабжения, а также угрозы возможных последствий в связи с изменением климата, вынуждают весь мир в целом и нашу страну, в частности, к существенному повышению энергетической эффективности.

Только после первого нефтяного кризиса, в 1970 году, в целях снижения спроса на энергию началось всестороннее содействие повышению энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии. Во многих развитых странах (зависящих от импортных поставок энергии) были реализованы различные программы. Позднее, после саммита в 1992 году в Рио-де-Жанейро, где были приняты политические обязательства по обеспечению устойчивого развития, решение этих же задач приобрело экологическое направление. В нашей стране, за исключением частично используемого электроэнергетического потенциала, другие возобновляемые источники энергии практически используются незначительно.

Сама природа наделила нас возможностью наиболее эффективно использовать возобновляемые источники энергии. Это, в первую очередь, электроэнергетический потенциал Таджикистана. Во вторых, использование солнечной энергии для нагрева воды (для нужд населения и промышленных

нужд). Оба направления практически относятся к наиболее экологически чистым, используемым человечеством в наше время. Первое позволит обеспечить электроэнергетическую мощность страны, второе экономии энергии при нагреве воды.

Таблица 2.12

Основные экономические и социальные показатели, млн. сомони

Наименование	За декабрь 2015 г.	Декабрь 2015 г. в % к декабрю 2014 г.	Январь 2015 г. к декабрю 2015 г.	Январь-декабрь 2015 г. в % к январю-декабрю 2014 г.	Справочно	
					Декабрь 2014 г. в % к декабрю 2013 г.	Январь-декабрь 2014 г. в % к январю-декабрю 2013 г.
Объем промышленной продукции, включая электроэнергию, газ и водоснабжение, млн.сомони ²	1315,7	99,4	12173,4	111,2	124,8	105,1
В том числе:						
Добывающая промышленность	174,3	162,3	1639,3	116,5	118,3	124,8
Обрабатывающая промышленность	885,0	90,4	7985,7	110,2	128,1	101,0
Электроэнергия, газ и водоснабжений	256,4	106,8	2548,4	111,4	115,2	107,1
Индексы цен на конец периода, в процентах						
Индексы цен производителей промышленной продукции	Декабрь 2015 г. к		Январь-декабрь 2015 г. в % к январю-декабрю 2014 г.		Справочно	
	Ноябрю 2015 г.	Декабрю 2014 г.			Январь-декабрь 2014 г. к январю-декабрю 2013 г.	
	99,5	103,0	104,0		108,0	

В стране имеется технология и опыт производства и эксплуатации по обоим направлениям. Поэтому, именно в нашей стране существует возможность наибольшей экономической эффективности при интегрированном подходе в выработке единой государственной энергетической стратегии в области энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии, так как они ведут к снижению в

потребности коммерческого топлива и устойчивому развитию энергетики фактически при минимальных затратах [12].

В январе-декабре 2015 года промышленными предприятиями РТ произведено продукции на сумму 12173,4 млн. сомон, по сравнению с январём – декабрем 2014 года объем производства промышленной продукции увеличился на 11,2 % в сопоставимых ценах [91]. В таблице 2.12 приведены основные экономические и социальные показатели.

Темп роста производства промышленной продукции рассчитан на основании индекса цен производителей промышленной продукции. В таблице 2.13 приведён объём производства промышленной продукции по регионам.

Таблица 2.13

Объем производства промышленной продукции по регионам в январе – декабре, млн. сомони

Наименование	Добывающая Пром-ность.		За 2015 год в % к	Обрабат-щая Пром-ность		2015 год в % к	Производство, распределение электроэнергии, газа и воды		2015 год в % к
	2014г.	2015г.	2014г.	2014г.	2015г.	2014г.	2014г.	2015г.	2014г.
ГБАО	2,7	3,7	139,4	22,9	35,3	147,2	41,1	50,1	115,8
Согдийская Область	1102,2	1286,2	117,6	2467,9	3103,0	120,3	204,5	231,4	107,5
Хатлонская Область	201,0	237,6	119,2	1744,0	2077,7	114,0	1659,6	1960,3	112,3
г. Душанбе	6,8	6,4	95,7	906,6	1037,2	109,5	190,1	218,9	109,5
РРП	105,6	105,4	100,6	593,6	807,9	130,2	78,4	87,7	106,3
Республика Таджикистан ^{2,3}	1418,3	1639,3	116,5	6936,6	7985,7	110,2	2173,7	2548,4	111,4

2- с учётом негоссектора 3) - данные рассчитаны с применением индекса цен производителей промышленной продукции.

Предприятиями Министерства энергетики и водных ресурсов произведено продукции на сумму 1937,5 млн. сомон [91]. В таблице 2.14 приведён объём производства промышленной продукции за январь-декабрь.

Также в таблице 2.15 показана динамика производства продукции промышленности.

Таблица 2.14

**Объем производства промышленной продукции за январь-декабрь
(тыс. сомони)**

Наименование	2014 г.	2015г.
Добывающая промышленность	1418338	1639343
Обрабатывающая промышленность	6936578	7985707
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	2173658	2548375
Всего:	10528574	12173425

Таблица 2.15

Динамика производства продукции промышленности

Наим-ние	в % к соответствующему периоду предыдущего года	в % к предыдущему месяцу	в% к соответствующему периоду предыдущего года	в% к предыдущему месяцу
	2014 г		2015 г	
Январь	101,7	84,0	103,2	69,5
Февраль	101,2	73,8	126,1	90,1
Март	110,5	103,6	123,7	101,9
Апрель	112,3	119,5	135,1	129,8
Май	107,6	103,5	105,8	80,6
Июнь	116,8	102,6	107,8	104,3
Июль	115,1	94,7	109,3	96,1
Август	108,2	100,1	112,6	103,2
Сентябрь	105,1	118,8	114,5	121,2
Октябрь	105,8	120,8	107,2	113,2
Ноябрь	98,8	90,0	119,3	99,9
Декабрь	124,8	125,0	99,4	104,3

Таблица 2.16

Производство электротехнической продукции

Наименование	Декабрь 2015 г.	в% к		Январь- Декабрь 2015 г.	Январь-Декабрь 2015 г. в % к январю декабря 2014 г.
		Декабрю 2014 г.	Ноябрю 2015 г.		
Трансформаторы силовые, штук	46	1,8 с	7,7 с	200	1,6с

Кабельные изделия (изолированные), Тонн	5,0	-----	135,1	229,2	2,1с
Плиты ресторанные, штук	20	-----	4,0 с	113	2,5с
Светодиодные лампы, штук	-----	-----	-----	3115	2,5с

В таблице 2.16 приведено производства электрической продукции. Объём производства и распределения электроэнергии, газа и воды в январе – декабре 2015 года составил 2548,4 млн. сомон, темп роста производства по данному виду деятельности составил 111,4%. В том числе объём по распределению электроэнергии, газа и воды составил 674,0 млн. сомон, или 101,7 % к соответствующему периоду прошлого года [91]. Объём производства электротехнической продукции увеличился в 1,7 раза за счёт роста выпуска ресторанных плит – в 2,5 раза, трансформаторов – в 1,6 раза и светодиодных ламп – в 2,5 раза [91]. В Республике Таджикистан на 31 декабря 2015 года количество малых ГЭС составило 283 единицы, ими выработано 27,0 млн. кВт/час. электроэнергии [91]. В таблице 2.17 приведены производство электрической и тепловой энергии.

Таблица 2.17

Производство электро и тепло энергии

Наименование	Декабрь 2015 г.	в% к		Январь-Декабрь 2015 г.	Январь-Декабрь 2015 г. в % к январю декабря 2014 г.
		Декабрю 2014 г.	Ноябрю 2015 г.		
Производства электростанция	1487,6	104,4	114,8	17119,2	104,2
В том числе выработка электростанциями:					
Тепловыми	68,2	114,4	2с	301,8	1,9с
Гидроэлектростанциями	1419,4	103,9	112,6	16817,4	103,4

Производство теплоэнергии, тыс. Гкал	74,4	2,4с	3,6с	284,7	2,4с
---	------	------	------	-------	------

Таблица 2.18

Распределение электроэнергии, газа и воды

Наименование	Январь-Декабрь 2015 г. тыс. сомони	Январь – декабрь 2015 г. в % к январю - декабрю 2014 г.
ГБАО	16604,4	108,8
Согдийская область	158253,0	107,8
Хатлонская область	238677,1	99,7
г. Душанбе	172831,7	97,7
РРП	87618,5	104,3
Всего	673984,7	101,7
в том числе:		
Электроснабжение	604998,0	102,2
Теплоснабжение	1065,2	1,5с
Газоснабжение	1021,1	1,7 с
Водоснабжение	66900,4	97,2
Всего	673984,7	101,7

Таблица 2.19

Объем отгруженной продукции промышленными предприятиями

Наименование	Январь-декабрь 2015г. млн. сомони	Доля неотгруженной продукции к товарным ресурсам, %
Добавляющая промышленность	1599,3	5,7
Обрабатывающая промышленность	7609,5	13,0
Распределение электроэнергии, газа и воды	2548,4	-----
Всего	11757,2	9,5

На строительство объектов электроэнергетики освоено 2731,1 млн. сомон инвестиций в основной капитал. По сравнению с январем – декабрем 2014 года объем освоенных инвестиций на строительство объектов электроэнергетики вырос в 2,1 раза.

Таблица 2.20

Объем инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности, млн. сомони

Наименование	Январь-декабрь 2015г.	Январь – декабрь 2015 г. в % к январю- декабрю 2014 г.	Январь-декабрь 2015г. в % к итогу 2015г.	Справочно:
				Январь-декабрь 2014г. в % к итогу.
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	2731,1	2,1 с	30,0	17,0
Из него:				
Производство, передача и распределение электроэнергии	2565,8	2,4 с	93,9	84,6
Производство, передача и распределение воды, газа, пара и горячей воды	108,7	55,2	4,0	15,4

Таблица 2.21

Введено в действие основных фондов по видам экономической деятельности

Наименование	Январь-декабрь 2015г.	Январь – декабрь 2015 г. в % к январю-декабрю 2014 г.	Январь-декабрь 2015г. в % к итогу 2015г.	Справочно:
				Январь-декабрь 2014г. в % к итогу.
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	67,9	2,1	1,8	43,4
Из него:				
Производство, передача и распределение электроэнергии	1,4	0,1	2,1	96,5
Производство, передача и распределение воды, газа, пара и горячей воды	22,8	20,1	33,4	3,5

Таблица 2.22

**Объемы и индексы промышленного производства по видам
экономической деятельности**

Наименование	в фактических ценах		
	Январь-декабрь 2014г., тыс. сомони	Январь-декабрь 2015г., тыс. сомони	Январь-декабрь 2015г. в % к январю- декабрю 2014г.(к сопоставимым ценам)
Добыча энергетических материалов	242256	202628	85,0
Добыча неэнергетических материалов	1176082	1436715	122,9
Добывающая промышленность	1418338	1639343	116,5
Производства электроэнергии	1554596	1874391	114,6
Распределение электроэнергии, газа и воды	619062	673985	111,7
Производство и распределение Электроэнергии, газа и воды	2173658	2548375	111,4
Всего: по видам экономической деятельности	3591996	4187718	227,9

В таблицах 2.21 и 2.22 показано влияние основных фондов по видам экономической деятельности, а также объемы и индексы промышленного производства по видам экономической деятельности. Индекс цен производителей на промышленные товары в декабре 2015 года составил 99,5%, также на продукцию обрабатывающей промышленности – 100,1%, на производство и распределение электроэнергии, газа и воды – 100% и на горнодобывающую промышленность – 94,9%. В том же году индекс цен производителей промышленной продукции составил 103,0%, из которых 105,1% приходилось на обрабатывающую промышленность, 93,9% на горнодобывающую продукцию и 100,0% на производство и распределение электроэнергии, газа и воды. В таблице 2.23 показаны индексы цен производителей для отдельных секторов экономики.

Таблица 2.23

Индексы цен производителей по отдельным видам экономической деятельности

Наименование	Декабрь 2015г. к		Январь-декабрь 2015г. к Январю-декабрю 2014г.	Справочно: Январь-декабрь 2014г. к Январю-декабрю 2013г.
	Ноябрю 2015 г.	Декабрю 2014 г.		
Производство и распределение Электроэнергии, газа и воды	100,0	100,0	105,2	106,0
В том числе:				
Производства передача и распределение электроэнергии	100,0	00,0	05,2	106,0
Производства, передача и распределение пара и горячей воды (тепловой энергии)	100,0	100,0	107,0	107,5

ВЫВОДЫ К ВТОРОЙ ГЛАВЕ

До сих пор в республике существуют стоки крупных и малых, незарегулированных рек и водотоков, на предгорных и склоновых участках, которые нуждаются в регулировании и управлении регулирования стока этих рек. То есть, для регулирования этих рек требуется возведение крупных и малых гидротехнических сооружений, в особенности строительство крупных и малых ГЭС, водохранилищ, водопропускных сооружений, водоотводящих каналов и т. д.

В гидрологических расчетах для определения годовых и сезонных объемов стока, целесообразно применение семейства эмпирических кривых биномиального типа. Все кривые этого семейства для нулевой ординаты дают обеспеченность $P = 100 \%$, а при $C_3=2C_V$ наблюдается полное совпадение с биномиальной кривой обеспеченности.

Глава 3. АНАЛИЗ И ПОДСЧЁТ ПОТЕНЦИАЛА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

3.1. Методы составления и анализа энергетических балансовых уравнений

Основным показателем гидроэнергетических ресурсов, отражающим уровень научно-технического потенциала в гидроэнергетическом строительстве, являются технически возможные к использованию ресурсы. Это величина переменная, соответствующий показатель должен расти вследствие роста научно-технического прогресса народного хозяйства. Аналогичные рассуждения справедливы и по отношению к экономически эффективным гидроэнергетическим ресурсам, которые зависят от наличия запасов, структуры топливно-энергетического баланса и динамики цен на топливо и различные виды энергии (в таблице 3.1 приведены существующие методы балансов в гидроэнергетике). Все уравнения балансов строятся в виде выражения [3].

$$\sum A_i = \sum B_i \quad (18)$$

где А и Б — однородные компоненты доходной и расходной частей бюджета. Поскольку балансы относятся к конкретной позиции, основной темой является время t . В зависимости от вида зависимостей и отдельных составляющих бюджета все бюджетные уравнения можно разделить на три класса:

Класс 1 — есть одна из переменных, которая зависит только от времени:

$$f(t) = \varphi(t, x, y, \dots) + F(t, x, y, \dots) + \dots \quad (19)$$

К этому классу относятся все бюджеты, в которых он выступает как одна из составляющих речного стока или расхода, главным образом, как функция времени.

Класс 2 — все компоненты баланса зависят от времени и других факторов:

$$f(t, x, y, \dots) = \varphi(t, x, y, \dots) + F(t, x, y, \dots) + \dots \quad (20)$$

Схемные балансы относятся к этому классу.

Класс 3 – все компоненты баланса не зависят от времени:

$$f(x,y,.....)=\varphi(x,y,.....)+F(x,y,.....)+..... \quad (21)$$

В гидроэнергетике широко используется передовой научный метод исследования – метод моделирования [56].

При неравномерной конфигурации годового графика нагрузок и для соблюдения возможно большей равномерности работы ГЭС целесообразно покрывать верхнюю часть годового графика. Годовой график может видоизменяться в некоторых пределах. Это происходит потому, что заданные нагрузки потребителей могут быть удовлетворены при различных нагрузках электростанций. В таблице 3.1 показаны существующие методы балансов в гидроэнергетике.

Таблица 3.1

**Существующие методы балансов в гидроэнергетике (ГЭС-
гидроэлектростанция, ВХК-водохозяйственный комплекс, ЭЭС-
электроэнергетическая система)**

Виды балансов и области их использования	Баланс		Место применения			Тип балансового управления
	вещ-ва	ЭЭ	ГЭС	ВХК	ЭСС	
Водный баланс реки при определении Гидрологических характеристик	+	-	X	X	-	1
Воднохозяйственный баланс ВХК при расчете водохозяйственного режима компонентов ВХК	+	-	X	X	-	1
Воднохозяйственный баланс ГЭС при расчете воднохозяйственного режима ГЭС	+	-	X	X	-	1
Воднохозяйственный баланс регулирования при расчете Гидроэнергетический баланс регулированный	+	-	X	X	-	1
ГЭС при расчетах энергетического регулирования ГЭС	+	+	X	X	X	2
Гидроэнергетический баланс регулирования гидро и энергосистемы при расчетах режима системы	+	+	X	-	X	2
Электрический баланс ГЭС при расчетах условий использования ГЭС в ЭЭС	-	+	X	-	X	1

Тепловой баланс ЭЭС при расчетах условий использования ГЭС в ЭЭС	-	+	-	-	X	1
Топливный баланс ЭЭС при расчетах условий использования ГЭС в ЭЭС	-	+	-	-	X	1
Энергетический баланс ЭЭС при расчетах условий использования ГЭС в ЭЭС	-	+	X	-	X	1
Экономический баланс ЭЭС при экономических расчетах	-	-	X	X	X	3

Главное место в энергетическом балансе сегодня занимает нефть. Для электростанций дополнительным аргументом в пользу применения нефтяного топлива (мазута) стало также значительное упрощение и удешевление топливного хозяйства: устранение сложных систем размола угля, золо- и шлакоудаления, очистка дымовых газов от летучей золы и т.п. Главную нагрузку в снабжении мира электричеством еще долго будут нести тепловые электростанции. Сегодня значительная доля топливного баланса электроэнергетики приходится на уголь. И если в предшествующий двадцатилетний период основной прирост энерго мощностей осуществлялся за счёт использования газомазутного топлива, то в дальнейшем этот процесс будет зависеть в основном от угольного и ядерного топлива [20].

Осуществляется, гидроочистка нефтепродуктов, действием на них водородов при 250- 4200 С и давлении 2-5 МПа и присутствии катализаторов (обычно алюмокобальтмолибденового). При этом достигается практически 33 превращение серу-, азот- и кислородосодержащих соединений в результате гидрогенолиза связей углерод - гетероатом (с одновременным образованием легко удаляемых H_2S , NH_3 и H_2O), а также гидрирование непредельных углеводородов. Так в бензине термического крекинга м.б. снижено содержание (в % по массе): S - с 1.1 до 0,02, N - с 0,04 до 0,0002, непредельных углеводородов – с 48 до 0,5 (с одновременным увеличением содержания предельных углеводородов с 32 до 61%). Наиболее широко гидроочистку используют при получении реактивных топлив и малосернистых дизельных топлив из сернистых и высокосернистых нефтей [66].

В последние годы на первый план выдвинута проблема экологичности энергопроизводства, т.е. нарушения природных балансов при добыче



Изменение распределения нагрузки между электростанциями приводит к перераспределению потерь в электрических и тепловых сетях, т.е. к изменению суммарной нагрузки электростанции при постоянстве нагрузки потребителей. Но еще более важно то, что народнохозяйственные затраты на выработку единицы электроэнергии для разных электростанций различны. На рисунке 3.1 показана схема электроэнергетической системы.

В зависимости от распределения нагрузки изменяются суммарные народнохозяйственные затраты на удовлетворение заданных нагрузок потребителей. Желательно отыскать такое распределение (оно называется оптимальным, т.е. наилучшим), при котором суммарные народнохозяйственные затраты имеют минимальное (наименьшее) значение. Процесс отыскания и реализации такого распределения носит название оптимизации распределения (путем минимизации народно-хозяйственных затрат). Решение, соответствующее наименьшему значению (минимуму) народнохозяйственных затрат, называют оптимальным или просто оптимумом [99].

3.2. Режим, нагрузка, графическое представление и интегральная кривая продолжительности нагрузки

Потребление электроэнергии изменяется во времени, поэтому нельзя характеризовать потребителя количеством потребляемой энергии, необходимо также учитывать режим потребления. На рисунке 3.2 показаны графики суточной календарной кривой нагрузки.

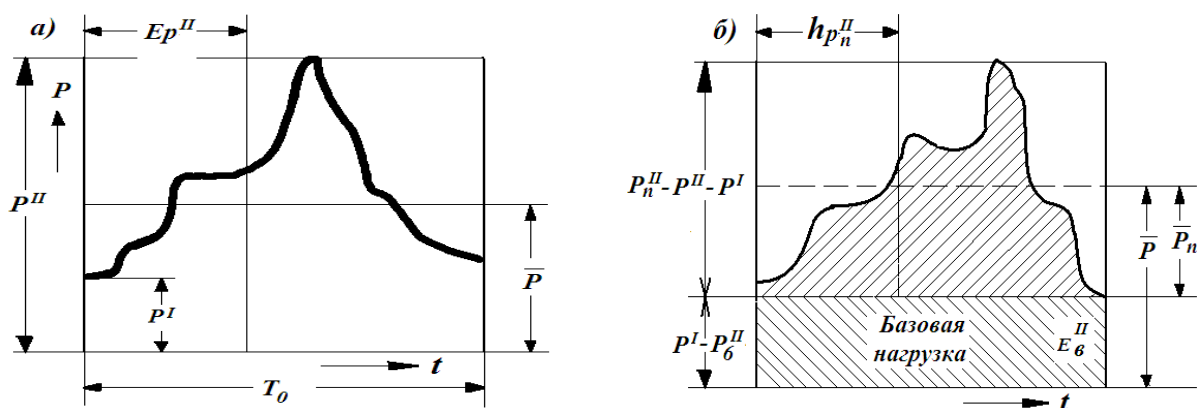


Рисунок 3.2. Графики суточной календарной кривой нагрузки (ККН)

Для кривой нагрузки календаря можно определить четыре характеристические мощности:

- P_{yc} – установленный или подключаемый (P_{yc} постоянен на один день);
- Максимум P^{II} - максимальное потребление энергии;
- \bar{P} – среднее потребление энергии;
- Минимум P^I – минимальное потребление энергии.

Вся кривая нагрузки разбивается на две зоны (рисунок 3.2 б). Базовая часть нагрузки – ограниченная минимальной мощностью (P^I), чтобы потребление было постоянным в течение всего периода, в данном случае 24 часов.

Пиковая часть нагрузки представляет собой изменяющуюся во времени нагрузку с мощностью в диапазоне от кривой минимальной нагрузки (P^I) до кривой максимальной нагрузки (P^{II}).

Из календарной кривой нагрузки видно, что максимальная мощность будет достигаться по формуле:

$$P_n^{11} = P^{11} - P^I \quad (22)$$

Средняя пиковая мощность:

$$\bar{P}_n = \bar{P} - P^I \quad (23)$$

Если общий расчетный период в этом случае равен 24 часам, обозначаемым T_0 , то выражение для полного количества энергии, необходимой для покрытия календарной кривой нагрузки, может быть представлено аналитически в виде:

$$E^{11} = \bar{P}_n \cdot T_0 \quad (24)$$

Если разделить это количество энергии на значение максимальной мощности, то получим условное время, в течение которого при постоянной мощности, равной максимальной, было бы израсходовано такое же количество энергии:

$$h_{P^{11}} = \frac{E^{11}}{P^{11}} \quad (25)$$

Величина $h_{p^{11}}$ обозначается как показатель использования максимальной мощности нагрузки и имеет размерность время (обычно в часах).

Если этот показатель выразить в долях общего календарного времени, то он примет следующий вид:

$$\delta_{p^{II}} = \frac{h_{p^{11}}}{T_0} \quad (26)$$

Очевидно, должно иметь место следующее условие:

$$E^{11} = \bar{P} \cdot T_0 = p^{II} \cdot h \quad (27)$$

$$\text{Откуда } h = \frac{\bar{P}}{p^{11}} \cdot T_0 = \delta \cdot T_0 \quad (28)$$

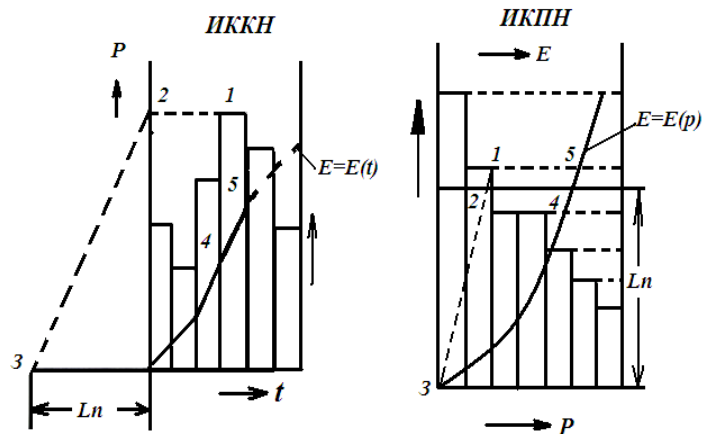
Если требуется раздельное вычисление базовой (E_δ^{11}) и пиковой (E_n^{11}) части кривой нагрузки:

$$E^{11} = E_\delta^{11} + E_n^{11} = p^{II} \cdot T_0 + (p^{II} - p^I) \cdot h_n \quad (29)$$

Здесь величина h_n называется показателем использования (в часах) максимальной пиковой мощности [7]

$$h_p = \frac{E_n^{11}}{p_n^{11}} = \frac{\bar{p}_n \cdot T_0}{p_n^{11}} = \frac{\bar{p}_n - p^I}{p^{II} - p^I} \cdot T_0 \quad (30)$$

Для изучения режима нагрузки и ряда специальных расчетов план нагрузки – кривая календарной нагрузки подвергается преобразованию. Следовательно, ККН можно легко преобразовать в кривую продолжительности нагрузки, рис. 3.3, как и в случае со всеми календарными кривыми.



**Рисунок 3.3. Интегрированная схема кривой нагрузки.
Схема графической интеграции.**

Кроме того, можно построить два вида интегральных кривых интегральной календарной кривой нагрузки (ИККН), что указывает на зависимость.

$$E = \int p \cdot dt = E(t) \quad (31)$$

Интегральная кривая продолжительности нагрузки, на которой указана зависимость [10]

$$E = \int p \cdot dp = E(p) \quad (32)$$

Как показано на (рисунок 3.3), построение этих интегральных кривых можно провести обычным графическим интегрированием. На (Рисунок 3.3) показано построение одного из участков интегральных кривых. Нумерация отражает порядок построения. Участок кривой 4-5 параллелен стержню 2-3. Выбор плюсового расстояния- \ln основан на заданном масштабе нагрузки согласно следующему выражению:

$$\ln = \frac{\mu_e}{\mu_t \cdot \mu_p} \text{ или } \ln = \frac{\mu_e}{\mu_p \cdot \mu_p} \quad (33)$$

3.3. Анализ и подсчет годовой нагрузки электроэнергетической системы

С использованием показателей плана нагрузки можно рассчитать годовую нагрузку. Отправной точкой является суточный гидрограф для зимнего дня, где P_c^{11} — максимум всех мощностей в течение года. Обычно принимаются декабрьские дни - P_{XII}^{11} . Суммарный расход энергии в сутки составляет:

$$E_c^{11} = \delta_c \cdot P_c^{11} \cdot 24 \quad (34)$$

Для перехода от дней с наибольшей нагрузкой к среднегодовой необходимо учитывать влияние неравномерности нагрузки в течение года (рис. 3.4., 3.5., 3.6.) [64].



Рисунок 3.4. График среднемесячного и максимального дня

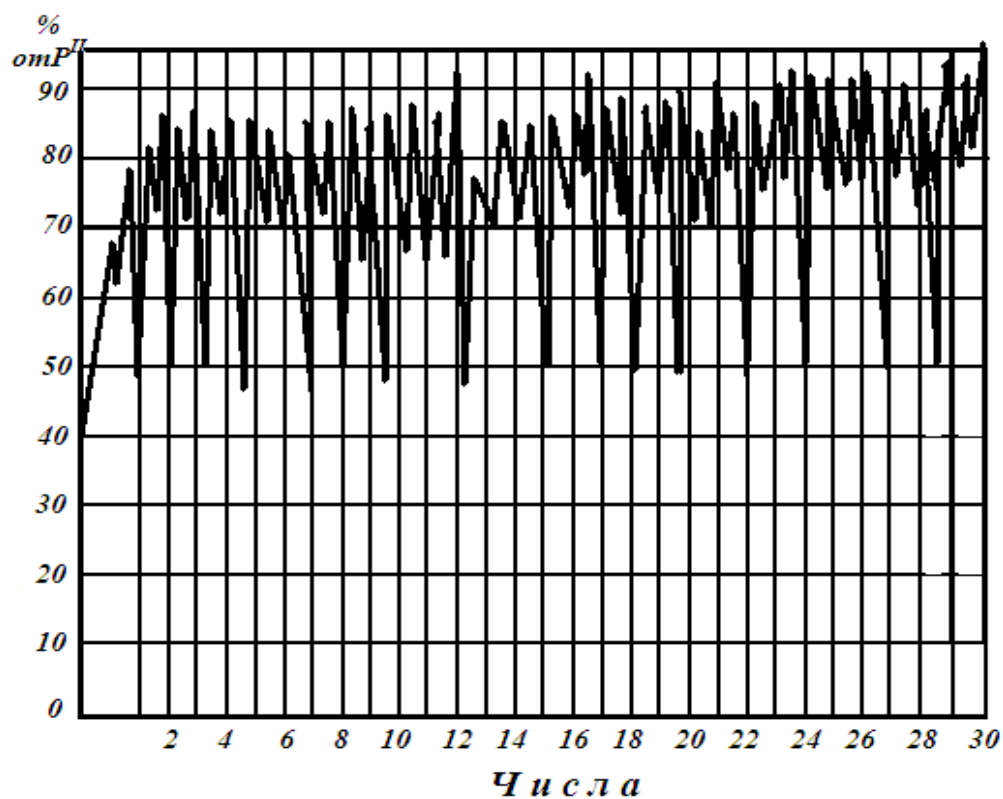


Рисунок 3.5. График колебания нагрузки за месяц

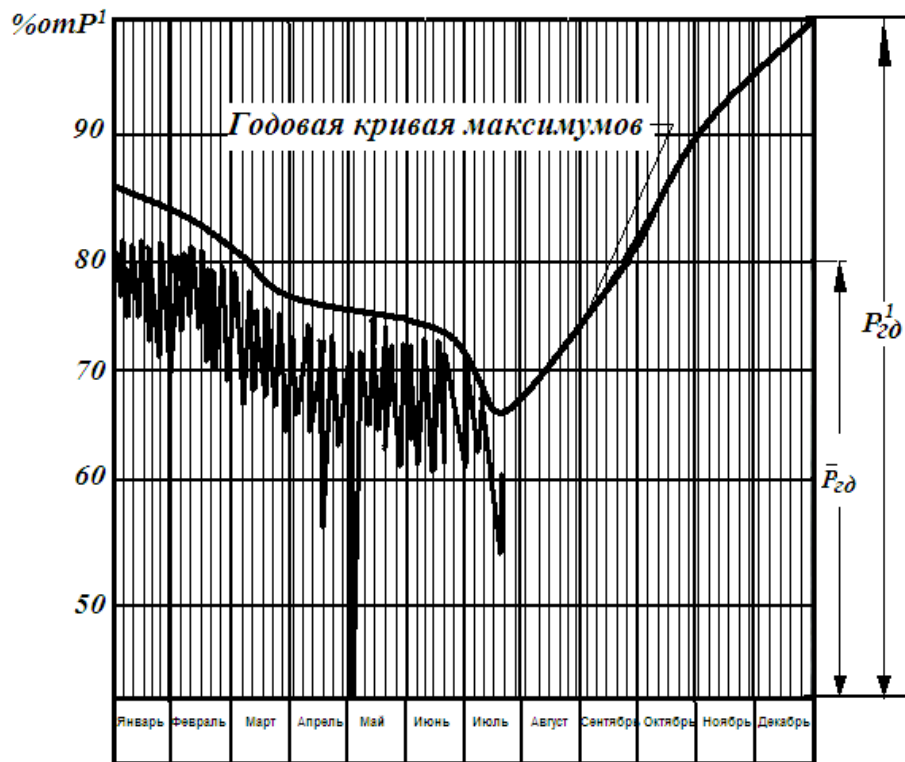


Рисунок 3.6. График колебания нагрузки за год

Целесообразно разделить эту неравномерность на недельную и годовую. Неравномерность в течение одной недели связана с изменением нагрузки в течение одной недели. Если рассматривать такую неделю, то (рис. 3.7 (а)) средняя нагрузка в будние дни изменится и средненедельная средняя нагрузка ($\overline{p_{нд}}$) будет меньше средней нагрузки рабочего дня ($\bar{P}_{нд}$) 11. Соотношение этих характерных показателей позволяет осуществить переход от ежедневной нагрузки к еженедельной.

Этот коэффициент пересчета называется индикатором недельной стабильности средних мощностей.

$$\bar{\sigma}_{нд} = \frac{\overline{p_{нд}}}{(\bar{P}_{нд})^{11}} \quad (35)$$

Внутригодовая неравномерность учитывается аналогично конструируемым показателем годовой устойчивости средних мощностей:

$$\sigma_{гд} = \frac{\overline{p_{гд}}}{(\bar{P}_{гд})^{11}} \quad (36)$$

На (Рисунок 3.7 (б)) показаны эти характерные мощности.

Годовая выработка энергии может быть представлена выражением:

$$E_{гд}=8760 \cdot (\delta_c \cdot P_c^{11}) \cdot \bar{\sigma}_{нд} \cdot \bar{\sigma}_{гд} \quad (37)$$

Произведение $\delta_c \cdot \bar{\sigma}_{нд} \cdot \sigma_{гд}$ можно обозначить через $\delta_{гд}$, т.е.

Рассматривать его как годовой показатель использования максимальной мощности:

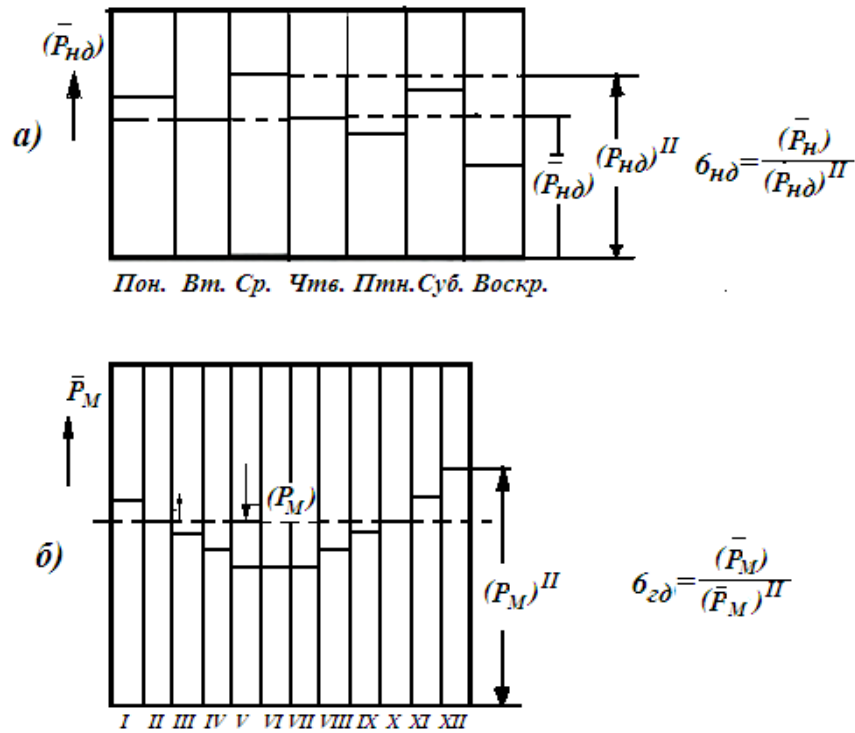


Рисунок 3.7. Схема для расчета годового потребления энергии.

$$\delta_{гд} = \frac{\bar{P}_{гд}}{P_c^{11}} \quad (38)$$

$$\text{и } E_{гд}=8760 \cdot \delta_{гд} \cdot P_c^{11} \quad (39)$$

Предположим, что все рабочие дни недели имеют одинаковую нагрузку ($\bar{P}_{рб} = const$), а в выходной день она несколько снижается

($\bar{P}_{вх} < P_{рб}$) можно записать для индекса устойчивости:

$$\bar{\sigma}_{нд} = \frac{6 \cdot \bar{P}_{рб} + \bar{P}_{вх}}{7 \cdot \bar{P}_{рб}} = 0,86 + 0,14 \cdot \frac{\bar{P}_{вх}}{P_{рб}} \quad (40)$$

Аналогично, для годового показателя потребления электроэнергии можно считать достаточными два характерных сезона.

Зимнего:

$$E_3 = \bar{P}_3 \cdot T_3 \quad (41)$$

Летнего:

$$E_л = \bar{P}_л \cdot T_л \quad (42)$$

Продолжительность (в часах) той части годового периода, где приходится трафик нагрузки в зимнее или летнее время можно написать так:

$$T_{гд} = T_3 + T_л \quad (43)$$

Таким образом и предполагая, что:

$$T_3 = T_л = \frac{T_{гд}}{2} \quad (44)$$

Можно записать следующую:

$$E_{гд} = E_3 + E_л = T_{гд} \left[\frac{\bar{P}_3 + \bar{P}_л}{2} \right] = T_{гд} \cdot \left[\frac{\delta_3 \cdot P_3^{11} + \delta_л \cdot P_л^{11}}{2} \right] \quad (45)$$

и окончательно:

$$E_{гд} = \left[\frac{\delta_3 + \delta_л \cdot \frac{P_л^{11}}{P_3^{11}}}{2} \right] \cdot P_3^{11} \cdot T_{гд} \quad (46)$$

Здесь очевидно:

$$\delta_{гд} = \left[\frac{\delta_3 + \delta_л \cdot \frac{P_л^{11}}{P_3^{11}}}{2} \right] \quad (47)$$

Анализируя выражение (47), рассмотрим пример по определению нагрузки осветительных и бытовых приборов с приведенными данными величин выражения (47):

$$\delta_{гд} = \left[\frac{0,30 + 0,14 \cdot 0,70}{2} \right] = 0,20 \quad (48)$$

И, соответственно, годовое использование максимум:

$$h_{гд} = 0,20 \cdot 8760 = 1750 \text{ часов.}$$

Соотношение равно $\left(\frac{P_л^{11}}{P_3^{11}} \right)$ для большинства систем

от 0,7 до 0,9 [3].

Особое значение для расчета покрытия нагрузки имеет определение площади водоотвода годовой календарной кривой максимальной мощности, рисунок 3.8, значение $E_{пр}$, гд.

Эта область имеет чёткое значение в пределах максимальной недельной, месячной и годовой кривой. Для определения этого можно использовать

показатели устойчивости максимальных мощностей, которые строятся, как отношение между средними максимумами рассматриваемого периода и высшими.

Выражены показатели устойчивости.

недельный:

$$\sigma_{нд}^{11} = \frac{(\overline{P_{нд}^{11}})}{(\overline{P_{нд}^{11}})_{11}} , \quad (49)$$

месячный:

$$\sigma_{м}^{11} = \frac{(\overline{P_{м}^{11}})}{(\overline{P_{м}^{11}})_{11}} , \quad (50)$$

годовой:

$$\sigma_{гд}^{11} = \frac{(\overline{P_{гд}^{11}})}{(\overline{P_{гд}^{11}})_{11}} , \quad (51)$$

Соответственно площадь, выражающая энергию провала, будет:

$$E_{пр.нд} = (1 - \sigma_{нд}^{11}) \cdot P_{нд}^{11} \quad (52)$$

$$E_{пр.м} = (1 - \sigma_{м}^{11}) \cdot P_{м}^{11} \quad (53)$$

$$E_{пр.гд} = (1 - \sigma_{гд}^{11}) \cdot P_{гд}^{11} \quad (54)$$

Если не учитывать прирост, максимальную мощность можно представить в виде синусоиды, соединяющей зимние максимумы ($P_1^{11} \rightarrow P_{X11}^{11} = P_3^{11}$) с летним и ($P_l^{11} = P_{V11}^{11}$) представлено на рисунке 3.8.

Так как в начале зимнего периода возрастает потребность на потребление электроэнергии, то максимум декабря (XII) будет больше января (I).

отношение их:

$$R_{пр} = \frac{P_{X11}^{11}}{P_1^{11}} > 1 \quad (55)$$

Это уравнение называется скоростью роста.

Имея P_{X11}^{11} , P_{V11}^{11} и $R_{пр}$, нетрудно построить ККН максимумов в трех точках. Для этого можно разделить ординаты ККН на $R_{пр}[19]$ без приращения.

На рисунке 3.8 показан график годового кривого максимальных мощностей и на рисунке 3.9 показан график анализа и подсчёта площади провала.

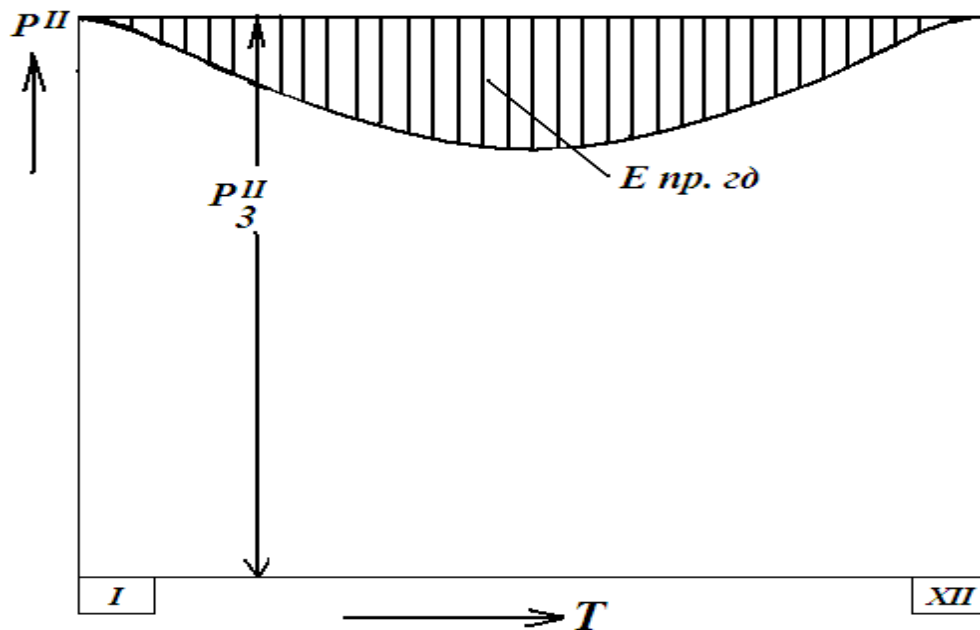


Рисунок 3.8. График годовых максимальных мощностей

Показатели устойчивости будут выражаться.

недельный:

$$\sigma_{\text{нд}}^{11} = \frac{(\overline{P_{\text{нд}}^{11}})}{(\overline{P_{\text{нд}}^{11}})_{11}}, \quad (56)$$

месячный:

$$\sigma_{\text{м}}^{11} = \frac{(\overline{P_{\text{м}}^{11}})}{(\overline{P_{\text{м}}^{11}})_{11}} \quad (57)$$

годовой:

$$\sigma_{\text{гд}}^{11} = \frac{(\overline{P_{\text{гд}}^{11}})}{(\overline{P_{\text{гд}}^{11}})_{11}} \quad (58)$$

Это выражение будем называть показателем прироста .

$$P_{\tau}^{11} = R_{\text{пр}\tau} \cdot \left\{ P_{\text{л}}^{11} + \left[\frac{P_{\text{х11}}^{11} - P_{\text{л}}^{11}}{2} \right] \cdot \left(1 + \sin \frac{\pi(3+\tau)}{6} \right) \right\} \quad (59)$$

где τ – порядковый номер месяца:

Коэффициент прироста $R_{\text{пр}\tau}$ за τ -месяц:

$$\frac{1}{R_{\text{пр}}} + \frac{\tau}{12} \cdot \left(1 - \frac{1}{R_{\text{пр}}} \right)$$

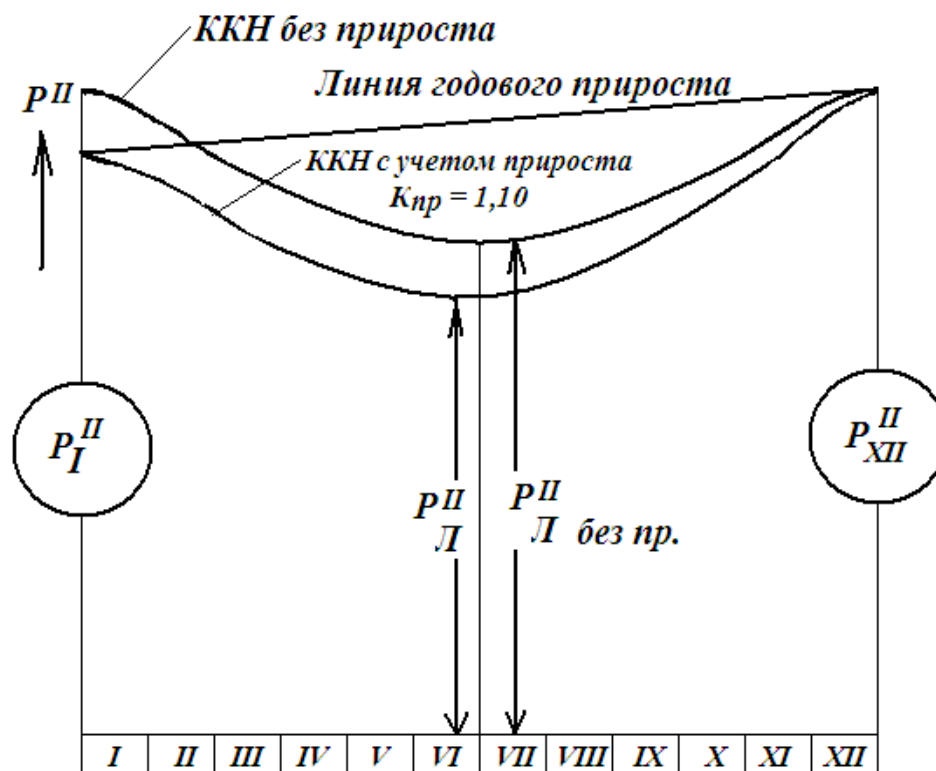


Рисунок 3.9. График анализа и подсчета площади провала

ВЫВОД К ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

При составлении схемы регулирования стока реки Вахш для эффективного использования потенциала гидроэнергоресурсов целесообразно применение методов вероятностного расчета, методы оперативного прогноза и методы баланса в гидроэнергетике. Настоящий раздел диссертационного исследования охватывает передовых методов гидроэнергетики.

В третьей главе рассмотрены: ведущий метод анализа в гидроэнергетике, метод баланса. Основным показателем гидроэнергоресурсов, отражающий уровень научно-технического потенциала, является технические возможные к использованию ресурсы.

Разработан аналитический расчёт годовой нагрузки на ЭЭС. Используя показатели суточной кривой нагрузки, можно рассчитать годовую нагрузку, началом которой является суточная кривая нагрузки зимнего дня. Анализированы энергетические – балансовые уравнения.

Глава 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

4.1. Математическая модель оптимизируемого режима энергосистемы

Математическая модель оптимизируемого режима, как и всякая математическая модель, должна включать в себя критерии оптимальности и уравнения (в форме равенств и неравенств), отражающие заданные условия ограничений. Поэтому с математической точки зрения можно говорить лишь о такой модели, которая будет соответствовать конкретной постановке задачи [64].

Рассмотрим в связи с этим математическую модель оптимизируемой энергосистемы на следующем примере. Рассматриваемая модель должна состоять из тепловых электростанций L и гидроэлектростанций K, режимы работы которых должны быть соответствующим образом оптимизированы. Также в этой системе должна быть группа теплоэлектростанций и гидроэлектростанций, которые не участвуют в покрытии переменной части плана нагрузки, т.е. работе без регулирования мощности. К таким электростанциям могут относиться также некоторые малые тепловые электростанции и гидроэлектростанции, переменный режим которых практически не влияет на эффективность системного режима.

Суммарные издержки на топливо запишем в следующем виде:

$$Ис = \sum_{i=0}^n C_i \int_{t_0}^{t_k} B_i [N_i(t)] dt \quad (60)$$

Где C_i - цена единицы топлива, расходуемого на i-ой ТЭС;

$B_i - [N_i]$ – расходная характеристика i-ой ТЭС.

В любой момент времени $t(t_0 \leq t \leq t_k)$ периода T мощность всех тепловых электростанций в системе, режим которой оптимизируется, может быть определена из следующего баланса мощности в системе:

$$\sum N_i(t) = P_c(t) - \sum_{R=1}^k N_{гR}(t) - \sum_{m=1}^M N_{прт}(t) - \sum_{n=1}^N \pi n(t) \quad (61)$$

где $P_c(t)$ – заданный график нагрузки системы;

$N_{GR}(t)$ – график мощности R-й ГЭС;

$N_{прт}(t)$ – график мощностей и нерегулируемых ГЭС и ТЭС системы;

$\pi n(t)$ – потери мощности в n-й ЛЭП;

Мощность R-й ГЭС в любой момент времени t определяется по формуле:

$$N_{GR}(t) = 9,81 \eta_{GR} Q_{GR}(t) H_{GR}(t) \quad (62)$$

При этом КПД ГЭС η_{GR} является в свою очередь функцией расхода ГЭС Q_{GR} и напора H_{GR} , т.е.

$$\eta_{GR} = \eta_{GR}[Q_{GR}(t), H_{GR}(t)] \quad (63)$$

Подставим (66) в (65), получим следующее выражение целевой функции, отражающей принятое условие минимизации топливной составляющей эксплуатационных издержек системы:

$$I_{с\sum_{i=0}^n} C_i \int_{t_0}^{t_k} B_i [P_c(t) - \sum_{R=1}^k 9,81 \eta_{GR} Q_{GR}(t) H_{GR}(t) - \sum_{m=1}^M N_{прт}(t) - \sum_{n=1}^N \pi n(t) - \sum_{r=1}^R N_r(t) + \sum_{n=1}^N \pi n(t)] dt \quad (64)$$

Где $\sum_{r=1}^R N_r(t)$ – график мощности всех ТЭС системы, за исключением i-ой [56].

Для того чтобы математическая модель была представлена в полной мере, целевую функцию необходимо дополнить условиями ограничений, налагаемых как на систему в целом, так и на ее отдельные элементы. Обычно используются следующие ограничения:

Уравнение связи, отражающее балансировку нагрузки системы на основе (63), запишем в следующем виде:

$$\Psi(t) = P_c(t) - \sum_{i=1}^L N_i(t) - \sum_{R=1}^k H_{GR}(t) - \sum_{m=1}^M N_{прт}(t) + \sum_{n=1}^N \pi n(t) = 0 \quad (65)$$

Объём стока в створе ГЭС за расчётный период:

$$W_{GR} = \int_{t_0}^{t_k} Q_{GR}(t) dt \quad (66)$$

Система мощностей, развиваемая всеми электростанциями, а также нагрузки всех линий электропередачи должны принадлежать определенному

допустимому диапазону переменных изменений, определяемому условиями непределельных значений:

$$N_i^{min}(t) \leq N_i(t) \leq N_i^{max}(t) \quad (67)$$

$$N_{гр}^{min}(t) \leq N_{гр}(t) \leq N_{гр}^{max}(t) \quad (68)$$

$$P_n^{min}(t) \leq P_n(t) \leq P_n^{max}(t) \quad (69)$$

Успешность использования методов оптимизации для определения параметров моделей стока зависит, главным образом, от знания физических закономерностей и имеющегося объёма информации [51].

При оптимизации параметров моделей дренажа критерий качества имеет решающее значение. Наиболее естественным способом при выборе критериев качества является использование условий наиболее точного выполнения в среднем равенств, используемых для определения точных значений параметров. Строгое физическое обоснование имеет критерии, характеризующие отклонение от законов сохранения или изменение каких-либо инвариантов предполагаемой системы уравнений. Из таких критериев часто используется величина:

$$K_{(a)} = \int_0^t [Q_{\phi}(t) - Q(t)] dt \quad (70)$$

где $Q_{\phi}(t)$ - фактический расход; $Q(t)$ – вычисленный [84].

Этот критерий более «жесткий», но менее- физически обоснованный. Здесь необходимо использовать полуэмпирические критерии, и в некоторых случаях существует риск того, что параметры, найденные в результате оптимизации, будут иметь мало общего с искомыми. Раздельная оптимизация по разным критериям дает определенную гарантию достоверности оптимизируемых параметров.

В работе [57] критерий качества вычисляется по формуле:

$$K_{(a)} = \sum_{j=1}^N (\ln Q_{maxj}^{(\phi)} - \ln Q_{maxj})^2 + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N (\ln V_j^{\phi} - \ln V_j)^2 \quad (71)$$

где $Q_{maxj}^{(\phi)}$ и V_j^ϕ - соответственно максимальный расход и объём фактического гидрографа J –того паводка; Q_{maxj} и V_j - соответственно максимальный расход и объём рассчитанного гидрографа j-того паводка;

N- Общее число паводков. Этот критерий, с одной стороны, заменяет гидрограф двумя величинами и также резко сокращает объём информации, пригодной для использования при оптимизации [27,114].

Наиболее часто критерий качества вычисляется как интеграл квадратов разности фактических и вычисленных расходов:

$$K_{(a)} = \sum_{i=1}^N \int_0^{t_i} [Q_\phi(t) - Q_i(t)]^2 dt \quad (72)$$

Также применяются следующие критерии для высоких расходов:

$$K_{(a)} = \sum_{i=1}^N \int_0^{t_i} [Q_{\phi i}(t) - Q_i(t)]^2 Q_{\phi i}(t) dt \quad (73)$$

В проводившихся нами исследованиях нормировка дает возможность сопоставлять процессы оптимизации на исследуемом нами объекте [45].

Ниц и Сатклифф [126] нормировку критерия качества производили по начальной дисперсии гидрографа, вычисляемое по формуле:

$$F_0^2 = \sum_{i=1}^n (Q_{\phi i} - \overline{Q_\phi})^2 \quad (74)$$

где $\overline{Q_\phi}$ - среднее значение расхода за паводок;

n – Число ординат гидрографа;

Критерий качества рассчитывается по формуле:

$$K_{(a)} = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2} \quad (75)$$

где F^2 - сумма квадратов отклонений ординат фактического и вычисленного гидрографов.

Такой критерий качества аналогичен корреляционному отношению (эффективности модели) [8].

Следует отметить, что проблема выбора критерия качества для оптимизации параметров моделей стока тесно связана с проблемой объективной оценки точности расчета гидрографа. В некоторых случаях в качестве оценки точности расчёта гидрографа применяется точность расчёта расходов, однако эта оценка часто бывает несостоятельной, так как небольшие сдвиги рассчитанного и фактического гидрографов могут давать большие ошибки в среднеквадратичных отклонениях расходов σ_Q [9].

При использовании оценки по совпадению фаз не учитываются ошибки в определении расходов. Рассмотрим основные проблемы, которые возникают при оптимизации параметров моделей стока, связанные как с особенностями гидрологических задач, так и со спецификой методов оптимизации вообще. Попытаемся также изложить рекомендации для решения этих проблем, имеющегося опыта применения методов оптимизации для идентификации гидрологических систем. Оценку точности графического согласования рассчитанного и фактического гидрографа, очевидно, можно произвести по критерию:

$$K = \frac{1}{2} \sqrt{\int_0^{t_{\max.\phi}} \left[\frac{Q_\phi(t) - Q(t)}{Q_{\text{ср}}} \right]^2 dt} + \frac{1}{2} \sqrt{\int_0^{Q_{\max.\phi}} \left[\frac{T_\phi(Q) - T(Q)}{T_{\text{ср}}} \right]^2 dQ_\phi} \quad (76)$$

где $t_{\max.\phi}$ – максимальное значение t , при котором заданы фактические расходы; $Q_{\max.\phi}$ – максимальный фактический расход; $Q_{\text{ср}}$ и $t_{\text{ср}}$ – характерные значения расходов и продолжительности паводка (при вычислении второго члена необходимо учитывать неоднозначность функции $t=t(Q)$ [13].

4.2. Математическое описание процессов стока и водно-энергетические расчёты методом Монте-Карло

Разработка детерминистических моделей речного стока проводилось по трём основным направлениям, сложившимся в самом начале развития математического моделирования стока:

- модели стекания с сосредоточенными параметрами;
- концептуальные модели формирования стока с сосредоточенными параметрами;
- модели стока с распределёнными параметрами, основанные на методах математической физики и гидродинамики [42].

Обычно обратные задачи более сложны, чем прямые, поэтому применение системного подхода к построению моделей формирования стока требует достаточного упрочения и схематизации основных процессов [43].

Одним из важных вопросов, возникающих при математическом описании процесса стока, является выбор наиболее подходящего для данного процесса теоретического закона распределения вероятностей. Одним из методов исследования выборочных оценок характеристик сложных распределений является метод Монте-Карло. При отсутствии аналитического решения с помощью метода Монте-Карло можно эмпирически сопоставлять различные оценки тех или иных характеристик, выбирать наилучшую или вводить необходимые поправки [81].

С.Н. Крицкий и М.Ф. Мендель в работах [46, 47] показали, что теоретическая функция распределения, используемая для описания годового стока рек, должна удовлетворять следующим двум условиям:

- область, в которой функция распределения $F(x)$ отлична от нуля, есть интервал $(0, \infty)$;
- функция распределения годового стока рек должна быть трёхпараметрической, т.е. допускать возможность произвольного задания первых трёх моментов распределения.

В работах [50] С.Н. Крицкий и М.Ф. Мендель предложили в качестве закона распределения годового стока рек использовать функцию:

$$F(x, \bar{\alpha}, \gamma, b) = \begin{cases} \left[\frac{\Gamma(\gamma+b)}{\Gamma(\gamma)} \right]^{\frac{\gamma}{b}} \cdot \frac{1}{\Gamma(\gamma)\bar{\alpha}^b} \int_0^x e^{-\left[\frac{\Gamma(\gamma+b)t}{\Gamma(\gamma)\bar{\alpha}} \right]^{\frac{1}{b}}} \left(\frac{t}{x} \right)^{\frac{\gamma}{b}-1} dt & \text{при } x \geq 0 \\ 0 & \text{при } x \leq 0 \end{cases} \quad (77)$$

Которая удовлетворяет поставленным условиям.

Однако в практике гидрологических расчётов наибольшее распространение в качестве закона распределения вероятностей получила функция:

$$F(x, \bar{\alpha}, \gamma, t) = \begin{cases} \frac{\gamma^\gamma}{\Gamma(\gamma)\bar{\alpha}^\gamma} \int_0^x e^{-\gamma \frac{t}{x}} \left(\frac{t}{x} \right)^{\gamma-1} dt & \text{при } x \geq 0 \\ 0 & \text{при } x \leq 0 \end{cases} \quad (78)$$

которая является частным случаем (77) при $b=1$

Распределением (78) называется распределение Пирсона III типа и (рисунок 4.1):

На рисунке 4.1 а) это кривые плотности вероятностей; б) – кривые вероятностей превышения: является двухпараметрическим, т.е. допускает возможность выбора лишь первого и второго моментов распределения, а третий оказывается связанным с первыми двумя соотношением:

$$C_s = 2C_v \quad (79)$$

Соотношение C_s/C_v по некоторой группе рек приближается к 2 [46].

Среди двухпараметрических распределений, удовлетворяющих первому условию С.Н. Крицкого и Н.Ф. Менкеля, помимо (78), нужно назвать ещё логарифмическо-нормальное распределение, описываемое функцией:

$$\varphi(x, a, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_0^x e^{-\frac{(\ln t - a)^2}{2\sigma^2}} dt & \text{при } x \geq 0 \\ 0 & \text{при } x \leq 0 \end{cases} \quad (80)$$

Из этого закона следует равенство:

$$C_s = 3C_v + C_v^3 \quad (81)$$

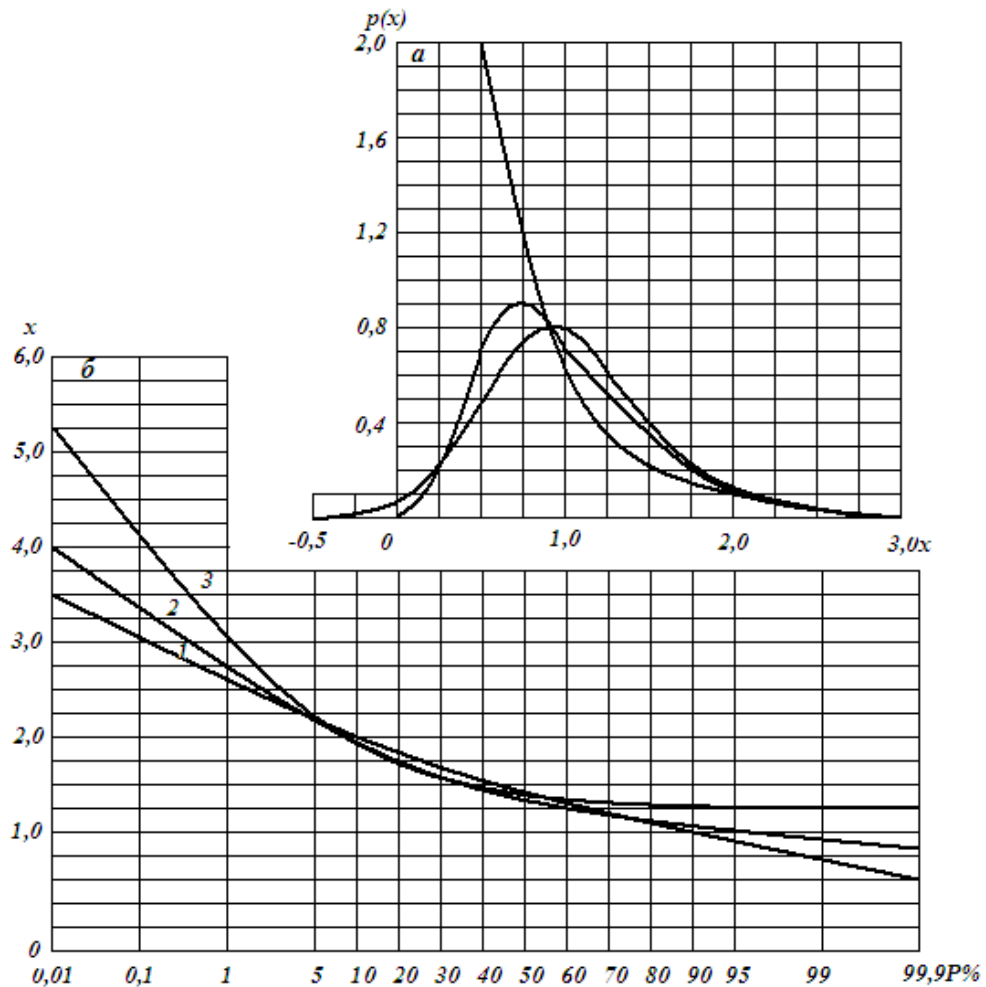


Рисунок 4.1 а) – кривые плотности вероятностей; б) – кривые вероятностей превышения:

Показатель эксцесса равен:

$$E = C_v^3 + 6 C_v^6 + 15 C_v^4 + 16 C_v^2 \quad (82)$$

Эти соображения, а также простота применимости распределения (82) для наиболее сложных водохозяйственных расчётов в каскадах ГЭС,

обусловили целесообразность проверки соответствия имеющихся гидрологических рядов гипотезам распределения (82) и (78) [47] .

Для статической проверки соответствия эмпирического материала теоретическому распределению по критерию X^2 , всю область изменения годового стока реки приходится разбивать на L-интервалы:

$$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_l$$

В качестве меры несоответствия между выборочными данными и гипотетическим распределением значение равно:

$$X^2 = \sum_{i=1}^L \frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i} \quad (83)$$

где P_i — вероятность того, что рассматриваемая случайная величина ξ принадлежит i-му интервалу для данного распределения $F(x)$;
 m_i - число значений ξ , попавших в Δ_i ;
 n - объем выборки.

Если проверяемая гипотеза верна, то критерий X^2 (83) будет иметь распределение, пределом которого при $n \rightarrow \infty$ является распределение X^2 с $(L - c - 1)$ степенями свободы (c – число выборочного оцениваемых параметров). Методика применения критерия X^2 сводится к сравнению выборочного значения X^2 (83) [22].

Верхним пределом X^2 X_q^2 , соответствующим выбранному критерию надежности q и числу степеней свободы, равному $L-3$. В случае, когда X^2 оказывается превосходящей этого предела, гипотеза отвергается. При разбиении области на L интервалы необходимо соблюдение условия:

$$n \cdot P_i \geq 10 \quad (84)$$

4.3. Линейные модели стока с сосредоточенными параметрами

Динамические системы — это линейные системы, для которых действует принцип суперпозиции: реакция системы на общий шок равна

сумме реакций на отдельные шоки. Когда на вход линейной системы поступает значение:

$$q(t) = \sum_{i=1}^n c_i x_i(t) \quad (85)$$

то величина, измеряемая на ее выходе, будет равна:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n c_i Q_i(t) \quad (86)$$

где $Q_i(t)$ - реакция системы на воздействие $q_i(t)$

Если связь между входом и выходом линейной системы выразить с помощью некоторого символического оператора:

$$L[q(t)] = Q(t), \quad (87)$$

то он должен обладать свойствами:

$$L\left[\sum_{i=1}^n q_i(t)\right] = \sum_{i=1}^n Lq_i(t) \quad (88)$$

$$L[cq(t)] = cL[q(t)] \quad (89)$$

($c = \text{const}$)

Дифференциальное уравнение, связывающее выходную величину и входную величину динамической системы:

$$a_n(t) \frac{d^n Q}{dt^n} + \dots + a_1(t) \frac{dQ}{dt} + a_0(t)Q = b_n(t) \frac{d^n q}{dt^n} + \dots + b_1(t) \frac{dq}{dt} + b_0(t)q \quad (90)$$

где $a_i(t)$ и $b_i(t)$ — изменяющиеся во времени коэффициенты, характеризующие свойства динамической системы. Используя символические операторы, это отношение можно записать как:

$$L_1(Q) = L_2(q) \quad (91)$$

$$\text{где } L_1 \equiv a_n(t) \frac{d^n}{dt^n} + a_{n-1}(t) \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} + \dots + a_0(t) \quad (92)$$

$$L_2 \equiv b_n(t) \frac{d^n}{dt^n} + b_{n-1}(t) \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} + \dots + b_0(t) [47] \quad (93)$$

Как известно из теории линейных дифференциальных уравнений, решение уравнения (90) при нулевых начальных условиях можно представить в виде интеграла свертки:

$$Q(t) = \int_0^t P(t, \tau) q(\tau) d\tau \quad (94)$$

где функция $P(t, \tau)$ представляет собой реакцию системы на воздействие в виде единичного импульса, точнее, в виде дельта-функции, $P(t, \tau) = \delta(t - \tau)$ выражается через коэффициенты $a_i(t)$ и $b_i(t)$ и отражает изменчивость во времени свойств динамической системы [77].

Предполагая, что между объёмами воды и расходами в замыкающем створе существует связь:

$$W = K(t)Q(t) \quad (95)$$

где $K(t)$ — изменяющийся во времени коэффициент пропорциональности, Чиу и Биттлер получают линейное дифференциальное уравнение первого порядка:

$$K(t) \frac{dQ}{dt} + \left(1 + \frac{dK}{dt}\right) Q = q(t) \quad (96)$$

где действует интенсивность $q(t)$.

Связь между эффективными осадками и стоком:

$$P(t, \tau) = \frac{1}{K(P(\tau))} e^{-[i(t) - i(\tau)]} \quad (97)$$

$$\text{Здесь } i(t) = \int_0^t \frac{1 + \frac{dk}{d\sigma}}{K\sigma} d\sigma \quad (98)$$

где σ - переменная интегрирования [121].

При нулевых начальных условиях решение (94) может быть выражено в виде интеграла Дюамеля (рис. 4.2):

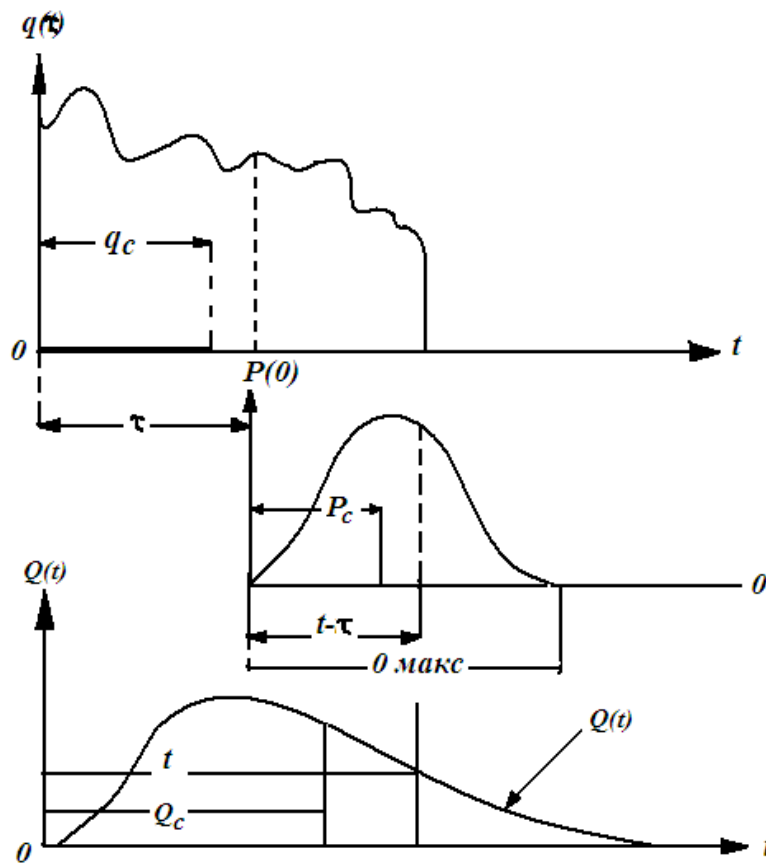


Рисунок 4.2. График зависимостей $q(\tau)$; $P(\theta)$; $Q(t)$

$$Q(t) = \int_0^t (t - \tau) q(\tau) d\tau \quad (99)$$

Функция $P(t - \tau)$ является частным случаем рассмотренной выше функции $P(t, \tau)$ и обладает следующими свойствами:

- $P(t - \tau) = 0$ при $t \leq \tau$

$P(t - \tau)$ является решением однородного уравнения:

$$L_1(Q) = 0 \text{ если:}$$

$$P(0) = P^1(0) = \dots = P^{(n-2)}(0) = 0 \quad (100)$$

$$P^{(n-1)}(0) = \frac{1}{a_0} \quad (101)$$

$P(t - \tau)$ является решением неоднородного уравнения:

$$L_1[(t - \tau)] = L_2[\delta(t - \tau)] \quad (102)$$

При нулевых начальных условиях, где $\delta(t)$ -дельта – функция.

Путем частичного интегрирования уравнение (99) можно также представить в следующем виде:

$$Q(t)=P(t)q(0)+\int_0^t P(t-\tau) \frac{dq}{d\tau} d\tau \quad (103)$$

$$\text{где } P(t)=\int_0^t P(\tau) d\tau \quad (104)$$

Уравнения (99) и (105), (106) широко используется во многих областях науки и техники. Чаще всего функцию $P(t)$ называют функцией влияния (в математической физике) и функцией передачи импульса (в технической кибернетике). В гидрологии она известна как интегральная кривая перемещения или S-кривая [27]. Так как в гидрологических расчётах можно считать, что условие

$$\int_0^\infty Q(t) dt = \int_0^\infty q(t) dt \quad (105)$$

обычно выполняется, то из определения функции влияния вытекает условие.

$$\int_0^\infty P(t) dt = 1 \quad (106)$$

Учитывая равенство (108) найдём

$$Q_c = P_c + q_c \quad (107)$$

где Q_c – расстояние по оси t от начала координат до центроида исходного гидрографа; q_c – расстояние по оси t от начала координат до центроида входного гидрографа;

P_c – расстояние по оси t от начала координат до центра тяжести графика функции влияния [27, 52, 77].

Последовательное соединение отдельных звеньев показано на (рис. 4.3). Для этого рисунка:

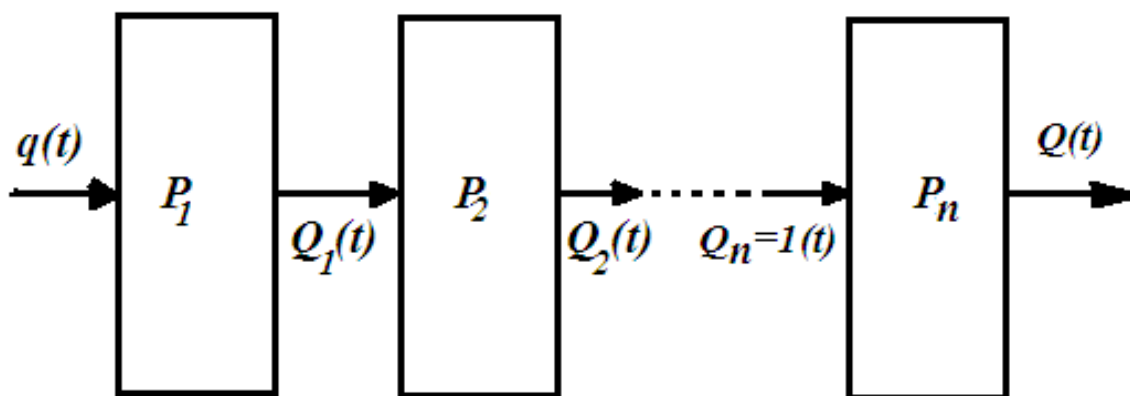


Рисунок 4.3. Схема последовательного соединения отдельных звеньев ЭЭС

$$Q_1(p)=P_1(p) q(p), Q_2 (p)=P_2(p) Q_1 (p) \quad (108)$$

$$Q_n(p)=Q(p)=P_n(p)Q_{n-1}(p) \quad (109)$$

$$\text{откуда } P(p)= P_1(p) P_2(p)..... P_n(p) \quad (110)$$

передаточная функция n последовательно соединенных соединений равна произведению передаточных функций этих соединений.

При параллельном соединении (рис. 4.4) выходные значения звеньев суммируются до общего выходного значения.

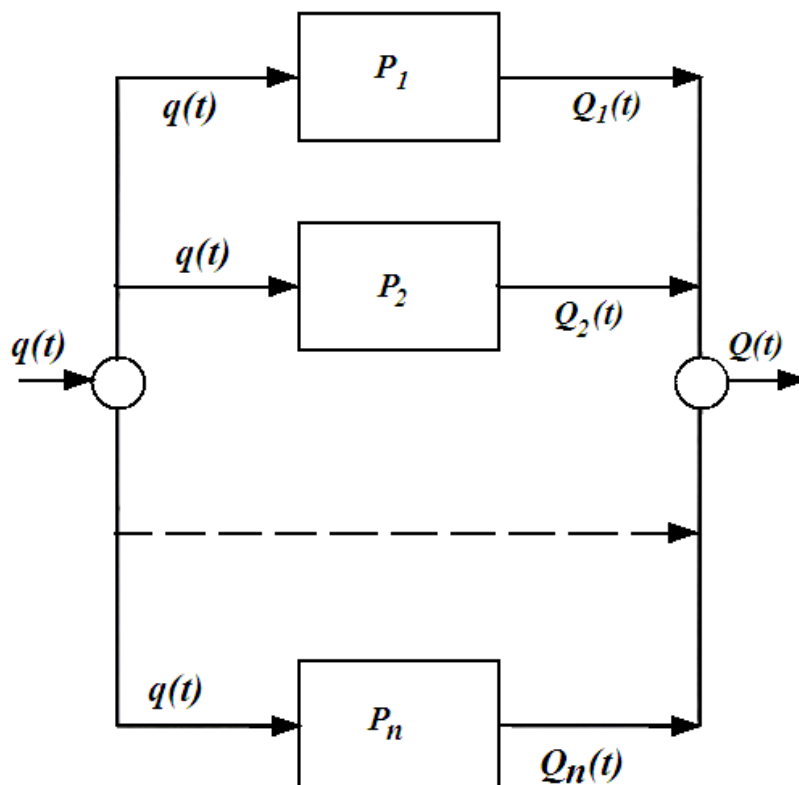


Рисунок 4.4. Схема параллельного соединения отдельных звеньев ЭЭС.

$$Q(p) = Q_1(p) + Q_2(p) + \dots + Q_n(p) \quad (111)$$

$$\text{откуда } P(p) = P_1(p) + P_2(p) + \dots + P_n(p) \quad (112)$$

В схематическом рисунке с обратной связью (рис 4.5) выходная величина первого звена подаётся на вход второго звена, а входное значение второго звена добавляется к входному действию $q(t)$ [133] на входе первого звена. В таком случае

$$Q(p) = P_1(p)q(p) + P_1(p)P_2(p)q(p), \quad (113)$$

$$\text{откуда } P(p) = \frac{P_1(p)}{1 - P_1(p)P_2(p)} \quad (114)$$

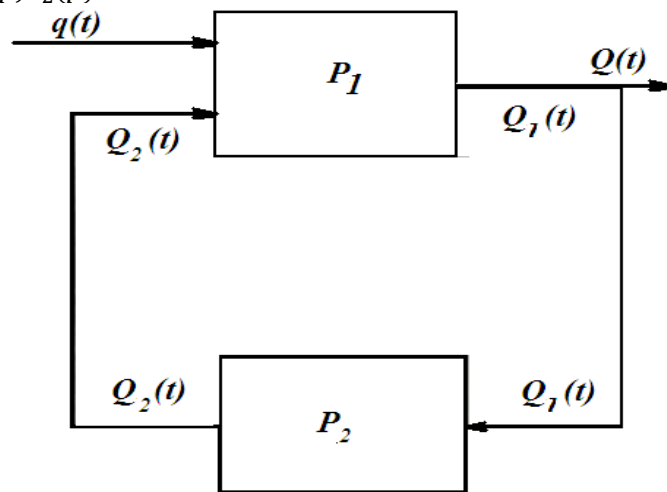


Рисунок 4.5. Схема обратной связи ЭЭС

Для изучения режима работы энергосистемы, анализируем формулы, схему для расчета годового потребления энергии и годовой кривой максимальной мощности в энергосистеме. Эти формулы, схемы и кривые, характеризуют неравномерность и колебание нагрузки в электроэнергетической системе. На рисунке 4.6 приведена схема для расчёта вероятности аварийного простоя в электроэнергетической системе.

Использование схемы состоит из следующего порядка: пусть известны значения m , n , и $г$. Проводим циркульные кривые. Соединяем засечки заданные в координатной прямой с нулевой точкой шкалы q_m . Находим точки пересечения m и n . От шкалы аварийного резерва проводим штриховую линию к точке пересечения m и n . Линия, пересекая точку пересечения, попадает на шкалу q_m , где читаем ответ.

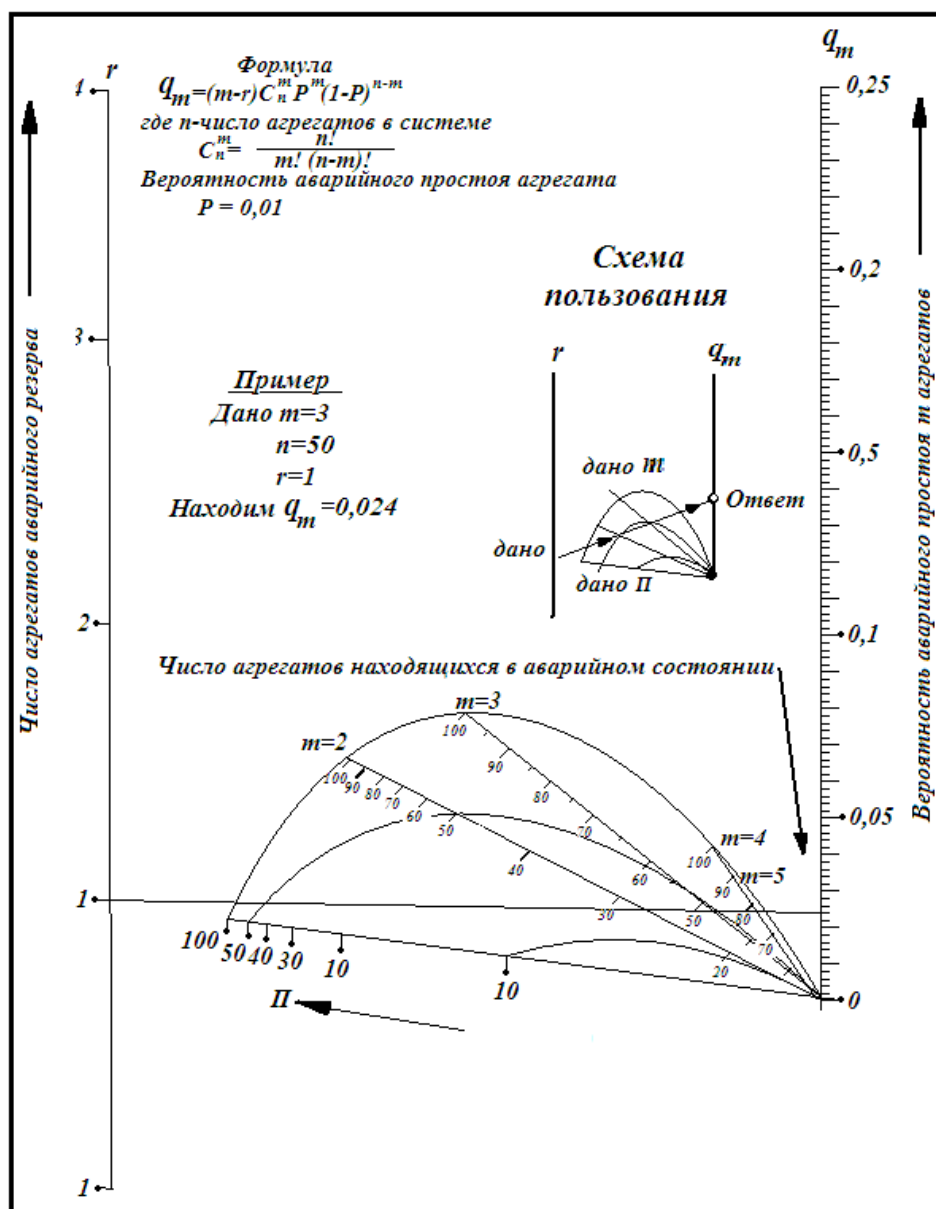


Рисунок 4.6. Схема для расчёта вероятности аварийного простоя в электроэнергетической системе при $p=0.01$

4.4. Моделирование сезонного и многолетнего процесса регулирования стока реки Вахш каскадом гидроэлектростанций

С 30-х годов прошлого века в Республике Таджикистан проводятся обширные работы по изучению его водно-энергетических ресурсов, а также проектно-изыскательские работы для строительства новых объектов. Развития и рост энергетических мощностей Республики Таджикистана представлена на рисунке 4.7.

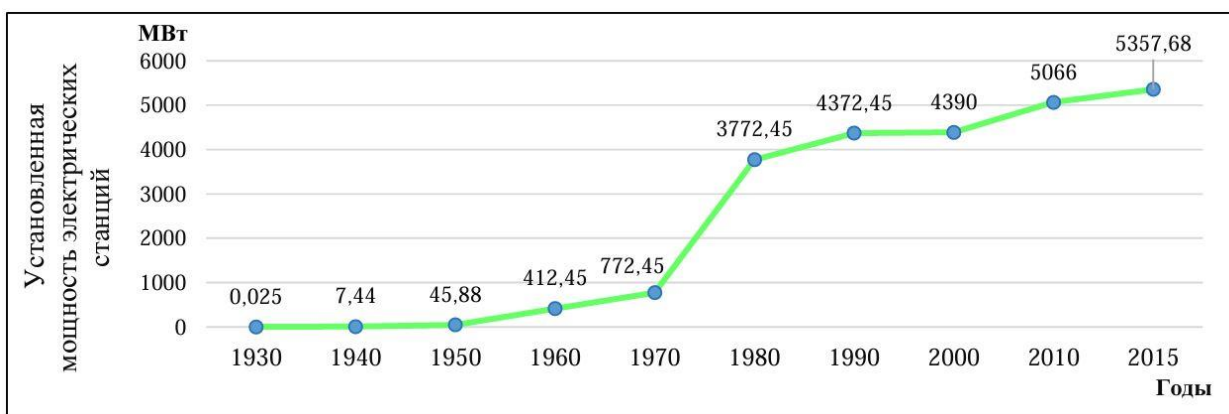


Рисунок 4.7. Динамика развития энергосистемы Таджикистана

Результаты анализа показывают, что гидроэнергетический комплекс Таджикистана развивался очень бурно во второй половине прошлого века, особенно в период с 1950-х по 1980-е годы (рисунок 4.7). В конце этого периода производство электроэнергии достигло в среднем 16 миллиардов кВтч. В год. Учитывая численность населения республики на тот момент в 4 миллиона человек, это гарантировало удельный расход в 4000 кВтч. на душу населения в год - очень высокий показатель для того времени, сравнимый со многими европейскими странами.

Учитывая тот факт, что каскадное освоение водных ресурсов является наиболее выгодным в долгосрочной перспективе, данная задача разделена на выбор наиболее энергоэффективных рек и наиболее эффективных мест на них. Критерий энергоэффективности можно определить как удельную мощность реки на единицу длины. Оно определяется следующим образом. Для каждого выбранного участка реки рассчитываются длина ΔL и его потенциальная

энергоотдача N :

где:

N – энергетическая мощность реки, МВт;

Q – средний расход реки на рассматриваемом участке, м³/сек;

H – напор (падение реки на рассматриваемом участке), м;

η – к.п.д. = 1.0.

По полученным данным строятся кривые накопленных сумм мощности реки от истока до устья:

$$N = f(L) \quad (115)$$

затем находятся ближайшие степени «n», которые обеспечивают наилучшее приближение реальной кривой. Критерием такого приближения служит коэффициент детерминации R^2 .

Дифференцируя полиномы, полученные описанным выше способом на участке реки «L», получают значения энергоэффективности на участке реки:

$$\Delta N / \Delta L = f(L), \text{ МВт/км} \quad (116)$$

Объектами исследования промышленной энергетики Таджикистана были выбраны восемь крупнейших рек республики: Вахш, Пяндж, Обихингоу, Сурхоб, Фан-Дарья, Искандер-Дарья, Зеравшан, Кафирниган, Ягноб.

Таблица 4.1

Энергоэффективность крупных рек Таджикистана

Вахш		Пяндж		Обихингоу		Сурхоб		Кафирниган	
L, km	dN/dL	L, km	dN/dL	L, km	dN/dL	L, km	dN/dL	L, km	dN/dL
0	35.8	0	0	0	2.63	0	0	0	5.79
20	32.47	50	2.04	10	3.19	20	1.06	20	5.79
40	29.33			20	3.99	40	3.53	40	5.79
60	26.36	150	1.75	30	4.91	60	5.73	60	5.79
80	23.56	200	4.77	40	5.85	80	7.67	80	5.79
100	20.94	250	8.8	50	6.72	100	9.35	100	5.79
120	18.5	300	13.13	60	7.47	120	10.77	120	5.79
140	16.23	350	17.22	70	8.07	140	11.92	140	5.79
160	14.13	400	20.6	80	8.5	160	12.81	160	5.79
180	12.21	450	22.96	90	8.78	180	13.44	180	2.57
200	10.47	500	24.08	100	8.93	200	13.81	200	2.57
220	8.9	550	23.88	110	9.03	220	13.91	220	2.57
240	7.51	600	22.38	120	9.13	240	13.75	240	2.57
260	6.29	650	19.74	130	9.36	260	13.33	260	2.57
280	5.24	700	16.22	140	9.82	280	12.64	280	2.57
300	4.37	750	12.21	150	10.66	300	11.7	300	2.57
320	3.68	800	8.22	160	12.05	320	10.49	320	2.57
340	3.16	850	4.87	170	14.19	330	9.78	340	2.57
360	2.82			180	17.28			360	2.57
		950	3.21	190	21.57			380	2.57
				200	27.3			390	2.57

Зерафшан		Ягноб		Фан-Дарья		Искандер-Дарья			
0	0.2	0	0.94	0	6.34	0	5.19		
20	1.3	10	0.89	5	6.33	22	5.19		
40	2.29	20	0.97	10	6.31				
60	3.15	30	1.17	15	6.29				
80	3.89	40	1.51	20	6.28				
100	4.52	50	1.97	25	6.26				
120	5.02	60	2.57						
140	5.4	70	3.29						
160	5.66	80	4.14						
180	5.81	90	5.12						
200	5.83	100	6.22						
220	5.73	110	7.46						
240	5.51								
260	5.17								
280	4.71								
300	4.13								
310	3.8								

Наиболее эффективной рекой с точки зрения гидроэнергетики в Таджикистане является р. Вахш (табл. 4.1), который в значительной степени используется уже сегодня: Нурекская, Байпазинская, Сангтудинская-1, Сангтудинская ГЭС-2 и каскад Вахшских ГЭС (Головная, Перепадная и Центральная ГЭС) были построены. Рогунская строится, рассматривается строительство еще одной станции – Шуробской.

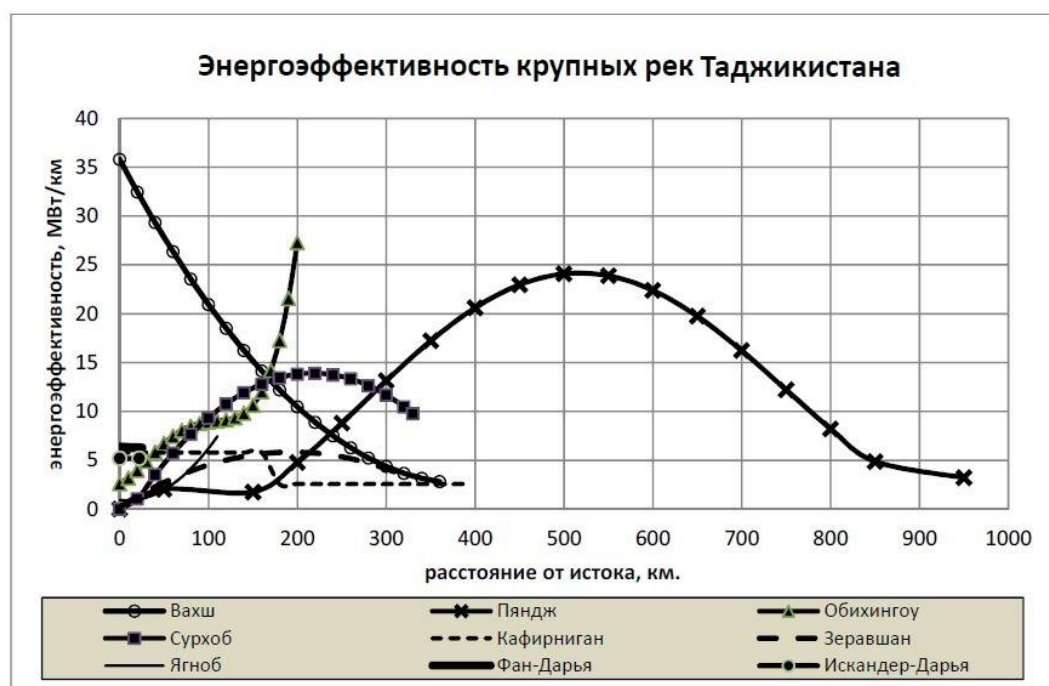


Рисунок 4.8. Энергоэффективность крупных рек Таджикистана

Кроме того, именно в этих реках достигается наибольшая энергоэффективность на разных участках. Если в Вахше она наибольшая у истока и плавно снижается к устью, то в Обихинове и Ягнобе наибольшую продуктивность имеет нижнее течение реки, в Сурхобе - ее нижняя половина, в Зеравшане - среднее течение, в Кафирнигане - курс верхнего течения.

Для реки Вахш минимальная высота плотины составляет 50 м, однако этот вывод применим только к начальному этапу освоения водных ресурсов. В будущем, если уровень развития будет достаточным, необходимо будет регулировать течение реки, чтобы оптимально использовать ее.

Общее количество плотин N , полностью использующих энергетические возможности реки Вахш, т.е. H . их суммарные отходы, составляет:

$$N(H_{пл}) = \Sigma H / H_{пл} \quad (117)$$

где: ΣH – общий перепад высот одной реки от ее истока до устья,

$H_{пл}$ – высота плотины.

Это означает, что общее количество плотин высотой $H_{пл}$ в бассейне реки равно:

$$\Sigma N(H_{пл}) = \Sigma \Sigma H / H_{пл} \quad (118)$$

где: $\Sigma N(H_{пл})$ – общее количество плотин на всех реках бассейна,

$\Sigma \Sigma H$ - суммарный перепад высот всех рек входящих в бассейн.

Поскольку общий объем водохранилища зависит от высоты плотины:

$$W_{пл} = f(H_{пл}) \quad (119)$$

учитывая это, получаем, что суммарный объем всех водохранилищ с плотинами высотой $H_{пл}$ равен:

$$\Sigma W_{пл} = \frac{\Sigma \Sigma H}{H_{пл}} \times f(H_{пл}) \quad (120)$$

Общий водосбор реки Вахш состоит из трех бассейнов: реки Сурхоб, реки Обихингоу и самой реки Вахш, образовавшихся после их слияния. Основные параметры всех трех компонентов течения Вахша приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Морфометрические характеристики основных рек бассейна р. Вахш

Река	Куда впадает	Длина, км	Площадь бассейна, км ²	Высота над ур. моря, м		Средний уклон, %
				исток	устье	
Сурхоб	Вахш	146	7286	1835	1163	4,6
Обихингоу	Вахш	196	6660	2960	1163	9,2
Вахш	Амударья	378	25150	1163	332	

Примечание. (п) – справа, (л) – слева

В соответствии с этой таблицей имеем:

р.Сурхоб – $\Sigma H = 682$ м.

р. Обихингоу – $\Sigma H = 1797$ м.

р. Вахш – $\Sigma H = 830$ м.

Итого: – $\Sigma \Sigma H = 3299$ м

Параметры водохранилищ бассейна реки. За аналог Нурекского водохранилища примем Вахш. Соответствующая зависимость

$$W_{пл} = f(H_{пл}):$$

$$W(H_{пл}) = 0,00018805H^2 - 0,01316027H + 0,24703906$$

Это позволяет определить суммарный объем всех водоемов на водосборе при полном регулировании стока. Результаты этих анализов показаны на рис. 4.9.

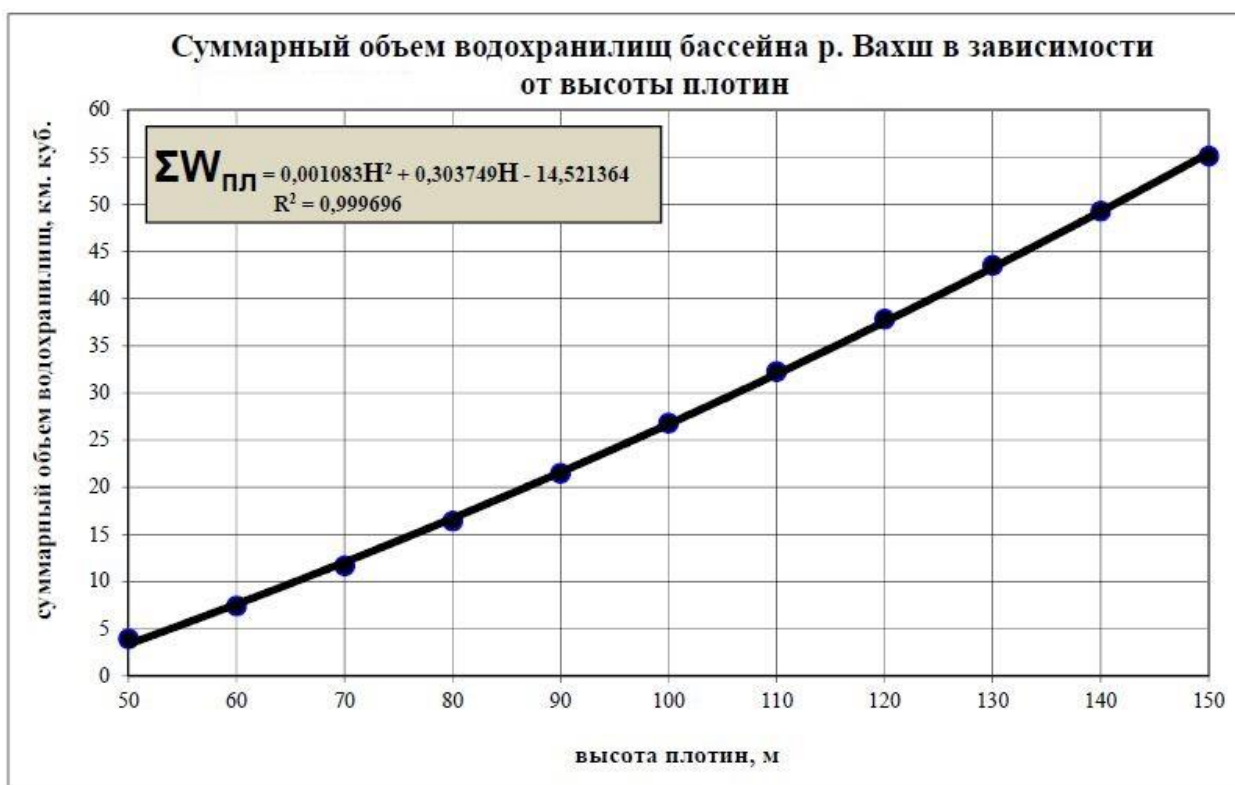


Рисунок 4.9. Суммарный объем водохранилищ бассейна реки Вахш в зависимости от высоты плотин

На этом графике видно, что, при высоте плотины 100 м общий объем всех водохранилищ бассейна реки Вахш составляет 28 км³ (это как пример).

В таблице 4.3 Показан среднемесячный расход воды по реке Вахш (таб. 4.3). Данные о расходе воды были получены с бывшей Комсомолабадской гидрологической станции.

Таблица 4.3

Среднемесячные расходы реки Вахш за 1932-2016 годы. (Q, м³/с)

Год\Мес.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ср.год.
1932	181.0	178.0	276.0	492.0	758.0	1240.0	1940	1310	632	283	209	172	639
1933	150.0	151.0	177	306	710	1060	1730	1650	757	304	206	183	615
1934	147.0	201.0	228	502	674	1650	1890	1500	679	335	245	217	689
1935	181.0	169.0	236	329	722	945	1740	1580	680	303	259	187	611
1936	162.0	164.0	172	386	1050	1540	1800	1120	747	277	220	183	652
1937	176.0	171.0	178	342	935	1400	1710	1410	716	336	265	199	653
1938	175.0	167.0	208	514	1080	943	1270	1200	542	280	217	195	566
1939	174.0	167.0	185	319	921	1210	1450	1310	648	316	216	175	591
1940	173.0	173.0	188	308	649	1230	1270	1060	563	292	228	188	527

1941	166.0	180.0	230	547	1160	1670	1630	1570	714	404	272	241	732
1942	209.0	197.0	308	629	1030	1270	2050	1630	962	416	344	289	778
1943	205.0	198.0	268	449	795	1220	1810	1500	831	360	279	243	680
1944	209.0	194.0	253	486	802	945	1910	1780	747	313	261	204	675
1945	175.0	163.0	241	552	998	1410	1870	1440	814	372	271	216	710
1946	182.0	191.0	228	679	915	997	1360	1320	698	401	253	207	619
1947	190.0	180.0	201	306	653	880	1200	1320	761	281	222	154	529
1948	142.0	135.0	176	538	952	1050	1830	1770	842	436	248	194	693
1949	207.0	195.0	248	671	1270	1270	2080	1550	807	465	338	281	782
1950	251.0	218.0	264	313	693	1110	1430	1430	675	307	239	202	594
1951	187.0	171.0	195	393	752	841	1110	1300	644	363	287	212	538
1952	180.0	189.0	227	800	1020	1460	1830	1490	719	393	259	216	732
1953	192.0	186.0	285	466	1070	1440	2050	1180	794	377	292	269	717
1954	223.0	209.0	296	646	947	1400	1550	1480	838	399	294	248	711
1955	203.0	197.0	264	342	681	1110	1070	1550	713	338	244	213	577
1956	180.0	177.0	228	566	1040	1200	2170	1560	712	334	244	206	718
1957	186.0	176.0	207	323	582	1000	1150	1010	487	306	223	195	487
1958	179.0	172.0	263	742	831	1370	2120	1370	792	353	260	233	724
1959	184.0	174.0	241	581	806	1360	1650	1490	1110	458	276	220	713
1960	186.0	188.0	207	316	708	1260	1800	1490	678	338	256	211	637
1961	179.0	165.0	206	339	731	995	1480	1260	891	330	229	188	583
1962	170.0	170.0	210	387	576	952	1340	1170	632	285	223	186	525
1963	163.0	167.0	217	480	669	1360	1441	1210	648	316	230	202	592
1964	162.0	154.0	225	498	834	1326	1810	1305	760	353	252	209	657
1965	190.0	168.0	188	323	703	1065	1383	936	509	276	246	182	514
1966	161.0	176.0	218	396	865	1777	1526	1452	672	319	227	192	665
1967	156.0	151.0	176	396	593	1210	1288	1287	704	292	241	198	558
1968	164.0	149.0	218	409	631	1150	1723	1451	602	325	238	202	605
1969	159.0	155.0	319	719	1205	1927	2163	1837	865	474	361	269	871
1970	234.0	220.0	248	596	945	1374	1380	1387	976	389	251	218	685
1971	181.0	169.0	217	400	611	1373	1465	1465	539	256	186	177	587
1972	153.0	136.0	170	322	706	988	1090	1108	667	312	229	184	505
1973	147.0	141.0	174	483	982	1695	2158	1736	1030	318	234	193	774
1974	171.0	157.0	172	348	551	953	1346	886	458	244	199	175	472
1975	169.0	158.0	190	400	650	1077	1385	1383	637	279	214	185	561
1976	163.0	157.0	167	429	763	990	1531	1250	591	297	224	165	561
1977	139.0	145.0	217	352	552	1293	1645	1282	664	306	222	175	583
1978	154.0	143.0	162	398	668	1378	1959	1461	743	316	224	197	650
1979	172.0	160.0	167	444	535	1172	1773	1290	596	317	241	201	589
1980	177.0	167.0	179	533	931	1410	1796	1280	730	345	234	202	665

1981	181.0	162.0	206	490	896	1018	1527	1090	563	316	230	190	572
1982	169.0	150.0	172	395	769	891	1098	1243	529	292	236	181	510
1983	164.0	152.0	166	390	732	995	1396	1568	640	318	229	189	578
1984	163.0	151.0	197	393	677	1446	1583	1721	622	319	251	223	646
1985	193.0	171.0	208	463	825	1208	1736	1307	629	310	212	193	621
1986	166.0	164.0	164	275	491	901	1373	1114	646	327	230	190	503
1987	167.0	165.0	234	469	869	1570	1577	1563	869	462	292	229	706
1988	211.0	198.0	220	655	1040	1653	1965	1457	749	372	240	206	747
1989	164.0	151.0	167	287	501	847	1101	1012	540	300	236	191	458
1990	169.0	167.0	211	353	911	1551	1338	1286	878	399	283	224	648
1991	195.0	176.0	195	426	788	1256	1412	1204	900	367	233	220	614
1992	162.0	160.0	180	533	966	1518	1863	1369	706	374	275	246	696
1993	191.0	212.0	174	544	1148	1644	1768	1132	804	335	289	219	705
1994	205.0	150.0	251	462	1096	1635	2267	1673	681	406	247	339	784
1995	169.0	140.0	202	410	746	933	1576	1441	633	328	210	212	583
1996	148.0	130.0	200	561	761	1386	1428	1444	759	351	234	183	632
1997	178.0	127.0	134	486	682	1045	1625	1319	843	350	216	195	600
1998	160.0	136.0	221	1002	1336	1571	2266	1555	891	412	233	223	834
1999	168.0	150.0	234	484	1072	1161	1608	1488	813	368	282	232	672
2000	166.0	131.0	214	480	892	946	1251	1143	725	319	256	220	562
2001	176.0	115.0	197	433	796	1328	1396	1046	499	303	240	206	561
2002	180.0	156.0	257	654	984	1488	1725	1634	749	409	252	224	726
2003	191.0	154.0	199	615	745	1465	1759	1218	717	323	248	219	654
2004	181.0	148.0	288	592	936	1437	1508	1211	666	336	251	245	650
2005	188.0	116.0	353	536	839	1773	1793	1251	734	340	245	205	698
2006	155.0	179.0	195	510	1094	1159	1462	1557	706	324	250	199	649
2007	137.0	124.0	282	786	1098	1311	1414	1188	823	299	227	189	657
2008	103.0	136.0	278	402	829	1446	1270	1308	590	296	235	178	589
2009	115.0	158.0	275	477	1019	1248	1585	1423	612	369	249	220	646
2010	197.0	182.0	310	799	1234	1514	1832	1758	791	405	291	218	794
2011	189.0	152.0	172	519	882	1108	1448	1496	787	339	307	221	635
2012	181.0	133.0	166	906	987	1555	1763	1504	858	354	259	211	740
2013	188.0	169.0	241	464	851	1431	1416	1474	765	410	241	214	655
2014	178.0	151.0	148	411	1034	1319	1667	1183	736	338	253	207	635
2015	195.0	205.0	255	573	1039	1424	2178	1511	593	355	290	215	736
2016	205.0	166.0	222	417	1148	1439	1560	1188	738	351	245	225	659
2017	195.0	198.0	233	751	1426	1771	2068	1464	786	356	261	202	809
2018	182.0	160.0	223	439	764	1169	1689	1400	664	304	240	230	622

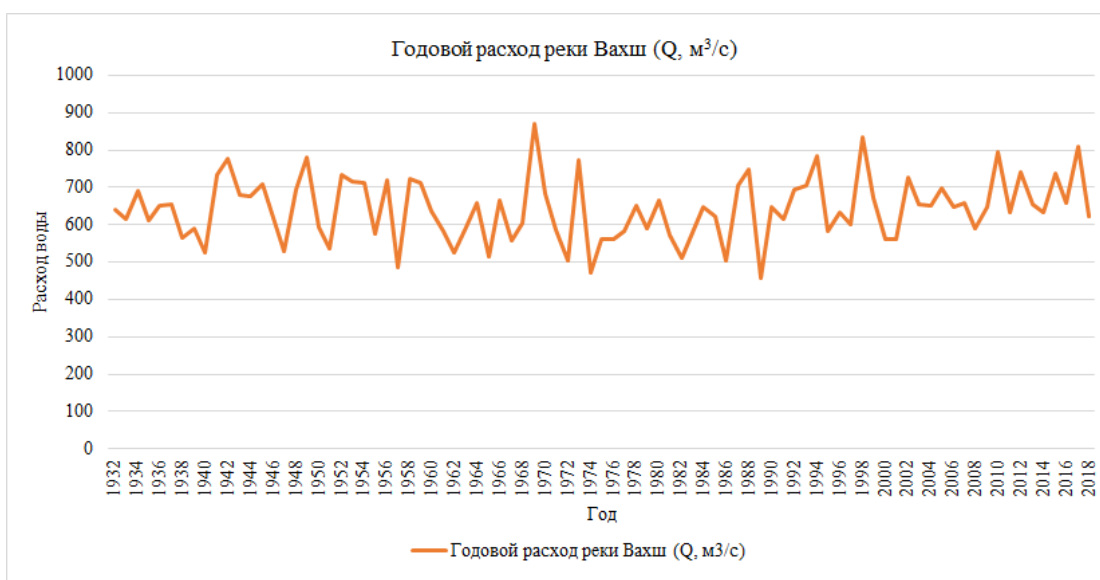


Рисунок 4.10. Годовой расход воды на реке Вахш

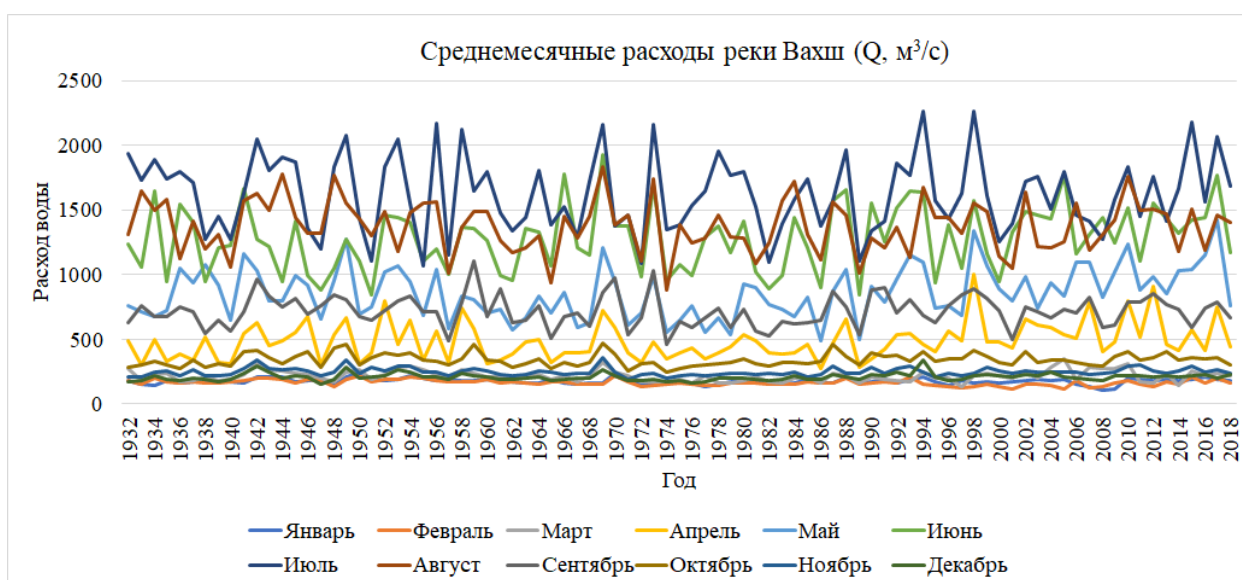


Рисунок 4.11. Среднемесячный расход воды на реке Вахш

Модель сезонного и многолетнего регулирования ГЭС

В целом расчеты для предлагаемой модели выполняются в табличной форме, как показано ниже.

В данной модели (табл. 4.4) в строках 1 и 2 указаны календарные даты изучаемого периода – год и месяцы.

В строке 3 указан известный или прогнозируемый приток воды в водоем – среднемесячный расход Q , $\text{м}^3/\text{с}$.

В строке 4 показано количество притока воды в резервуар за месяц (на основе известных значений Q), $W_{\text{пр.}}$, км³.

$$W_{\text{пр.}} = Q * 60 * 60 * 24 * n, \quad (121)$$

где n – число дней в месяце.

В строке 5 указано фактическое или ожидаемое потребление воды ГЭС: среднемесячное потребление, $Q_{\text{ГЭС}}$, м³/с.

В строке 6 рассчитывается количество воды, протекающей через гидроэлектростанцию в месяц (на основе известных значений $Q_{\text{ГЭС}}$), $W_{\text{ГЭС}}$, км³.

$$W_{\text{ГЭС}} = Q_{\text{ГЭС}} * 60 * 60 * 24 * n, \quad (122)$$

где n также число дней в месяце.

Далее эти расчеты повторяются в строках 7 и 8 с учетом того, что начальный объем резервуара для каждого последующего месяца равен конечному объему предыдущего месяца.

В строке 9 рассчитываются промежуточные средние значения объема резервуара (вдхр) $W_{\text{ср. пром.}}$ как сумма:

$$W_{\text{ср. пром.}} = (W_{\text{нач.}} + W_{\text{кон.}}) / 2, \quad (123)$$

В строке 10 показаны значения потерь воды на фильтрацию, принимаемые постоянными до получения фактических данных согласно рекомендациям технического чертежа, равными 0,01 км³ за каждый месяц.

В строке 11 рассчитываются потери воды из-за испарения, км³.

Расчеты потерь отображаются в строке 11 и выполняются по формуле:

$$П_{\text{исп.}} = S * t_{\text{потерь}} * 10^{-6}, \text{ км}^3, \quad (124)$$

где S :

$$S = -0,03777792687 W_{\text{ср. промеж.}}^3 + 1,0055598849 W_{\text{ср. промеж.}}^2 + 3,1891993856$$

$$W_{\text{ср. промеж.}} + 36,7031932722.$$

для чего в строке 12 приведены соответствующие значения $t_{\text{потерь}}$.

Затем в строке 13 рассчитываются результирующие значения среднемесячного среднего объема водохранилища, $W_{\text{ср. расчетн.}}$.

$$W_{\text{ср. расчетн.}} = W_{\text{ср. пром.}} - \Pi_{\text{ф}} - \Pi_{\text{исп}}, \quad (125)$$

В строке 14 рассчитываются объемы холостых сбросов, из условия:

- если $W_{\text{ср. расчетн.}}$ (строка 13) меньше полного объема водохранилища:

$$W_{\text{ср. расчетн.}} < 10.5 \text{ км}^3, \quad (126)$$

то $\Pi_{\text{хол}} = 0$

- если $W_{\text{ср. расчетн.}}$ (строка 13) больше полного объема водохранилища:

$$W_{\text{ср. расчетн.}} > 10.5 \text{ км}^3, \quad (127)$$

то $\Pi_{\text{хол}} = W_{\text{ср. расчетн.}} - 10.5$

По этим значениям в строке 15 рассчитывается соответствующие $\Pi_{\text{хол}}$ значения среднемесячного холостого расхода, $Q_{\text{хол}}$, по зависимости:

$$Q_{\text{хол}} = \Pi_{\text{хол}} * \frac{10^0}{86400 * n}, \quad (128)$$

где: n – количество дней в месяце.

В итоге в строке 16 определяется окончательно среднее за месяц значение объема водохранилища – $W_{\text{ср. кон.}}$.

В строке 18 показан уровень воды ниже гидроэлектростанции в зависимости от общего расхода через гидроэлектростанцию (гидроэлектрост и холстых сбросов):

$$H_{\text{н.б.}} = 0,0000000005 * (Q_{\text{ГЭС}} + Q_{\text{хол}})^3 - 0,0000032663 * (Q_{\text{ГЭС}} + Q_{\text{хол}})^2 + 0,0071690948 * (Q_{\text{ГЭС}} + Q_{\text{хол}}) + 978,77,$$

Общий напор в ГЭС рассчитывается в строке 19 как разница между двумя последними строками, $H_{\text{брутто}}$.

В строке 20 показаны значения коэффициента A ($= 9,81\eta$) в общей зависимости для расчета выработки электроэнергии:

$$\mathcal{E} = A * Q * H, \quad (129)$$

$$A = 10,37901 - 0,00672 * H_{\text{брутто}}, \quad (130)$$

В строке 21 также рассчитываются значения максимальных расходов воды, допускаемых через ГЭС в условиях кавитации и течения:

$$Q_{\text{max}} = 0,00003869 * (H_{\text{брутто}})^4 - 0,03529695 * (H_{\text{брутто}})^3 + 11,92065309 * (H_{\text{брутто}})^2 - 1765,53505094 * (H_{\text{брутто}}) + 98141,08410839$$

После этого в строке 22 рассчитывается выработка электроэнергии за месяц:

$$\mathcal{E} = A * Q_{\text{ГЭС}} * H_{\text{брутто}}, \quad (131)$$

а в строке 23 показывается суммарные значения выработки электроэнергии с начала исследуемого периода.

Представленная версия также была разработана для многолетнего регулирования на период 1990 – 2016 гг. с уже известными данными по водности реки Вахш. Поэтому в строке 3 показано фактическое среднегодовое потребление воды.

В строке 4 показан годовой объём сброса, рассчитанный по зависимости:

$$W_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}} \frac{86499 * 365}{10^9}, \quad (132)$$

Также рассчитываются объёмы воды через ГЭС, $W_{\text{ГЭС}}$ в строке 6.

В строке 10 предполагается, что годовые потери воды на фильтрацию постоянны и, следовательно, одинаковы $0.1 \text{ км}^3/\text{год}$.

В строке 12 значение $t_{\text{потерь}}$ приняты в соответствие с таблицей равными 805 мм/год.

В строке 15 расход холостого сброса $Q_{\text{хол}}$ рассчитывается по объему холостого стока по зависимости:

$$Q_{\text{хол}} = \Pi_{\text{хол}} \frac{10^9}{86400 \cdot 365}, \quad (133)$$

Годовое производство электроэнергии \mathcal{E} в строке 21 рассчитывается на основе удельного расхода воды на киловатт-час q в зависимости от напора $H_{\text{брутто}}$.

В строке 20 принята полиномиальная зависимость, которая проще и имеет немного большее значение R^2 , чем логарифмическая:

$$q = 0,0000217455 \cdot (H_{\text{брутто}})^2 - 0,0163921897 \cdot (H_{\text{брутто}}) + 4,3951294852 \quad (134)$$

Разработанная выше модель также может быть преобразована для оценочных расчетов долгосрочного регулирования стока реки Вахш в интересах гидроэнергетики через каскад двух ГЭС: Рогунской и Нурекской.

Такая возможность основана на том, что обе работают при одинаковом притоке воды в реку и на близости основного параметра обеих ГЭС – давления N . Определенную разницу можно наблюдать только в отношении удельного расхода q , для производства электроэнергии, что не представляет проблем при расчетах.

Следующие расчеты (модели) начинаются с ожидаемого времени для штабов Рогуна и Нулека, которые имеют схожие параметры, и есть вероятность, что я виртуально подключаю Лоро, потому что работаю один, а по поводу Каскада в штабе генерала электроэнергетическая отрасль, которая принимает производство своей электроэнергии.

При этом объем водохранилища Нурекской ГЭС будет использоваться в его ныне пригодной для использования части., равной 3.2 км^3 .

Поэтому в данном расчете (модели) приняты следующие параметры встроенного резервуара: 1) полный объем – 16.5 км³; 2) полезный объем – 13.5 км³; 3) мертвый объем – 3 км³.

При этом высоты верхнего и нижнего резервуаров и давления общей гидросистемы Рогунской ГЭС предполагаются одинаковыми.

В линиях 10 и 11 потери воды удваиваются за счет фильтрации и испарения. В строке 14 рассчитывается расход потока без выработки (холостой сброс) на основе общего объема двух резервуаров:

=ЕСЛИ(C15>16,5;C15-16,5;0)

В строках 20 и 21 отдельно рассчитывается удельный расход воды на производство электроэнергии для Рогунской и Нурекской ГЭС.

Таблица 4.4

Оптимизация режима работы каскада Рогунской и Нурекской ГЭС. Многолетнее регулирование

Стро	Столбец	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	период	1990 – 2016																										
2	Годы	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
3	Расход воды к в-шу, $Q_{пр}$, м ³ /с	648	614	696	705	784	583	632	600	834	672	562	561	726	654	650	698	649	657	589	646	794	635	740	655	635	736	659
4	Приток к в-шу, $W_{пр.}$, км ³	20,44	19,36	21,95	22,23	24,72	18,39	19,93	18,92	26,30	21,19	17,72	17,69	22,90	20,62	20,50	22,01	20,47	20,72	18,57	20,37	25,04	20,03	23,34	20,66	20,03	23,21	20,78
5	Расход через ГЭС, $Q_{ГЭС}$, м ³ /с	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
6	Объём воды через ГЭС, $W_{ГЭС}$, км ³	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50
7	$W_{начальн.}$	3,00	2,94	1,80	3,25	4,99	9,21	7,10	6,53	4,96	10,76	11,45	8,68	5,87	8,27	8,39	8,39	9,91	9,87	10,10	8,17	8,05	12,59	12,11	14,95	15,11	14,64	17,35
8	$W_{конечн.}$	2,94	1,80	3,25	4,99	9,21	7,10	6,53	4,96	10,76	11,45	8,68	5,87	8,27	8,39	8,39	9,91	9,87	10,10	8,17	8,05	12,59	12,11	14,95	15,11	14,64	17,35	17,63
9	$W_{ср. промез.}$	2,97	2,37	2,53	4,12	7,10	8,16	6,82	5,74	7,86	11,10	10,06	7,27	7,07	8,33	8,39	9,15	9,89	9,99	9,13	8,11	10,32	12,35	13,53	15,03	14,87	15,99	17,49
10	Потери на фильтрацию, $P_{ф}$, км ³	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
11	Потери на испарение $P_{исп}$, км ³	0,044	0,04	0,041	0,052	0,078	0,088	0,075	0,065	0,085	0,116	0,106	0,079	0,077	0,090	0,090	0,098	0,105	0,106	0,097	0,087	0,109	0,127	0,137	0,148	0,147	0,153	0,15

Таблица 4.5

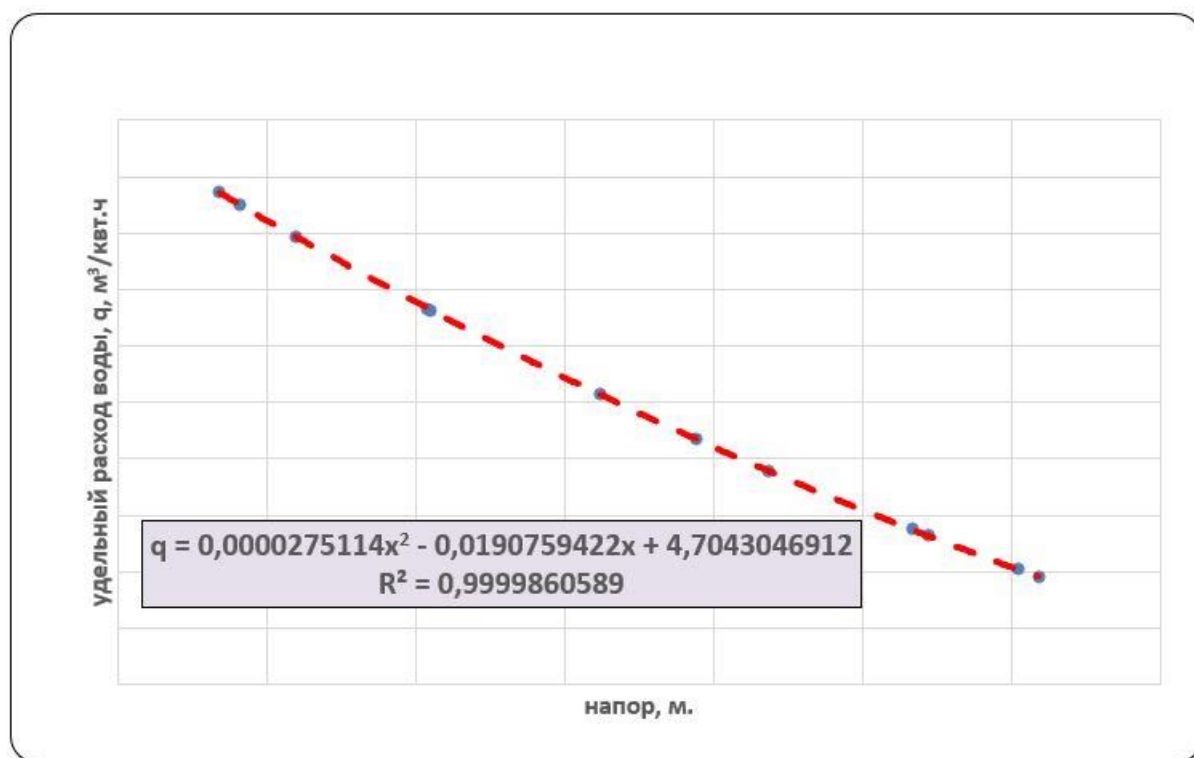
**Нурекская ГЭС. Данные для расчета удельного расхода воды на
выработку электроэнергии**

W _{ГЭС} , км ³	1,87	1,30	1,38	1,48	1,47	1,24	1,27	1,62	2,05	2,16	2,52	2,19
Э, млрд. кВт.ч	1,17	0,81	0,85	0,88	0,84	0,68	0,67	0,84	1,06	1,18	1,46	1,34

Таблица 4.6

**Нурекская ГЭС. Удельный расход воды на выработку электроэнергии:
 $q = f(H)$**

W/Э, м ³ /кВт.ч	1,60	1,60	1,63	1,64	1,69	1,72	1,76	1,83	1,83	1,90	1,93	1,94
H _{брутто} , м.	261,8	260,4	254,4	253,3	243,7	238,8	232,4	220,9	220,8	212	208,2	206,8



**Рисунок 4.12. Нурекская ГЭС. Удельный расход воды на
выработку электроэнергии. $q=f(H)$.**

Математические модели, разработанные в этом разделе, позволяют решить всю задачу оперативного управления крупнейшими гидроэлектростанциями по отдельности и в комплексе.

ВЫВОД К ЧЕТВЁРТОЙ ГЛАВЕ

Для моделирования речного стока по необходимости собраны материалы и доставлены информации из достоверных источников с достоверными сведениями. Все собранные материалы и достающие информации анализированы в процессе моделирования. Даны точные оценки выбранным моделям стока. При выборе критерии качество оптимизации параметров моделей стока учитывались: точность расчёта гидрографов, среднеквадратические отклонение расходов, геометрические ряды намеченных створов в исследуемом участке реки (на примере р. Вахш и Нурекский гидроузел), особенности гидрологического характеристика бассейна и другие параметры реки. Возникали проблемы при выборе критерии качество и эффективность при выборе модели стока. Настоящая глава диссертационного исследования посвящено решениям описанных проблем моделирования и выбора оптимального модели стока.

В этом разделе работы представлены различные модели оптимизации стока. Одной из таких моделей является, линейная модель стока с сосредоточенными параметрами.

Показано, взаимосвязь, объёма воды и расхода в замыкающем створе следующим уравнением: $W=K(t)Q(t)$

где $K(t)$ – переменный во времени коэффициент пропорциональности.

Приведены уравнения, неравенства и равенства для решения проблем моделирования стока. Так как работа имеет энергетические особенности, в этом разделе представлены схемы последовательного, параллельного и обратного соединения отдельных звеньев ЭЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главный аспект диссертационного исследования состоит, в целенаправленном регулировании стока реки Вахш, взаимообусловленного энергетическими особенностями.

Главы диссертационного исследования, посвящены различным аспектам темы исследования. В первой главе характеризуются энергетические проблемы, причины появления этих проблем и способы их решения. Во второй главе описаны проблемы регулирования стока и пути их решения. В годовом производстве электроэнергии доля гидроэнергетики составляет 90-95%. Поэтому, в настоящее время, целенаправленное регулирование речного стока и получение эффекта от выработки электроэнергии, является актуальной задачей. В третьей главе диссертационного исследования представлены результаты анализа методов и подсчёты потенциала гидроэнергетических ресурсов. Последняя глава диссертационного исследования, посвящена моделированию и выбору оптимальной модели регулирования.

Основные научные результаты

1. Определены энергетические особенности в вопросах распределения сбережения, использования и управления регулируемого стока бассейна реки Вахш. Коэффициенты, рассчитанные для гидротурбин и генераторов ($\varphi_{T=0,85}$ и $\varphi_{Г=0,96}$) свидетельствуют о том, что связь между электроэнергетическим оборудованием ГЭС, вполне приемлема в работе и способствуют эффективному сбережению, распределению и использованию электроэнергии [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А, 13-А].

2. Приведены результаты анализа состояния возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан, полученные на исследованиях энергетических особенностей водного стока бассейна реки Вахш. Дана оценка потенциалу возобновляемых источников энергии, а также потенциалам гидроэнергетических ресурсов и малой энергетики Таджикистана [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А, 13-А, 14-А].

3. Определена возможность плодотворного использования гидроэнергетических ресурсов по бассейну реки Вахш, в секторах экономики Республики Таджикистан. Стабилизирование экономического сектора, путём

экспорта электроэнергии нуждающимся странам, по рыночным ценам [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А].

4. Установлено, что Нурекская ГЭС после реконструкции (в сравнении с 2004 годом) ежегодно вырабатывает на 800 млн. кВт/час больше электроэнергии и на ближайшее будущее (2020-2030 годах) останется флагманом гидроэнергетики Таджикистана [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А].

5. Разработан теоретический метод непрерывного наблюдения за динамикой изменения полезного объёма водохранилищ с учётом факторов заиливания. Показана эффективность использования гидроэнергетических ресурсов. Применены формулы для линейного моделирования речного стока, для решения «обратной» задачи и для расчёта в замыкающем створе горных рек. Приведено выражение для вычисления годового показателя использования максимальной мощности, что приемлемо для определения нагрузки осветительных и бытовых приборов жилых комплексов, отдалённых населённых пунктов в зимний период [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А].

6. Приведено общее уравнение баланса. Зависимость однородных элементов приходной части и однородных элементов расходной части балансов (А и В). Показано схема для расчёта вероятности аварийного простоя в электроэнергетической системе (ЭЭС). Даны точные формулы. Показаны соотношения для определения годовой выработки электроэнергии, в электроэнергетической системе. Показана, интегральная зависимость для вычисления объёма речного стока в створе ГЭС (на примере реки Вахш и Нурекского гидроузла) [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А].

7. Рассмотрены оптимальные и линейные, математические модели регулирования речного стока работы гидроузлов, в том числе каскадных. Показано моделирование многолетнего процесса регулирования речного стока реки Вахш, каскадом гидроэлектростанций. Использование моделей для

работы Нурекского гидроузла, повышает эффективность регулирования стока. Это позволит экономить электроэнергию для долгосрочного и годового регулирования стока, при соблюдении требований по орошению и гидроэнергетике, особенно с учетом экономической эффективности и экологической безопасности Республики Таджикистан [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А, 13-А].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данной работе анализируется работа схемы регулирования мощности гидроэлектростанции по речному стоку. Рассмотрена эффективность применения таких систем и привлечение к регулированию речного стока гидроэлектростанций, работающих на стоковых режимах (на примере бассейна реки Вахш и Нурекского гидроузла в Таджикистане).

Для замены сложных и трудоёмких расчётов, приведены графики, схемы и таблицы. Обработанные математические модели оптимизации режимов работы ГЭС, позволяют экономить электроэнергию как в целом для всего года так, что особенно важно, для осенне-зимнего, наиболее холодного и маловодного периода.

Производственным предприятиям отраслей гидроэнергетики и водного хозяйства даны рекомендации по усовершенствованию и управлению регулирования речного стока. Разработана стратегия направленного регулирования для оптимизации развития энергосистем Таджикистана.

Показано значение гидрологического прогноза речного стока для работы ГЭС. Результаты диссертационной работы могут быть полезными для специалистов, работающих в системе энергетики и водных ресурсов, а также может быть полезна научным работникам, преподавателям и студентам соответствующих специальностей.

Автором, рекомендуется для использования математическая модель определения максимальной нагрузки гидроэлектростанции при

недостаточных мощностях в ЭЭС. Выполнение выше указанных рекомендаций, основанных на методе баланса, и методе вероятного расчёта моделирования речного стока, способствуют получению следующих результатов: экономия электроэнергии 5,2% от многолетнего регулирования; 12% от годового регулирования речного стока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаева Ф.С., Бакатин Г.Н., и др. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР. –Л: Недра, 1965. – 658 с.
2. Абдурасулов А.А., Ахмедов Х.М., Кабутов К. Проблемы устойчивого развития горных территорий Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2011. – 220 с.
3. Асарин А.Е., Бестужева К.Н. Водноэнергетические расчеты. М.: Энергоиздат, 1986. – 224 с.
4. Арифов Х.О. Энергетическая безопасность Таджикистана в годы государственной независимости // Х.О. Орифов. Монография. - Душанбе, 2022. – 283с. - с. 239- 242.
5. Ахмедов Х. М., Каримов Х.С. Возможности получения и использования биогаза в Таджикистане. – Второе изд. – Душанбе: Дониш, 2008. – 50 с.
6. Ахмедов Х.М., Петров Г.Н. Общие подходы и особенности энергосбережения в современном Таджикистане// Материалы круглого стола: «Меры по экономному использованию энергии и энергосбережению». – Душанбе 2009.
7. Бахтияров В.А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. –Л. Гидрометеиздат, 1961. – 430 с.
8. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока//Труды ОГМИ. – 1949. – Вып. 4. – С. 39-175.
9. Бельченков В.А., Корень В.И., Кучмент Л.С., Математическое моделирование формирования дождевого и талого стока //Труды ОГМИ. – 1972. – Вып. 81. – С. 3-24.
10. Беяков А.А. О принципах оценки экономической эффективности гидроэнергетики // Гидротехническое строительство. -1996. – №3.
11. Большая иллюстрированная энциклопедия географии., ООО Издательская Группа «Азбука Аттикус»- обладатель товарного знака Mashaon 119334, Москва, 5-й проезд, д.15, стр.269

12. Валаматзаде Н.Т. Об экономической политике Республики Таджикистан в области электро -энергоэффективности и использовании возобновляемых источников энергии. – Душанбе: ООО Хирад, 2008. – с.41.
13. Великанов М.А. Формирование ливневых паводков. – ДАН СССР. – нов., сер.Т.19. – 1945. – С. 114-119.
14. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988.
15. Воропаев Г.В., Измаилов Г.Х., Федоров В.М. Развитие водохозяйственных систем (Методы анализа и оценки эффективности их функционирования). – М.: Наука, 1989. – 295 с.
16. Вода основа жизни и человеческого существования (материалы конференции) // А Н Таджикистана, Душанбе, 2003 г.
17. Герман Дж.Р., Гольдберг Р.А. Солнце, погода и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 319 с.
18. Гидроэнергетика и устойчивое развитие. – М. Гидротехническое строительство, 2005. – №1.
19. Гидроэнергетика, – под ред. В.И. Образцова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 512 с.
20. Непорожний П. С. Возможности и тенденции.М. Знание, сер. «Техника» 1985, №1, с.7-9.
21. Гурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: «Высшая школа», 1977. – 479 с.
22. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей, Физмат из, 1961.
23. Годовой отчет, ОАО Нурекская ГЭС, 2007г.
24. Давлатшоев Д.Д. Состояние агрегатов Нурекской ГЭС и работы по восстановлению установленной мощности станции. – Душанбе: ООО Хирад, 2008. – С. 52-53.
25. Данилов – Данильян В.И., Пряжинская В.Г. Управление водными ресурсами в условиях климатических изменений. Обоснование стратегий управления водными ресурсами. – М.: Научный мир, 2006.

26. Данилов – Данильян В.И., Хрипович И. Л. Управление водными ресурсами, Согласование стратегий водопользования. – М.: Научный мир, 2010. – 232 с.
27. Денисов Ю.М. Математическое моделирование процесса стока горных рек. // Труды САН И ГМИ. 1968. Вып.39 (54). – С.30-36.
28. Доброхотов В. И. Использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии - важная народнохозяйственная задача // Теплоэнергетика. - М. 1987. - №9. – С.2- 4.
29. Дочернее предприятие ЗАО «Фон даре». – Душанбе: Дониш, 2008. – 70 с.
30. Елохин Е.А., Фаин И.И. Определение эффективности капиталовложений в гидроэнергетику // Труды Гидропроекта. – Сб.17. – 1969.
31. Женевская Конвенция о влиянии производства гидроэнергии на другие государства от 9.12.1923 г.
32. Жидков П., Левин А. Г., Нечаева Н.С., Попов Е.Г. Методы расчета и прогноза половодья для каскада водохранилищ и речных систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1977.
33. Журавлев В.Г., Обрезков В.И, Филиппова Т.А. Управление режимами гидроэлектростанции в условиях АСУ. – М.: Энергия, 1978.
34. Загс Ш. Теория статистических выводов. – М.: Мир, 1974.
35. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике. – М.: Дело и Сервис, 2004.
36. Золотарев Т.Л. Гидроэнергетика. – М-Л.: ГОСЭНЕРГОИЗДАТ, 1950. – 196 с.
37. Илми Тоҷикистон дар давраи истиклолият / Тахти назари президенти. АИЧТ акад. М.И. Илолов, акад. Х.М. Ахмедов. – Душанбе: Дониш, 2011. – 242 с.78-81.
38. Ильин Ю.Д. Международное публичное право. – Москва: Норма, 2008.

39. Ирригация в Центральной Азии. Социальные, экономические и экологические аспекты. Всемирный Банк, 2003. – 44 с.
40. Исаев Р.С. Некоторые вопросы использования и охраны водных ресурсов в условиях регулирования стока. – Душанбе, Ирфон, 2004 г. 103 с.
41. Кабутов К., Ахмедов Х.М., Каримов Х.С. и др. Возможности использования возобновляемых источников энергии в Таджикистане. // Изв. АН РТ. Отд. физ-мат., хим., геол. и техн. Наук. – 2008. – №2.
42. Картвелишвили Н.А. Потоки в недеформируемых руслах. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 279 с.
43. Картвелишвили Н.А., Неустановившиеся открытые потоки. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 125 с.
44. Кириллин В.А. Возобновляемые (нетрадиционные) источники энергии // Вестник АН СССР – М. 1985. - №5. – С. 3–7.
45. Корень В.И., Бельченков В.А. Учет динамики потерь при расчете гидрографа весеннего половодья // Метеорология и гидрология. – 70. – № 11. – С. 63-65.
46. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Выбор кривых распределения вероятностей для расчётов речного стока // Известия АН СССР. ОТН. – 1948. – №6.
47. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О соответствии теоретических кривых распределения вероятностей данным наблюдений по речному стоку // Сб «Проблемы регулирования речного стока». – Вып.3. – М.: Изд-во АН СССР, 1948.
48. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Водохозяйственные расчёты. – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 302 с.
49. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – 391 с.
50. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Россинский К.И. Зимний термический режим водохранилищ, рек и каналов. – М.: Госэнергоиздат, 1947. – 155 с.

51. Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1972.
52. Кучмент Л.С. Решение обратных задач для линейных моделей стока. Метеорология и гидрология. – 1967. №4. – с.73-79.
53. Лавриненко П.Н., Кабилов З.А. Возможности использования солнечной энергии в Таджикистане. – Душанбе, 1980.
54. Ляпичев П.А. Методика регулирования речного стока. – М.: Госстрой –издат, 1955. – 390 с.
55. Макаров А.А., Вигдорчик А.Г. Топливо-энергетический комплекс. – М.: Наука, 1979. – 263 с.
56. Макарова А.С., Макаров А.А. Математическая модель для перспективного развития энергосистемы // Электроэнергетические станции. – 1964. – №5.
57. Маматканов Д.М. Водные ресурсы горной территории бассейна // Вестник Арала. – 1996. – Вып. 1.
58. Математика: Ш Э, - М.: Большая Российская энциклопедия, 2003,- под редакции С.М. Никольского, 528с.: стр.333- 334
59. Материалы XXVII Съезда КПСС. – М.: Политиздат, 1986– С. 325-326.
60. Назаров А. Неругохҳои барқи обии Тоҷикистон. –Душанбе, 2013. – 72 с.
61. Народное хозяйство Таджикской ССР в 1986 г.-Душанбе: Ирфон, 1986. – С.23.
62. Новый политехнический словарь. /Под ред. А.Ю. Ишлинского. – М: Большая Российская Энциклопедия, 2003., 671с.- стр.451
63. Норматов И.Ш., Петров Г.Н., Шерматов Н. Гидроэнергетические ресурсы Таджикистана // Современное состояние водных ресурсов Таджикистана, проблемы и перспективы рационального использования (тезисы докладов)/ А Н Республики Таджикистан. – Душанбе, 2003.
64. Обрезков В.И., Гофман А.М. Гидроэлектрические станции в электро - энергетических системах. – М.: Энергия, 1973. – 327 с.

65. Обширный план содействия международному сотрудничеству в бассейнах трансграничных рек, ИК МФСА, ПРООН в Таджикистане, 2006 г.
66. Орочко Д. И., Сулимов А. Д., Осипов А.Н., Гидрогенизационные процессы в нефтепереработке., Химия. Энциклопедия./Под ред. И. Л. Кнунянц – М: Большая Российская Энциклопедия, 2003., 972с. – стр.133
67. Основные положения водной стратегии бассейна Аральского моря, меж госсовет по проблемам Аральского моря, Всемирный банк 1994-1996гг.
68. Отчёт о мировом развитии. От плана к рынку, ВБ, МБРР, OXFORD University Press., 1996г. 311 с.
69. Отчёт по человеческому развитию 1994, ПРООН, Нью-Йорк, Оксфорд, 1994 г. 226 с.
70. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М., Кабутов К., Каримов Х.С., Энергоэффективность крупных рек Таджикистана // Известия АН РТ. Отд-ние. физ. мат. хим. геол. и техн. наук. – 2009. – №2, №4.
71. Петров Г.Н. Исследование процессов заиления Нурекского водохранилища на р. Вахш // Гидротехническое строительство. – Москва, 2008. – №10.
72. Петров Г.Н. Комплексное многолетнее регулирование стока трансграничных рек в интересах гидроэнергетики и ирригации // Доклады АН РТ, Душанбе, 2009 г. – Том 52, №1.
73. Петров Г.Н. Оптимизация режимов работы гидроузлов с водохранилищами / НПИЦ РТ. – Душанбе, 2009.
74. Петров Г.Н. Перспективы гидроэнергетики Таджикистана // Народная газета. – 2004. – №23 (19421). – 9 июня.
75. Петров Г.Н. «Солнечная энергия и её использование в бытовом секторе». Душанбе, ООО Хирад, 2008, с.86-88.
76. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 559 с.
77. Попов Е.Г. Анализ формирования стока равнинных рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 131 с.

78. Потапов В. М., Ткаченко П., Юшматов О. А. Использование водной энергии, - М: « Колос» ,1972, - 343с.
79. Разыков Б. Экономическая оценка и промышленное использование минеральных вод Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2007. – 88 с.
80. Рахимов Р.К. Проблемы эффективности и пути развития экономики Таджикистана. – Душанбе: Дониш,1976. – 264 с.
81. Родниковский А.Ш., Гладкова С.П., Зубарев В.В. Водноэнергетические расчёты методом Монте-Карло / под ред. А.Ш. Родниковского. – М.: Энергия,1969. – 303 с.
82. Ресурсы поверхностных вод, Т,14, Средняя Азия, Вып. 3, Бассейн Р. Амударья, Л: Гидрометеиздат ,1971г.
83. Розанова Я.В., Бочкарев В.С., Лопашенков и др. Гидротехнические сооружения / под ред. Н.П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.
84. Розенброк Х., Стори С. Вычислительные методы для инженеров химиков. – М.: Мир, 1968. – 440 с.
85. Рябчиков А.К. Экономика природопользования. – М.: Элит-2000, 2003. – 185 с.
86. Сарсамбеков Е.Е., Нурушев А.Н., Коржаков А.Е., Османов М.О. Использование и охрана трансграничных рек в странах Центральной Азии. – Алматы: Атамура, 2004. – 271 с.
87. Семёнов А.А. Вопросы эффективности энергетического производства. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 126 с.
88. Семёнов Н.Н. Избранные труды. – Т. 4– М.: Наука, 2006.
89. Синяк Ю.В., Авизов А.Х. Возможность экономии природных энергоресурсов за счёт анаэробной ферментации содержащих веществ.- Экономика, Топливо, Вып. 6, М.: 1985.-с.76
90. Сирожев Б.С. Развитие электроэнергетики Таджикистана. – Душанбе: Ирфон, 1984. – 112 с.

91. Социально – экономические положение Республики Таджикистан / Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан. – Душанбе, 2016.
92. Таджикистан. Инвентаризация источников антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов. Правительство Республики Таджикистан / ПРООН. – Душанбе, 2001.
93. Токомбаев К.А. Местные энергоресурсы - на службе ирригации и отгонного животноводства. – Фрунзе, 1979. – 128 с.
94. ТФ РЭЦА. Компания по информированию общественности о социально – экономической оценке Рогунской ГЭС. Бизнес \$ Политика. №22 (229), 27 мая 2010г.
95. Указания по расчету заиления водохранилищ при строительном проектировании. Л: Гидрометеиздат, 1973 г. – 57 с.
96. Уметова А.Э. Сотрудничество в сфере безопасности, экономики, водноэнергетических ресурсов, коммуникации, культуры и перспектива её расширения (Материалы пятого заседания форума ШОС). – Душанбе, 2011.
97. Уотерс П. Роль водного права в развитии стратегии интегрированного управления водными ресурсами // Международное и национальное водное право и политика. Юридический сборник. – Ташкент, 2011. – №2 (9). – С. НИЦ МКВК.
98. Управление рисками межгосударственных водных ресурсов: навстречу устойчивому будущему для Аральского бассейна. (Джайхун), FPG-2003- INCO- RUSSIA + NIS- STREP. 2005-2007 гг.
99. Урин В.Д., Кутлер П.П. Энергетические характеристики для оптимизации режима электростанций и энергосистем. М., «Энергия», 1974, 136 с.
100. Финансово-экономический анализ проекта завершения строительства Сангтудинской ГЭС на реке Вахш. – Душанбе: ГАХК «Барки - Точик» , 1999. – 94 с.
101. Хамитов Р.С. Водные ресурсы как основа устойчивого развития гидроэнергетики. – М.: Гидротехническое строительство, 2005. – №9.

102. Хамраев Н. Структура водного баланса и его оценка // Вестник Арала. – Вып. 1. – 1996.
103. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973.
104. Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Потокные модели. – М.: Научный мир, 2001. – 295 с.
105. Хужакова И.М. Краткий курс по международному праву. – М.: Окей-книга, 2007. – 128 с.
106. Черногаева Г.М., Толкачев Н.Н. Эколого-климатические проблемы энергетики // Использование и охрана природных ресурсов России. – М., 2006.
107. Чернухин А.А., Флаксерман Ю.Н. Экономика энергетики СССР. – М.: Энергия, 1970. – 328 с.
108. Четыркин Е.М. Финансовый анализ производственных инвестиций. – М.: Дело, 1998.
109. Шайтанов В.Я. Использование гидротехнических ресурсов в России и государствах Содружества на рубеже 21 века // Гидротехническое строительство. – М., 2001. – №1. 318 с.
110. Шарипов К.И. Влияние крупных водохранилищ на режим водного стока горных рек // Энергетический комплекс Таджикистана. Проблемы и перспективы устойчивого развития. – Душанбе, 2008.
111. Шарипов К.И. Существенность сезонного регулирования стока для выработки электроэнергии на Нурекском гидроузле. Душанбе // Вестник Таджикского национального университета. – 2016. – С. 185-187.
112. Шаш Н.Н. Краткий курс по мировой экономике. – М.: Окей-книга, 2008. 139 с.
113. Шейченко С.Н., Вейцман Р.А. Комплексный анализ эффективности строительства ГЭС // Гидротехническое строительство. – М., 1996. – №2.
114. Шенцыс И.Д., Шпигунова Э.К. Линейная модель бассейновой трансформации стока // Труды САНИГМИ. – 1970. – вып. 52 (67). – с. 32-45.

115. Шишов А.Н., Бухаринов Н.Г., Тарагин В.А., Шнеерова Г.В. Экономика энергетики СССР, М.: Высшая школа, 1979. – 448 с.
116. Энергетикаи Тоҷикистон: дируз, имруз ва фардо. – Душанбе: Эҷод, 2006.
117. Энергетические ресурсы СССР // Гидроэнергетические ресурсы. – М.: Наука, 1967.
118. Эрик Хелферт. Техника финансового анализа. – Москва, Аудит, «ЮНИТИ», 1966. – 663 с.
119. Эрнест Джонс. Деловые финансы. – М.: Олимп-Бизнес, 1998. – 411 с.
120. Юрматов В.Ф., Ниязов Д.Х., Разыков В.А. К вопросу снижения себестоимости и повышения качества электроэнергии дизельгенеральных установок, работающих в условиях высокогорья. – В сб: Вопросы совершенствования планирования и управления. Вып. 5, Душанбе. – С. 103–110.
121. Chiu C.L. and Bittler R.P. Linear time-varying model of rainfall-runoff relation. *Water Resources Res.*, 5(2).1969.
122. Dams and Development. A. Frame work for Decision-Making. The Report of the World Commission on Dams. November 2000.
123. Froebrich J., Olsson O., Bauer M., Normatov I., Petrov G. Improved dam operation in the Amu Darya Basin including transboundary aspects International Symposium on dam in the Society of 21 st Century, ICOLD Congress, Barseljna, 2006.
124. Gulakhmadov A, Chen X, Gulahmadov N, Liu T, Anjum MN, Rizwan M. Simulation of the Potential Impacts of Projected Climate Change on Streamflow in the Vakhsh River Basin in Central Asia under CMIP5 RCP Scenarios. *Water*. 2020; 12(5):1426. <https://doi.org/10.3390/w12051426>
125. Gulakhmadov A., Davlyatov R., Kobuliev Z. et al. Elevation Dependency of Climatic Variables Trends in the Last Decades in the Snow-Fed and Glacier-Fed Vakhsh River Basin, Central Asia. *Water Resources* 48, 914–924 (2021). <https://doi.org/10.1134/S0097807821060075>

126. Nash J. E, and Sutcliffe J.V, River flow forecasting through conceptual models, part I.J. Hydrology 10, 1970

127. Normatov I.Sh., Aliev I.S., Akhmedov Kh. M., Karimov Kh.Kh. Petrov G.N. Water resources of Tajikistan. SLR «Omu», Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan Dushanbe.2003 r.

128. Normatov I.Sh. Petrov G., Shermatov N. Modern Water-Energetic Resources Use Problems and Perspectives of Tajikistan on Conditions of Global Non-Stability Climate. Nagpuv, India.11th 12th November 2006.

129. Normatov I.Sh, Petrov G. Climate change and using water resources management in Arid and Semiarid zones of Central Asia. European Geosciences Union General Assembly 2006. Vienna, Austria, 02-07 April 2006.

130. Normatov I.Sh, Petrov G. Climate Change and Using Water Resources Management in Tajikistan and Central Asia. International Conference on Water Resources Management in the Islamic Countries, February 2007, Tehran, Iran.

131. Novikov V., Petrov G., Karimov U. Use of Renewable Energy in Tajikistan. International Energy Workshop. Austria, June 2003.

132. Sugawara M. On the analysis of runoff structure about several Japanese rivers. Japanese J. Geoph., vol.2, № 4, March, 1961.

133. Sugawara M. On the analysis of runoff structure about several Japanese rivers. Japanese J. Geoph., Vol.2, N.4, March, 1961.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан

[1-А] **Шарипов, К.И.** Использование водных ресурсов Центральной Азии для ирригации и гидроэнергетики. Конфликт интересов или взаимовыгодное сотрудничество [Текст] / И.Ш. Норматов, Г.Н. Петров, К.И. Шарипов // Водные ресурсы Центральной Азии. Региональный научно-практический журнал. – Душанбе, 2005. – Т II, № 2. – С. 97-98.

[2-А] **Шарипов, К.И.** Комплексное многолетнее регулирование стока трансграничных рек в интересах гидроэнергетики и ирригации [Текст] / Г.Н. Петров, К.И. Шарипов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2009. – Т 52, №I. – С. 123-124.

[3-А] **Шарипов, К.И.** Энергоэкономическая оценка энергетической политики Республики Таджикистан // Вестник Таджикского педагогического университета. – Душанбе, 2015. – №1(62-2). – С. 66-70.

[4-А] **Шарипов, К.И.** Оценка водного стока горных рек по сезонным подсчётам [Текст] К. И. Шарипов // Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе: Сино, 2016. – №1/1. – С. 216-218.

[5-А] **Шарипов, К.И.** Существенность сезонного регулирования стока для выработки электроэнергии на Нурекском гидроузле // Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе, 2016. – №1/1. - С. 185-187.

[6-А] **Шарипов, К.И.** Оценка засухи и аномальных отклонений основных параметров климата в ряде метеорологических станций [Текст] / А.А. Гулахмадов, К.И. Шарипов // Вестник Таджикского педагогического университета. Серия физико-математических наук.-Душанбе2022.-№4(16). - С37-46.

[7-А] **Шарипов, К.И.** Обработка и краткосрочный прогноз физико – статистических прогнозов данных стока горных рек на основе спутниковой информации [Текст] / А.А. Гулахмадов, К.И. Шарипов // Наука и инновация,

ТНУ. Серия геологических и технических наук. – Душанбе. 2023. - № 1. – С. 94 – 100.

Статьи в материалах международных и республиканских конференций

[8-А] **Шарипов, К.И.** Влияние крупных водохранилищ на режим водного стока горных рек К.И. Шарипов // Энергетический комплекс Таджикистана. Проблемы и перспективы устойчивого развития. – Душанбе, 2008. – С. 130-131.

[9-А] **Шарипов, К.И.** Задачи сезонного регулирования расходов воды на Нурекском гидроузле К.И. Шарипов // Энергетический комплекс Таджикистана. Проблемы и перспективы устойчивого развития. – Душанбе, 2008. – С. 132-133.

[10-А] **Шарипов, К.И.** Нақши обанборҳо дар таъмини обёрӣ ва муҳофизати муҳити зист / К.И. Шарипов, И.М. Рахимов // Проблемы гидромеханики и развитие гидроэнергетики, мелиорации и экологии в Центральной Азии, г. Душанбе, 15-16 марта 2013. – Душанбе, 2013. – С. 238-244.

[11-А] **Шарипов, К.И.** Роль и место возобновляемых источников энергии в современной энергетике Таджикистана / К.И. Шарипов // Комплексное использование водно-энергетических ресурсов Центральной Азии в условиях глобального изменения климата, г. Душанбе, Таджикистан, 3-4 декабря 2020 г. – Душанбе, 2020. – С. 314-318.

[12-А] **Шарипов, К.И.** Анализы и математические формулировки моделирования речного стока, оптимально-развиваемой энергосистемы Республики Таджикистан / К.И. Шарипов, З.В. Кобулиев // Комплексное использование водно-энергетических ресурсов Центральной Азии в условиях глобального изменения климата. Душанбе, Таджикистан, 3-4 декабря 2020. г. Душанбе, 2020 – С. 318-324.

[13-А] **Шарипов, К.И.** Техничко-экономические показатели и рациональное использование энергоресурсов / К.И. Шарипов, М.Т. Салимова

// Комплексное использование водно-энергетических ресурсов Центральной Азии в условиях глобального изменения климата, г. Душанбе, Таджикистан, 3-4 декабря 2020 г. – Душанбе, 2020. – С. 324-329.

[14-А] **Шарипов, К.И.** Каскадное регулирование стока реки Вахш для эффективной выработки электроэнергии на Нурекском гидроузле / К.И. Шарипов, Г.Н. Петров, З.В. Кобули // Водные ресурсы, энергетика и экология. – Душанбе. – 2021. – С. 103-107.

ПРИЛОЖЕНИЯ



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института водных
проблем, гидроэнергетики и экологии

НАНТ, д.т.н., доцент

Амирзода О.Х.

«3» июня 2022

СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационного исследования Шарипова Комрона Идиевича на тему: *«Энергетические особенности процесса регулирования стока реки Вахш Республики Таджикистан»*, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27- Гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия.

Результаты диссертационной работы Шарипова Комрона Идиевича на тему: *«Энергетические особенности процесса регулирования стока реки Вахш Республики Таджикистан»* внедрены в учебный процесс по подготовке магистров и докторов PhD при Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана (ИВП, ГЭ и Э НАНТ). В частности:

1. Внедрены в учебный процесс при изучении магистрами и докторами PhD специальностей 6D061000-«Гидрология», 6D074400-«Гидротехническое строительство» и 6D060800-«Водные ресурсы и их использование».

2. Внедрены в учебно-методические комплексы и рабочие программы следующих дисциплин:

а). «Гидрология»: впервые выявлены особенности усовершенствования управлением регулирования стока горных речных бассейнов (на примере р. Вахш и Нурекский гидроузел) и элементов гидроэнергетического баланса под влиянием климатических изменений.

б). «Гидротехнические сооружения»:

- разработаны модели рационального использования гидроэнергетических ресурсов р. Вахш и дана прогностическая оценка внутригодовому выработке экологически чистой энергии при различных сценариях изменения климата на период до 2050г;

- проведен анализ и дана оценка возможным колебаниям нагрузки при внутригодовом выработке экологически чистой энергии, в разнообразном

диапазоне зарегулированного стока р. Вахш при различных климатических сценариях;

- приведены анализ состояния разновидностей источников энергии РТ и даны оценки ресурсам источников возобновляемой энергии, ресурсам гидроэнергетического потенциала и энергетическим ресурсам малой гидроэнергетики Таджикистана.

в). «Водные ресурсы и их использование»: С учетом факторов заиления и переработки берегов разработан практический метод постоянного мониторинга динамики изменения полезного объема водохранилища.

Также по предложенным автором энергетических особенностей процесса регулирования стока реки Вахш, можно провести лабораторные, экспедиционно-полевые работы в курсах переподготовки магистров и докторов PhD.

Заместитель директора по науке и
образованию ИВП, ГЭиЭ НАНТ, к.т.н.



Курбонов Н.Б.

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель председателя ОАХК
«Барки Точик»
Курсонзода А.А.
июня 2022



АКТ

о внедрении результатов научно исследовательской работы Шарипова Комрона Идиевича на тему: «Энергетические особенности процесса регулирования стока реки Вахш Республики Таджикистан», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27-Гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия.

Комиссия в составе начальника Департамента электростанций по производству энергии и тепла ОАХК «Барки Точик» Табаров А. Г. - председатель; члены комиссии: начальник отдела надзора и распределение энергии ОАХК «Барки Точик» Холматовой М., начальник отдела гидротехнических сооружений РГУПШ «Нурофар» Министерства энергетики и водных ресурсов РТ Саидов Ф., зав. лабораторией «Энергетики, ресурса и энергосбережения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана (ИВП, ГЭ и Э НАНТ), к.т.н. Давлатшоев С.К., н.с. лаборатории «Энергетики, ресурса и энергосбережения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана Шарипов К.И. свидетельствуют о том, что при личном участии было изучено режим работы каскада Вахшских ГЭС и дана оценка энергоэффективности водных ресурсов бассейна реки Вахш. Разработанную методику и режимные наблюдения можно применять для определения изменения гидроэнергетического баланса и колебания нагрузки в единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС) и выявление энерговооружённость энергоносителей системы.

В каскаде Вахшских ГЭС функционируют 9 гидроузлов, 2 из которых играют роль контррегулятора для последующих ниже расположенных гидроузлов по каскаду реки Вахш. Эта Рогунский и Шурабские гидроузлы. Местоположение Шурабской гидростанции в 12,5 км ниже плотины Рогунской ГЭС. Величина падения уровня между нижним бьефом Рогунской ГЭС и водохранилищем Нурекской ГЭС 66м. Шурабский ГЭС характеризуется сейсмичностью, 9 баллов, подобное Нурекской ГЭС. Река

Вахш протекает в глубоком каньоне. (при средней высоте местности 1300-1400 м над уровнем моря).

Сформирована база данных по состоянию гидрологической характеристики бассейна реки Вахш. Определены годовые показатели использования максимальной мощности $\delta_{гд}$ и годовые показатели устойчивости максимальных мощностей $T_{гд}$, приемлемые для выявления нагрузки потребителей расположенных с высотными отметками 2400-2600 м над уровнем моря.

Мощность Шурабской ГЭС выдаётся на напряжении 500 кВ врезкой в ВЛ-500 кВ. Рогунской ГЭС-ПС Душанбе. Рекомендовано математическая модель определения максимальной нагрузки гидроэлектростанции при недостаточных мощностей в ЕЭЭС. Внедрение модели стока основанного на методы, вероятностного расчета и оперативного прогноза имеют следующие результаты. Экономия: 5,2% от многолетнего регулирования, 12% от годового регулирования стока.

Председатель комиссии:

Начальник департамента
Электростанции по производству
энергии и тепла ОАХК «Барки Точик»



Табаров А. Г.

Члены комиссии:

Начальник отдела надзора и распределение
энергии ОАХК «Барки Точик»



Холматова М.

Начальник отдела гидротехнических сооружений
РГУППИ «Нурофар» Министерства
энергетики и водных ресурсов РТ



Саидов Ф.

Зав. лабораторией «Энергетика,
ресурса и энергосбережения»
ИВП, ГЭ и Э НАНТ, к.т.н.



Давлатшоев С. К.

Научный сотрудник лаборатории
«Энергетика, ресурса и энергосбережения»
ИВП, ГЭ и Э НАНТ



Шарипов К. И.