

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА**

**Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства
имени А.Н. Костякова**

Кафедра комплексного использования водных ресурсов и гидравлики

Л.Д. Раткович, И.В. Глазунова, С.А. Соколова, В.Н. Маркин

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА
С ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ВРЕМЕННЫМ
РЕГУЛИРОВАНИЕМ СТОКА**

Учебное пособие

Москва 2020

УДК 504.052; 504.058; 556.55; 627.01; 627.81; 628.31

ББК 31.57я73

В62

Рецензенты:

*Доктор технических наук, профессор кафедры Гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева **Клёнов В.И.** Кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела Природоохранных и информационных технологий ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова **Яшин В.М.***

В 62 Раткович, Л.Д. Водохозяйственная система с территориально-временным регулированием стока: учебное пособие / Л.Д. Раткович, И.В. Глазунова, С.А. Соколова, В.Н. Маркин. – Москва: Издательство РГАУ-МСХА, 2020. – 70 с.

ISBN 978-5-9675-1753-2

Настоящее издание является учебно-методическим обеспечением для выполнения курсового проекта по дисциплине «Проектирование водохозяйственных систем» профессионального цикла направления подготовки «Природообустройство и водопользование» бакалавриата 20.03.02 (приказ Министерства образования и науки России от 6 марта 2015 г. № 160).

В учебном пособии рассмотрены вопросы, изучаемые в дисциплинах, связанных с использованием и управлением водными ресурсами, охраной водных объектов, борьбой с негативным воздействием вод. Уделено внимание основам водохозяйственного проектирования.

Учебное пособие предназначено для профиля бакалавров «Комплексное использование и охрана водных ресурсов». Учебное пособие представляет интерес для специалистов в области водного хозяйства, экологии водных объектов и рационального водопользования. Учебное пособие также может быть полезным для выпускников смежных строительных специальностей 08.03.01 «Гидротехническое строительство» и 08.05.01 «Строительство гидротехнических сооружений повышенной ответственности», поскольку обоснование необходимости строительства гидротехнических сооружений является первым этапом их создания.

© Раткович Л.Д., Глазунова И.В.,
Соколова С.А., Маркин В.Н., 2020
© РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	6
1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА	9
1.1. Расчетные гидрологические характеристики поверхностного стока по длине реки	9
1.2. Расчетные гидрологические характеристики	10
3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	17
3.1 Расчетные гидрологические характеристики поверхностного стока по длине реки	17
3.1.1 Назначение расчетных балансовых створов	17
3.2 Расчетные гидрологические характеристики	18
3.3 Подземные водные ресурсы	20
3.4 Постворный водохозяйственный баланс	22
4. Водохозяйственное обоснование проектных решений	26
4.1. Расчетные схемы ВХС	26
4.2. Расчетная зависимость «емкость водохранилища – гарантированная водоотдача» по обобщенным параметрам стока и водопотребления	27
4.3. Исследование возможного объема переброски стока из внешнего речного бассейна	32
5. Водохозяйственная система с оптимальными параметрами	37
5.1. Постановка задачи	37
5.2. Выбор варианта гарантированной водоотдачи	38
5.3. ВХБ с учетом проектного регулирования	42
5.4. Методика построения диспетчерского графика	45

5.5. Оценка продолжительности пускового периода до выхода водохранилища на проектную отметку.....	46
6 Проектные технические решения	48
6.1 Выбор створа плотины.....	50
6.2 Конструкция гребня плотины	51
6.3 Поверхностный водосброс. Вопросы защиты от наводнения.....	52
6.4 Определение параметров максимального стока расчетной	53
обеспеченности.....	53
6.5 Принципиальные решения по точке изъятия стока для переброски в исследуемый бассейн.....	55
6.6 Компонировочные решения	58
ПРОЕКТ ЗАКЛЮЧЕНИЯ.....	59
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	60
Приложение А. Вариант компоновки ватмана № 1	62
Приложение Б. Вариант компоновки ватмана № 2.....	63
Приложение В -Требования к оформлению курсовых проектов.....	64
Приложение Г- Пример оформления титульного листа курсового проекта.....	65
Приложение Д- Примерная форма задания	66
Приложение Е -Примерная форма рецензии на курсовой проект	67
Приложение Ж - Пример заполнения основной надписи (штампа) на	68
чертежах	68
Приложение З – Примерное содержание проекта.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Целью разработки курсового проекта дисциплины «Проектирование водохозяйственных систем» (направление подготовки 20.03.02 направленность «Комплексное использование и охрана водных ресурсов») является освоение методики проектирования водохозяйственных систем, решающих задачи водообеспечения посредством регулирования стока и дополнительной дотации водных ресурсов из внешнего бассейна. Проект имеет принципиальное значение с точки зрения освоения курса дисциплины «Проектирование водохозяйственных систем», поскольку связан с методикой управления водными ресурсами в интересах комплексного водопользования. Рассматривается бассейн реки в условиях развивающегося водохозяйственного комплекса, когда проведены необходимые мероприятия по рациональному водопользованию, включая экономию водных ресурсов и регулирование качества воды, а также проводится сезонное регулирование стока с учетом хозяйственных и санитарно-экологических требований (с приоритетом последних). Развитие отраслевого и комплексного водопотребления за счет многолетнего регулирования стока и внешней переброски из смежного бассейна. Обоснование проектных решений по назначению расчетных балансовых створов. Обобщенная оценка водных ресурсов бассейна в привязке к расчетным створам и прогноз развития отраслевого водопотребления на проектную перспективу. Постворный водохозяйственный баланс, размещение водопотребителей по территории бассейна, разработка вариантов мероприятий для удовлетворения требований ВХК, выбор варианта водохозяйственных мероприятий по регулированию и переброске стока из внешнего бассейна, определение возможного объема и режима водозабора из внешнего бассейна. Определение параметров водохозяйственной системы (водохранилище, тракт переброски) с оптимальными экономическими показателями, определение емкости форсировки и пропускной способности водосброса по упрощенной методике Н.И. Кочерина, технико-экономические показатели проектного варианта ВХС, оценка продолжительности пускового периода до выхода водохранилища на проектную отметку наполнения водохранилища. Оформление пояснительной записки и компоновка ватмана А-4.

Курсовой проект носит исследовательский характер и ориентирован на определение показателей водохозяйственной системы с наибольшей экономической эффективностью.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Выполнение курсового проекта по дисциплине «Проектирование водохозяйственных систем» для направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» направленность «Комплексное использование и охрана водных ресурсов» проводится с целью проектного обоснования параметров водохозяйственной системы, базирующейся на водохранилище многолетнего регулирования стока и канале (водоводе) переброски стока из внешнего речного бассейна. Курсовой проект позволяет решить следующие задачи:

- Обобщенная оценка располагаемых водных ресурсов (поверхностный сток; водный режим, внутригодовое распределение стока, параметры годового стока, его изменение по длине реки, потенциальные запасы и эксплуатационные ресурсы подземных вод.).
- Постворный водохозяйственный баланс. Определение дефицитов и избытков на водохозяйственных участках для современного уровня и планируемой перспективы в условиях различной водности.
- Определение возможного объема переброски из внешнего бассейна с заданными параметрами стока и водопотребления. Баланс изъятия, номограммы связи объемов водозабора, пропускной способности и типа водозаборных сооружений.
- Построение расчетной зависимости «емкость водохранилища-гарантированная водоотдача».
- Расчет и сопоставление вариантов по стоимости водохозяйственных мероприятий и сооружений.
- Выбор оптимального варианта гарантированной водоотдачи системы по критериям ежегодного чистого дохода и рентабельности.
- Водохозяйственные балансы выбранного варианта с учетом установленного режима регулирования стока и дотации водных ресурсов.
- Оценка продолжительности пускового периода до выхода на проектную отметку.
- Оценка максимального расчетного расхода, пропускной способности водосбросных сооружений, отметки ФПУ.
- Построение упрощенной версии диспетчерского графика водохранилища обобщенным методом.
- Параметры сооружений, характерные отметки водохранилища и технико-экономические показатели выбранного варианта.
- Компоновка ватмана.
- Заключение.

По объему пояснительная записка курсового проекта должна быть не менее 25-30 страниц печатного текста, 8-12 рисунков и чертежей, отражающих результаты по каждому разделу (главе). Примерная структура курсового

проекта приведена в таблице 1.

Таблица 1

Структура курсового проекта и объем отдельных разделов

№ п/п	Элемент структуры курсового проекта	Объем (примерный) страниц
1	Титульный лист (Приложение А)	1
2	Задание	1
3	Аннотация	1
4	Содержание	1-2
5	Введение	1-2
6	Основная часть	35-40
6.1	Теоретическая часть (теоретические и методические основы исследуемого вопроса)	8-10
6.2	Практическая часть	27-30
7	Заключение	3-4
8	Предложения и рекомендации по теме исследования с обоснованием их целесообразности и эффективности	по необходимости
9	Библиографический список	15-20
10	Приложения (включают примеры входных и выходных данных)	по необходимости

Студент самостоятельно выбирает тему курсового проекта из предлагаемого перечня, или может предложить свою тему при условии обоснования её целесообразности. С целью исключения возможности написания курсового проекта по одной и той же теме название речного бассейна у каждого студента должно определяться курсовым проектом по дисциплине Б1.В.07.01 «Комплексное использование водных ресурсов», изучаемой ранее в 6-ом семестре. Тема и объект проектирования могут быть изменены по согласованию с руководителем курсового проекта.

Задание на выполнение курсового проекта (приложение Д) выдаётся за подписью руководителя, датируется днём выдачи и регистрируется на кафедре в журнале. Факт получения задания удостоверяется подписью студента в указанном журнале.

Выбрав тему, определив цель, задачи, структуру и содержание курсового проекта необходимо совместно с руководителем составить план-график выполнения проектных работ с учетом графика учебного процесса (табл.5).

Структура проекта определяется составом проектных задач и методическими особенностями их решения. Содержание (оглавление) играет очень важную роль в разработке проекта, поскольку в значительной степени определяет логическую последовательность действий разработчика. Пример оглавления, рекомендуемый в качестве основы, представлен в приложении З.

Компоновка ватмана, содержащая возможные варианты проектных решений, представляется на листе формата А1 (приложения А и Б).

Основное назначение заключения - резюмировать содержание курсового проекта, обозначить главные результаты, включая итоговые технико-экономические показатели и социально-экономическую эффективность. Объем заключения 2-3 страницы.

В библиографический список включаются источники, на которые есть ссылки в тексте курсового проекта (не менее 25 источников). Обязательно присутствие источников, опубликованных в течение последних 3-х лет и зарубежных источников.

Приложения являются самостоятельной частью работы. В приложениях курсового проекта помещают материал, дополняющий основной текст.

Приложениями могут быть:

- графики, диаграммы; таблицы большого формата,
- статистические данные;
- формы бухгалтерской отчетности;

фотографии, технические (процессуальные) документы и/или их фрагменты, а также тексты.

1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА

Во введении следует обосновать актуальность избранной темы курсового проекта, раскрыть ее теоретическую и практическую значимость, сформулировать цель и задачи исследования. Актуальность в данном случае обусловлена необходимостью решения проблем водообеспечения и требованиями развития навыков проектного обоснования схем регулирования и территориального перераспределения речного стока. Основным элементом ВХС бассейна реки является комплексный гидроузел (каскад гидроузлов), в состав которого входит плотина, водохранилище, образуемое ею, и совокупность инженерно-технических сооружений и устройств, для многоцелевого использования водных ресурсов бассейна в целом или на выделенном водохозяйственном участке. Введение должно содержать иллюстративные материалы, характеризующие местоположение и гидрографические особенности объекта, наличие гидротехнических сооружений, города и крупные промышленные комплексы, мелиоративные системы, другую информацию о бассейновом водохозяйственном комплексе.

Целесообразно в начале основной части проекта изложить историю вопроса, предпосылки и мотивацию проекта. Основная часть курсового проекта выполняется в соответствии с пунктами содержания. Каждый раздел содержит теоретические положения методики и практическую реализацию. Желательно указать примеры аналогичных реализованных проектов, при необходимости предложить дополнительные научные исследования. Все рассмотренные источники приводятся в списке литературы, а в тексте на них даются ссылки.

В практической части проекта приводится характеристика объекта проектирования, излагаются методы и предмет исследований, представляются результаты проектных разработок, инженерно-гидрологических, водохозяйственных, при необходимости гидравлических расчетов, компоновка сооружений системы, фрагменты сооружений без детализации конструкций с целью получения целостной картины результатов реализации проекта. Должны быть указаны методические особенности и принятые допущения. Далее даются рекомендации по разработке разделов проекта.

1.1. Расчетные гидрологические характеристики поверхностного стока по длине реки

Разработка проекта начинается с анализа водных ресурсов. Для posteriorной оценки ресурсов поверхностного стока необходимо назначить водохозяйственные створы на основе существующей схемы водохозяйственного районирования. Расчетные створы ограничивают водохозяйственные участки. Створы в проекте назначаются по следующим соображениям. В качестве расчетных принимаются створы сосредоточенных водозаборов и сбросов сточных вод; устья крупных притоков; существующих и проектируемых гид-

роузлов; контрольные створы, регламентирующие качество воды; пограничные и трансграничные створы; сопряжения с подводными трактами; другие характерные точки. Общее количество створов во избежание неоправданно громоздких расчетов принимается не более трех, два створа на основной реке, один - в устье притока. Например, для реки Учебная (прототипом взята река Проня) используется следующая кодировка: 09.01.01.021 – код бассейнового округа (09-Окский), код бассейна реки (01-Ока), код подбассейна (01-Ока выше впадения Мокши), (021 – водохозяйственный участок - бассейн Прони в целом). Внутри бассейна назначены локальные водохозяйственные участки, назовем их ВХУ-1(устье), ВХУ-2 (среднее течение), ВХУ-3 (нижний участок, замыкаемый створом Новомосковск). Соответственно замыкающие створы 3, 2, 1.

1.2. Расчетные гидрологические характеристики

Геофизические характеристики бассейна, гидрологическое описание, а также другие исходные данные заимствуются из курсовой работы предыдущего семестра по дисциплине «Водохозяйственные системы и водопользование».

Необходимый объем гидрологической информации должен включать сведения о режиме питания реки, особенностях формирования стока, водном режиме, параметрах стока и их изменении по длине реки, скоростях течения, краткие данные по орографии бассейна, карту бассейна либо плановую и высотную привязку основных расчетных створов.

Переход от створа к створу применительно к многолетним параметрам (среднему и коэффициенту вариации) выполняем: для среднемноголетнего стока на основании зависимости модуля стока m (л/с·км²) от средней высоты водосбора H (или площади водосбора F (км²)).

При отсутствии подобной информации изменение модуля стока от входного до замыкающего створов принимается по согласованию с преподавателем.

Внутригодовое распределение стока делается на основе типовых гидрографов разной обеспеченности, рассчитанных на предшествующем этапе методом компоновки или другими способами. Результаты заносятся в таблицу в соответствии с принятой разрезкой водохозяйственного года и иллюстрируются рисунком.

В ответственных водохозяйственных расчетах используются многолетние гидрологические ряды с последующим имитационным моделированием режима работы ВХС. Расчеты в курсовом проекте выполняются в основном обобщенным методом, опираясь на многолетние параметры стока и водопотребления.

1.3. Подземные водные ресурсы

Эксплуатационные ресурсы подземных вод определяем по методике Н.Н. Биндемана и Ф.А. Бочевера [1, 10, 13]. Суть метода в приближенной оценке расхода условных укрупненных водозаборов, равномерно распределенных по изучаемой площади. Эти водозаборы различают двух типов: I - грунтовых вод и II – межпластовых напорных вод. Они в свою очередь бывают двух подтипов Ia – на водоразделах (питание только за счет осадков) и Ib – в долинах рек (питание как за счет атмосферных осадков, так и из рек).

Территория водозаборов разбивается на ячейки с площадью радиуса влияния R (обычно принимается от 10 м), рассматриваемой как «большой колодец» радиуса r .

В процессе водохозяйственных обоснований очень важной характеристикой является ущерб (U) речному стоку в результате подземного водозабора. Эта величина учитывается в расходной части водохозяйственного баланса.

Эксплуатационные прогнозные ресурсы подземных вод очень малы. В дальнейшем следует провести дополнительные исследования по разработке перспективных площадей.

1.4. Постворный водохозяйственный баланс

Постворный водохозяйственный баланс в соответствии с концепцией данного проекта необходим для выбора варианта схемы водохозяйственных мероприятий. Он выполняется для расчетных маловодных условий применительно к условиям годового регулирования стока согласно постановке задачи проекта КИОВР, выполняемого в предшествующем семестре. Расчетная обеспеченность года выбирается в диапазоне (75-95) % по числу бесперебойных лет, что соответствует доминирующему водопотребителю, развитие которого требует создания ВХС с многолетним регулированием.

Расчетная схема бассейна, или анализируемой части бассейна, определяет структуру постворного ВХБ.

Особенностью постворного ВХБ являются частые ошибки, связанные с неправильным определением стока, поступающего на нижележащий участок. Не касаясь традиционной методики ВХБ, приведем некоторые несложные зависимости, облегчающие балансовый расчет поверхностного стока в заданном временном интервале при переходе от створа к створу.

2. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

2.1. Расчетные схемы ВХС

Варианты схемы мероприятий данного проекта содержат переброску стока, элементы компенсированного регулирования, каскадное регулирование, должны отражать динамику движения воды в системе створов. Основное требование – это способность удовлетворения требований ВХК. В числе схем

мероприятий можно рассмотреть следующие:

- независимое регулирование стока в одном из створов, наиболее предпочтительном по топографическим условиям и компоновочным решениям;
- компенсированное регулирование стока на одном из притоков;
- система из двух водохранилищ, размещаемых на основной реке и на притоке;
- переброска из бассейна р. Донор;
- сочетание указанных вариантов.

Принимается наиболее простая схема, базирующаяся на независимом регулировании стока с переброской в водохранилище из внешнего речного бассейна.

2.2. Расчетная зависимость «емкость водохранилища – гарантированная водоотдача» по обобщенным параметрам стока и водопотребления

Задача водохозяйственных расчетов по выбранному варианту мероприятий состоит в том, чтобы определить оптимальную гарантированную водоотдачу. Прирост отдачи в данном случае полностью отнесен к регулярному орошению (возможные варианты - промышленность, гидроэнергетика, водный транспорт). Отметим, что с точки зрения методики последующих расчетов выбор отрасли, для которой предусмотрен прирост гарантированной воды, не принципиален. Первым этапом в решении задачи является отыскание зависимости между достигаемой отдачей и объемом водохранилища. Помимо отдачи и емкости оптимальное решение зависит от параметров переброски стока. Одна и та же отдача может быть обеспечена при разных значениях объема дотации и емкости водохранилища. Отметим, что в реальном проектировании число факторов влияния, определяющих оптимальное, или близкое к оптимальному, решение, может оказаться и больше. В этом случае необходимо использовать компьютерные программы, реализующие алгоритм линейного или динамического программирования.

Наиболее приемлемым для курсового проекта является обобщенный метод водохозяйственного расчета. Суть расчетов обобщенным методом заключается в определении регулирующей емкости водохранилища V в зависимости от задаваемого объема и режима гарантированной отдачи по обобщенным параметрам стока и водопотребления. При этом выделяются многолетняя и сезонная составляющие емкости.

Потери на испарение и фильтрацию определяются известными методами инженерной гидрологии. В русловых водохранилищах дополнительное испарение часто можно без ощутимой погрешности заменить потерями на видимое испарение – то есть произведением разности слоев испарения с водной поверхности и суши на площадь зеркала. Потери из наливных водохранилищ оцениваются по величине видимого испарения (разница между слоями испарения с водной поверхности и осадков, выпадающих на ту же площадь). Площадь зеркала определяется текущим наполнением водохранилища.

Фильтрационные потери при отсутствии функциональной зависимости интенсивности потерь от напора или емкости наполнения водохранилища можно принять осредненными в зависимости от пород, образующих ложе водохранилища. Так, для средних гидрогеологических условий слой потерь на фильтрацию составляет 50-100 см/год, ориентировочно, при отсутствии объективной информации суммарные потери можно принять в размере 10% от полезной отдачи.

Многолетняя составляющая емкости определяется выражением и находится по табличным приложениям или по номограммам И.В. Гуглия.

В водохозяйственных расчетах обобщенным методом для условий комплексного водопотребления в качестве P следует использовать так называемую приведенную обеспеченность. Приведенная обеспеченность в наиболее общей постановке - это условная величина обеспеченности, которую должна иметь суммарная отдача всех потребителей, чтобы многолетнее водопотребление было эквивалентным сумме потребляемых объемов воды всеми участниками ВХК с учетом их обеспеченностей и допустимого снижения требований в перебойные годы. Для определения этого параметра используется формула.

Для водопотребителей расчетные требования определяются по величине безвозвратного водопотребления, для водопользователей размерами попуска.

Полный объем водохранилища находится как сумма полезного и мертвого объема. Расчетные значения мертвого объема находятся известными методами исходя из сроков заиливания водохранилища, санитарных требований, гарантированной мощности при наличии ГЭС в составе ВХК, нормальной работы водозаборных сооружений в условиях полной сработки полезного объема и т.д. Мертвый объем принимаем в размере 5% от полезного объема $V_{мо} \approx 0,05 \cdot V_{плз}$ (методика расчета мертвого объема изучается в курсе дисциплины «Водохозяйственные системы и водопользование»).

Отправная точка для водохозяйственных расчетов – минимальная гарантированная водоотдача $A_{мин}$, которую устанавливаем в объеме обязательного гарантированного водопотребления водохозяйственного комплекса по сумме безвозвратного изъятия и комплексного попуска (включая санитарно-экологическую составляющую) на основании данных предшествующего проекта.

Результаты водохозяйственных расчетов обобщенным методом проводим в табличной форме с последующим построением графических зависимостей.

2.3. Исследование возможного объема переброски стока из внешнего речного бассейна

Проблема территориального перераспределения стока многогранна и многофакторна [7, 8, 14-16]. В процессе проектирования исследуются вопро-

сы водохозяйственного и экологического характера, как правило, требуются дополнительные научные исследования, особенно в масштабных проектах. Например, в проекте переброски части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря принимали участие более 100 научно-исследовательских институтов - научная составляющая проекта очень высока. Системы ТПС широко распространены в мире и в России. Системы включают водозаборный гидрозел с одной или несколькими насосными станциями; тракт переброски с пересечениями водотоков и возможно водохранилищами для перерегулирования в график водопотребления, водоприемное сооружение в зоне распределения перебрасываемого стока.

В проекте оцениваем возможный объем и режим изъятия воды из бассейна реки Донора, сток которого принимается в проекте по согласованию с руководителем. Определяется объем и режим переброски в водохранилище проектируемого объекта в зависимости от производительности водозаборных сооружений (насосной станции) и режим водоподачи в зону распределения перебрасываемого стока с учетом и без учета его перерегулирования в график водопотребления. Водохозяйственные расчеты рекомендуется выполнять посредством следующей балансовой формы.

Задача состоит в определении свободных ресурсов (резерва) для водоподачи в проектируемое водохранилище. В качестве ограничений рассматривается собственное водопотребление и санитарно-экологические попуски в бассейне реки Донора, принимаемые по упрощенной методике Б.В. Фащевского. Резерв R определяется по разнице естественного стока и указанных выше требований.

Отбор стока производится в режиме водопотребления. Регулирование стока в створе изъятия проводится в табличной форме для разной производительности водозабора.

Водопотребление принимаем в пределах 10% от стока 75% обеспеченности. Попуски назначаются, как уже говорилось, по приближенной методике Б.В. Фащевского в размере среднемесячных расходов 95% обеспеченности, увеличиваемых в период половодья до 70-75% естественных расходов для сохранения санитарной функции половодья и обводнения поймы реки.

3. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА С ОПТИМАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Для выбора ВХС с оптимальными параметрами в проекте воспользуемся методом сравнения вариантов в диапазоне реального изменения таких показателей, как гарантированная водоотдача системы, объем водохранилища, режим дотации из внешнего бассейна. Для каждого из рассматриваемых значений гарантированной отдачи (в диапазоне от $A_{мин}$ до A_{max}) определяются стоимостные показатели разных вариантов решения проектной задачи. Емкость водохранилища, обеспечивающая $A_{мин}$ не учитывается в оптимизации, поскольку являются обязательными в рамках бюджетного покрытия. Это допущение несколько упрощает проектную задачу и не приемлемо для проекта

создания новой ВХС, однако разница лишь в экономических нюансах.

Оценка стоимостных показателей базируется на цикле гидрологических, гидравлических и водохозяйственных расчетов, определяющих параметры мероприятий и сооружений.

Каждое из значений гарантированной водоотдачи может быть получено при разных сочетаниях емкости водохранилища и параметров дотации стока из бассейна Донора. С целью формализации целевой функции задачи оптимизации требуется зависимость параметров транспортирующих воду сооружений от объема переброски $A_{пер}$. При фиксированном объеме суммарной гарантированной отдачи и той ее части, которая покрывается из водохранилища, объем переброски $A_{пер}$ находится по разности $A - A_{вдохр}$.

Рассматриваемые варианты определяются сочетанием *емкость водохранилища – объем переброски*. Вариант, дающий наибольший экономический эффект для заданного объема гарантированной отдачи, становится опорным значением (локальный оптимум) для следующего шага оптимизации, когда определяется оптимальное значение отдачи. Абсолютный оптимум находится из анализа локальных оптимумов. На этом будем считать решение принятым. Параллельно отслеживается коэффициент рентабельности I_D (индекс доходности инвестиционного проекта).

Для сравнения вариантов в данном случае используем ежегодный чистый доход $EЧД$ и коэффициент рентабельности K_p .

Таким образом экономический эффект от дополнительного воспроизводства водных ресурсов (в данном случае орошения) определяется на основании критериев, связанных с доходностью и затратами в отрасль. В учебном проекте в качестве целевой функции Z берется ежегодный чистый доход ($EЧД$) от дополнительной сельскохозяйственной продукции при условии, что коэффициент рентабельности не меньше 0,20-0,25. Капиталовложения K определяются по комплексным сооружениям $K_{ком.}$ (плотина, водохранилище, тракт переброски вместе с головным водозабором), а также по отраслевым сооружениям $K_{от.}$. $EЧД$ – в свою очередь можно оценить по разнице стоимости продукции ($Ц$) и ежегодных отраслевых издержек ($С$). Стоимость продукции всех отраслей кроме орошения в рассматриваемом проекте фиксирована, поскольку прирост идет только за счет орошения. Экономический эффект определяется только от дополнительного орошения, поэтому он соотносится с величинами затрат сверх тех, которые необходимы для обеспечения минимальной отдачи $A_{мин.}$. Расчеты выполняются на основе примерных укрупненных стоимостных показателей, приведенных в приложении 3.

Таким образом, в процессе проектирования должен быть выбран принципиальный вариант схемы инженерно-технических мероприятий и оптимальный объем суммарной гарантированной водоотдачи. По результатам расчетов составляются водохозяйственные балансы проектного уровня развития. Следует отметить, что в условиях многолетнего регулирования стока, выбор года для демонстрации ВХБ вопрос не всегда простой, поскольку при обоснованном многолетнем режиме любой год обеспечен необходимым за-

пасом воды в водохранилище. Для наглядности в учебном проекте для ВХБ ограничимся годом 75% по обеспеченности годового стока. В реальных проектах расчеты выполняются по многолетним гидрологическим рядам с использованием имитационных водохозяйственных моделей.

Баланс основного водохозяйственного участка представляется в двух вариантах – при отсутствии водохозяйственных мероприятий и с учетом мероприятий по регулированию и переброске стока. Особенностью балансовых таблиц является нестандартная структура, наличие многолетнего объема в водохранилище для покрытия годового дефицита расчетного маловодного года и графа «дефицит вышерасположенных участков бассейна».

Табличную запись водохозяйственного баланса целесообразно дополнять иллюстративным водохозяйственным балансом, без лишней детализации, но отражающим наиболее существенные моменты распределения водных ресурсов.

В ответственных случаях, как уже указано ранее, водохозяйственные расчеты выполняются с помощью имитационного моделирования по многолетним гидрологическим рядам [15]. При этом необходимы продолжительные данные наблюдений, обоснованная методика перехода к другим створам по боковой приточности, или поправкой к балансу, учитывающей трансформацию стока по длине реки с учетом времени «добегания».

После того как запроектирована водохозяйственная система, определены ее технико-экономические показатели, основной задачей становится управление системой, в частности определение режима регулирования стока в течение пускового периода и в период нормальной эксплуатации водохранилища.

Методика построения диспетчерских графиков приводится в различных источниках, наиболее доступно [11]. Построение ДГ выходит за рамки курсового проекта.

4. ПРОЕКТНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Далее приводятся принципиальные решения по выбранным с руководителем элементам водохозяйственной системы: гидроузел, водозаборное сооружение и трасса переброски стока, водосбросные сооружения.

В составе гидроузла главным сооружением является плотина, основное подпорное сооружение гидроузла, предназначенное для создания напора (обеспечивает нормальную работу водозаборных сооружений). Плотина создает водохранилище (регулирование стока с целью повышения потенциала гарантированной водоотдачи в интересах отраслевого и комплексного водопользования) и (или) аккумулирует сток в период высоких половодий и паводков (для защиты от затопления территорий). Из многообразия плотин для данного проекта остановимся на варианте грунтовой плотины с русловым бетонным водосбросом, береговым быстротоком или шахтным водосбросом для транзита максимального стока в нижний бьеф гидроузла [2].

Расчетное обоснование и проектирование водозаборного гидроузла выполняется в соответствии с учебно-методическим пособием к курсовому проекту «Насосы и насосные станции» для студентов 4 курса дневной и заочной форм обучения, разработанном на кафедре сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения [6, 12].

Водозаборное сооружение в курсовом проекте принимаем раздельного типа с забором воды из канала для насосной станции наземного типа. Количество водоприемных камер и всасывающих труб принимаем по числу установленных насосов.

3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1 Расчетные гидрологические характеристики поверхностного стока по длине реки

3.1.1 Назначение расчетных балансовых створов

Разработка проекта начинается с анализа водных ресурсов. Для постановки оценки ресурсов поверхностного стока необходимо назначить водохозяйственные створы на основе существующей схемы водохозяйственного районирования. Расчетные створы ограничивают водохозяйственные участки. Створы в проекте назначаются по следующим соображениям. В качестве расчетных принимаются створы сосредоточенных водозаборов и сбросов сточных вод; устья крупных притоков; существующих и проектируемых гидроузлов; контрольные створы, регламентирующие качество воды; пограничные и трансграничные створы; сопряжения с подводящими трактами; другие характерные точки. Общее количество створов во избежание неоправданно громоздких расчетов принимается не более трех, два створа на основной реке, один - в устье притока. Например, для реки Учебная (прототипом взята река Проня) используется следующая кодировка: 09.01.01.021 – код бассейнового округа (09-Окский), код бассейна реки (01-Ока), код подбассейна (01-Ока выше впадения Мокши), (021 – водохозяйственный участок - бассейн Прони в целом). В качестве примера далее рассматривается бассейн реки Проня. Внутри бассейна назначены локальные водохозяйственные участки, назовем их ВХУ-1(устье), ВХУ-2 (среднее течение), ВХУ-3 (нижний участок, замыкаемый створом Новомосковск). Соответственно замыкающие створы 3, 2, 1 (рис. 1).

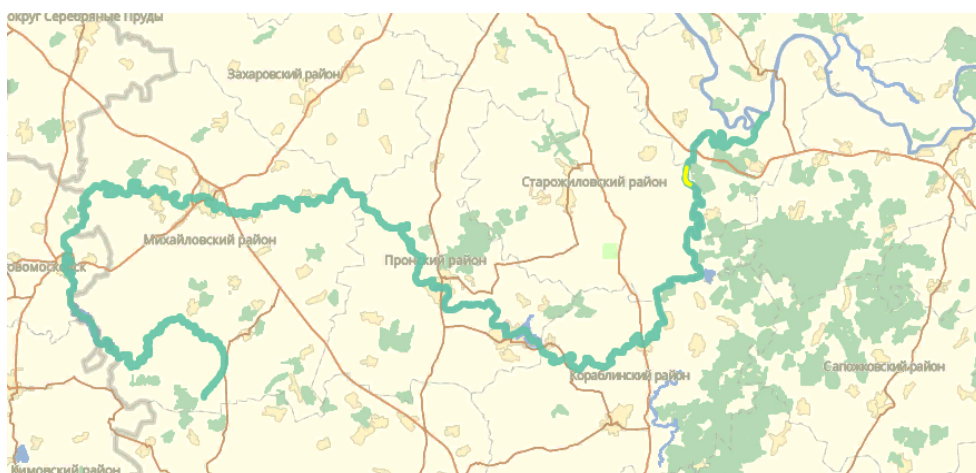


Рис. 1. Положение расчётных водохозяйственных створов на реке Проня

3.2 Расчетные гидрологические характеристики

Геофизические характеристики бассейна, гидрологическое описание, а также другие исходные данные заимствуются из предшествующей курсовой работы «Водохозяйственные системы и водопользование».

Пусть, как и ранее объектом исследования является бассейн реки Проня. Проня - река в Рязанской и Тульской областях России, правый приток реки Оки. Питание реки преимущественно снеговое с долей дождевого и грунтового. Выражено весеннее половодье, продолжительная осенне-летняя и зимняя межень, прерываемая непродолжительными осенними паводками. Замерзание происходит в конце ноября, вскрытие реки начинается в апреле. Берега в верховьях крутые, в среднем и нижнем течении Проня течёт по Окско-Донской равнине, берега здесь более пологие. Лесов по берегам практически нет.

Площадь бассейна - 10200 км², длина - 336 км. Необходимый объем гидрологической информации должен включать сведения о режиме питания реки, особенностях формирования стока, водном режиме, параметрах стока и их изменении по длине реки, скоростях течения, краткие данные по орографии бассейна, карту бассейна либо плановую и высотную привязку основных расчетных створов.

Переход от створа к створу применительно к многолетним параметрам (среднему и коэффициенту вариации) выполняем:

- для среднемноголетнего стока на основании зависимости модуля стока m (л/с км²) от средней высоты водосбора H (или площади водосбора F (км²)).

При отсутствии подобной информации изменение модуля стока от входного до замыкающего створов принимается по согласованию с преподавателем. Среднегодовой расход и норма стока i – го створа определяются далее по формулам (1):

$$\begin{aligned}
 Q_{cpi} &= m_i \cdot F_i \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3/\text{с)} \\
 W_{cpi} &= 31,54 \cdot Q_{cpi} \text{ (млн.м}^3\text{)}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

- для коэффициентов вариации можно использовать формулу К.П. Воскресенского:

$$C_{vi} = \frac{A}{m_i^{0,4} \cdot (F_i + 1000)^{0,1}} \quad (2)$$

Эмпирический коэффициент A определяется из формулы (2) для известного по параметрам створа. Обеспеченные значения стока в таблице определяются по таблицам трехпараметрического гамма – распределения (приложение 1). По данным таблицы строятся совмещенные кривые обеспеченности годового стока для всех расчетных створов (рис. 2). Таблица расчетных гидрологических характеристик представляется затем в следующем виде:

Таблица 2

№ створа	L, км	F, км ²	Обеспеченные объемы годового стока, млн м ³										
			q	S, млн.м ³	C _v	5	10	25	50	75	90	95	97
1	336,00	10200	3,00	965,00	0,40	1679,10	1486,10	1186,95	914,82	683,22	513,38	432,32	378,28
2	134,40	4080	3,00	386,00	0,45	710,24	619,53	484,43	360,14	259,01	186,82	152,47	131,24
3	60,00	3060	3,00	289,50	0,45	531,76	463,85	362,70	269,64	193,92	139,88	114,16	98,26

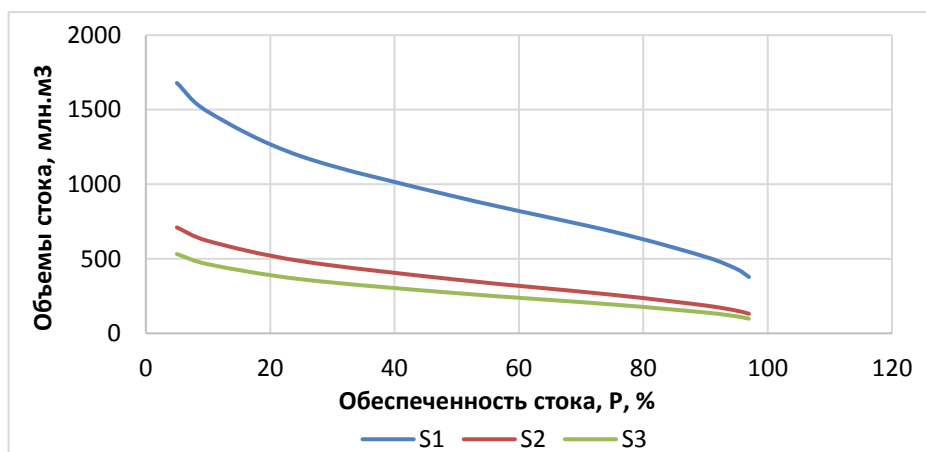


Рис.2. Характеристика водности реки в расчетных створах

Внутригодовое распределение стока делается на основе типовых гидрографов разной обеспеченности, рассчитанных на предшествующем этапе методом компоновки или другими способами. Результаты заносятся в таблицу 3 в соответствии с принятой разрезкой водохозяйственного года и иллюстрируются рисунком 3.

Таблица 3

№ створа	P, %	Календарные месяцы водохозяйственного года												
		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	ГОД
1	75	15,71	429,06	105,22	30,06	26,65	13,66	8,20	17,76	12,98	11,61	5,47	6,83	683,22
	95	9,94	271,50	66,58	19,02	16,86	8,65	5,19	11,24	8,21	7,35	3,46	4,32	432,32
2	75	5,96	162,66	39,89	11,40	10,10	5,18	3,11	6,73	4,92	4,40	2,07	2,59	259,01
	95	3,51	95,75	23,48	6,71	5,95	3,05	1,83	3,96	2,90	2,59	1,22	1,52	152,47
3	75	4,46	121,78	29,86	8,53	7,56	3,88	2,33	5,04	3,68	3,30	1,55	1,94	193,92
	95	2,63	71,69	17,58	5,02	4,45	2,28	1,37	2,97	2,17	1,94	0,91	1,14	114,16

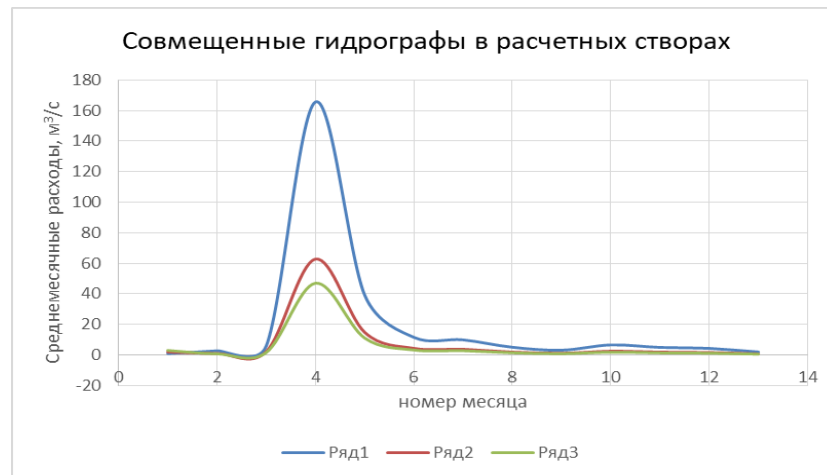


Рис. 3. Изменение стока в течение года

В ответственных водохозяйственных расчетах используются многолетние гидрологические ряды с последующим имитационным моделированием режима работы ВХС. Расчеты в курсовом проекте выполняются в основном обобщенным методом, опираясь на многолетние параметры стока и водопотребления.

3.3 Подземные водные ресурсы

Эксплуатационные ресурсы подземных вод определяем по методике Н.Н. Биндемана и Ф.А. Бочевера [1, 10, 13]. Суть метода в приближенной оценке расхода условных укрупненных водозаборов, равномерно распределенных по изучаемой площади. Эти водозаборы различают двух типов: I - грунтовых вод и II – межпластовых напорных вод. Они в свою очередь бывают двух подтипов Ia – на водоразделах (питание только за счет осадков) и Ib – в долинах рек (питание как за счет атмосферных осадков, так и из рек).

Территория водозаборов разбивается на ячейки с площадью радиуса влияния R (обычно принимается от 10 м), рассматриваемой как «большой колодец» радиуса r. Фрагмент территории имеет вид:

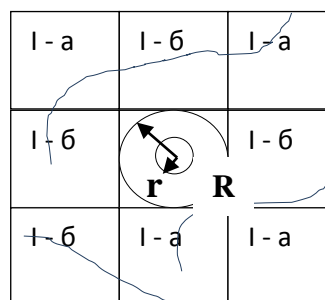


Рис.4. Схема размещения условных водозаборов

Ограничения модели:

- Однородные водоносные горизонты
 - Границы выделенных ячеек считаются непроницаемыми
 - Ячейки не взаимодействуют между собой
- Прогнозная оценка региональных эксплуатационных ресурсов получается в результате решения следующих задач:
- определение общего объема подземных вод на основе изучения закономерностей формирования
 - исследование возможностей пополнения подземных горизонтов поверхностными водами (естественная подпитка, искусственное пополнение)[5].
- Будем считать, что имеем водозаборы типа I – б.

$$Q_{\text{э}} = \frac{F \cdot \mu \cdot S_{\text{м}}}{\tau_{\text{э}}} + Q_{\text{w}} \quad (3)$$

$Q_{\text{э}}$ – эксплуатационные ресурсы

F – площадь ячейки (в нашем случае площадь распространения подземных вод), $F = 100$ кв км = $100 \cdot 10^6$ м²;

μ - коэффициент гравитационной водоотдачи;

$$\mu = \frac{K_{\text{ф}} \cdot H_{\text{ср}}}{a} \text{ принимаем } 0,15$$

$K_{\text{ф}}$ –коэффициент фильтрации, 0,1 м/сут;

$H_{\text{ср}}$ – средняя мощность водоносного горизонта, 10 м.

a – коэффициент уровнепроводимости;

$\tau_{\text{э}}$ – период эксплуатации условного водозабора, 10 лет*365 = 3650 суток;

$$S_{\text{м}} = 0,6 \cdot H_{\text{ср}} = 6 \text{ м}$$

$$Q_{\text{w}} = h_{\text{п}} \cdot F$$

$$h_{\text{п}} = O_{\text{с}} - E = 750 \text{ мм} - 700 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}/365$$

$$Q_{\text{э}} = \frac{F \cdot \mu \cdot S_{\text{м}}}{\tau_{\text{э}}} + F \cdot h_{\text{п}} = 10^6 \cdot 100 \cdot \left[\frac{0,15 \cdot 6}{10 \cdot 365} + \frac{0,05}{365} \right] = 38356 \text{ м}^3/\text{сут} = 0,44 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$W_{\text{э}} = 0,44 \cdot 31,54 = 13,88 \text{ млн. м}^3 \text{ в год}$$

В процессе водохозяйственных обоснований очень важной характеристикой является ущерб (U) речному стоку в результате подземного водозабора. Эта величина учитывается в расходной части водохозяйственного баланса. Принимая коэффициент гидравлической связи $K_{\text{гсв}} = 0,6$.

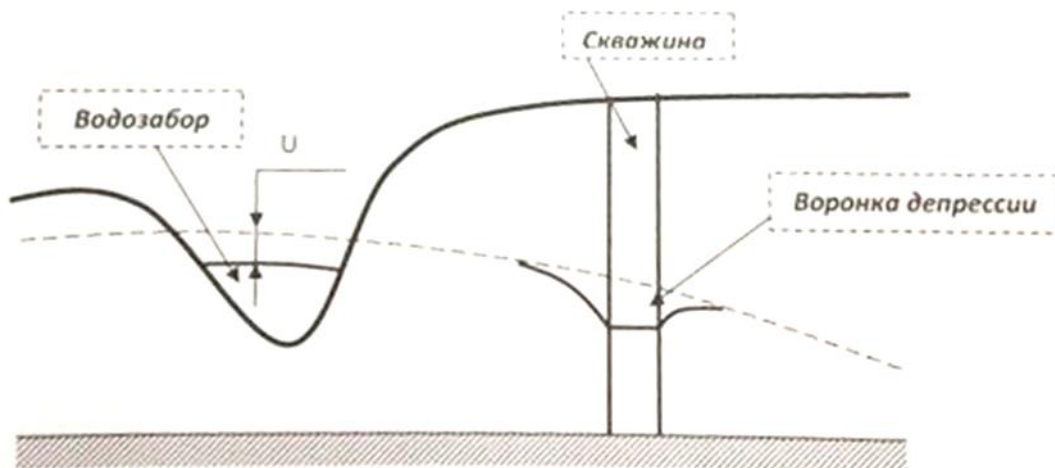


Рис.5. Схема использования ресурсов поверхностного стока при подземном водозаборе

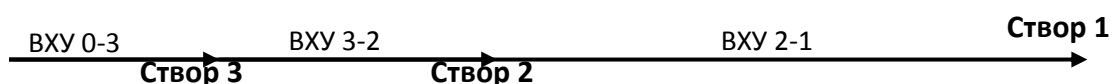
$U = 0,6 * 13,88 = 8,4$ млн.м³ - ущерб речному стоку в результате подземного водозабора.

Эксплуатационные прогнозные ресурсы подземных вод очень малы. В дальнейшем следует провести дополнительные исследования по разработке перспективных площадей.

3.4 Постворный водохозяйственный баланс

Постворный водохозяйственный баланс в соответствии с концепцией данного проекта необходим для выбора варианта схемы водохозяйственных мероприятий. Он выполняется для расчетных маловодных условий применительно к условиям годового регулирования стока согласно постановке задачи проекта КИОВР, выполняемого в предшествующем семестре. Расчетная обеспеченность года выбирается в диапазоне (75-95) % по числу бесперебойных лет, что соответствует тому доминирующему водопотребителю, развитие которого требует создания ВХС с многолетним регулированием.

Расчетная схема бассейна, или анализируемой части бассейна, определяет структуру постворного ВХБ. Структура постворного водохозяйственного баланса для вышерасположенного и основного водохозяйственных участков следующей схеме:



Особенностью постворного ВХБ являются частые ошибки, связанные с неправильным определением стока, поступающего на нижележащий участок. Не касаясь традиционной методики ВХБ, приведем некоторые несложные зависимости, облегчающие балансовый расчет поверхностного стока в заданном временном интервале при переходе от створа к створу.

$$ВХБ_i = ПР_{i-1} + БП_i + ВО_i + P_i - ВП_i - КП_i \quad (4)$$

где $BB_i = ВП_i - ВО_i$ – безвозвратное водопотребление;
 $ПР_{i-1}$ – приток с вышележащего (i-1) – го водохозяйственного участка;
 $ВП_i$ – сток, формируемый на i – ом участке;
 $ВО_i$ – водоотведение на i – ом участке;
 P_i – регулирование стока в интервале, «+» сработка; «-» наполнение;
 $ВП_i$ – водопотребление на i – ом участке;
 $КП_i$ – комплексный попуск в выходном створе i -го участка;
 Если $VXB \geq 0 \Rightarrow ИЗБ = VXB ; ДФ = 0$;
 Если $VXB < 0 \Rightarrow ДФ = -VXB ; ИЗБ = 0$.

Проектный приток к (i+1) – му водохозяйственному участку не может быть определен без предварительного распределения дефицита между потребителями и комплексным попуском:

$$ДФ_i = \sum_{ji} ДФ_{ji} + ДФ_{кпi} \quad (5)$$

j – индекс участника водохозяйственного комплекса

Распределение дефицита между участниками ВХК – самостоятельная водохозяйственная задача – решается либо на основе согласованных приоритетов, либо путем экономического обоснования.

Транзитный сток в замыкающем створе i-го водохозяйственного участка равен проектному притоку к (i+1)-му створу) и определяется выражением (6).

$$ПС_i = КП_i - ДФ_{кпi} + Рез_i \quad (6)$$

Формула справедлива для всех случаев, в том числе при диспетчерском регулировании, когда величина дефицитов назначается в зависимости от текущего наполнения.

Дефицит водопотребления отнесен в балансах к отраслевым потребителям, то есть дефицит попуска равен нулю. Покрытие дефицитов предусматривается из водохранилища, створ которого является замыкающим для второго участка. Далее представлены постворные балансы, порой представляющие рутинную работу, но необходимые для анализа ситуации по длине реки (табл. 4).

Таблица 4

Постворные водохозяйственные балансы в году 75 % обеспеченности на современном уровне развития, млн.м³

Календарные месяцы зайственного года	ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС р. ПРОНЯ НА ВХУ 0-3												
	Приходная часть баланса						Расчетные требова- ния на ВХУ			Баланс	Дефицит	Резерв ВР	Транзитный сток в
	Приток сверху	Сток, формируемый на участке				ВР Располагаемые участка	Безвозвратное водопотребление	Комплексный попуск	Всего				
										III	IV	V	VI
III	0	4,46				4,460	0,582	4,243	4,825	-0,365	0,365	0,000	4,243
IV	0	121,78				121,781	15,893	115,847	131,74	-9,959	9,959	0,000	115,847
V	0	29,86				29,864	3,897	28,408	32,306	-2,442	2,442	0,000	28,408
VI	0	8,53				8,532	1,114	8,117	9,230	-0,698	0,698	0,000	8,117
VII	0	7,56				7,563	0,987	7,194	8,181	-0,618	0,618	0,000	7,194
VIII	0	3,88				3,878	0,506	3,689	4,196	-0,317	0,317	0,000	3,689
IX	0	2,33				2,327	0,304	2,214	2,517	-0,190	0,190	0,000	2,214
X	0	5,04				5,042	0,658	4,796	5,454	-0,412	0,412	0,000	4,796
XI	0	3,68				3,684	0,481	3,505	3,986	-0,301	0,301	0,000	3,505
XII	0	3,30				3,297	0,430	3,136	3,566	-0,270	0,270	0,000	3,136
I	0	1,55				1,551	0,202	0,934	1,136	0,415	0,000	0,415	1,349
II	0	1,94				1,939	0,253	1,167	1,420	0,519	0,000	0,519	1,686
ГОД	0	193,92				193,919	25,308	183,250	208,56	-14,639	15,572	0,934	184,184

Таблица 5

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС р. ПРОНЯ НА ВХУ 3-2

Календарные месяцы зайственного года	ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС р. ПРОНЯ НА ВХУ 3-2												
	Приходная часть баланса						Расчетные требова- ния на ВХУ			Баланс	Дефицит	Резерв ВР	Транзитный сток
	Приток сверху	Сток, формируемый на участке				ВР Располагаемые участка	Безвозвратно- водопотребле- ние	Комплекс- ный попуск	Всего				
										III	IV	V	VI

III	4,243	1,50				5,740	0,815	5,657	6,472	-0,732	0,732	0,000	5,657
IV	115,847	40,87				156,721	22,250	154,462	176,712	-19,991	19,991	0,000	154,462
V	28,408	10,02				38,432	5,456	37,878	43,334	-4,902	4,902	0,000	37,878
VI	8,117	2,86				10,980	1,559	10,822	12,381	-1,401	1,401	0,000	10,822
VII	7,194	2,54				9,733	1,382	9,592	10,974	-1,241	1,241	0,000	9,592
VIII	3,689	1,30				4,991	0,709	4,919	5,628	-0,637	0,637	0,000	4,919
IX	2,214	0,78				2,995	0,425	2,952	3,377	-0,382	0,382	0,000	2,952
X	4,796	1,69				6,488	0,921	6,395	7,316	-0,828	0,828	0,000	6,395
XI	3,505	1,24				4,742	0,673	4,673	5,346	-0,605	0,605	0,000	4,673
XII	3,136	1,11				4,242	0,602	4,181	4,784	-0,541	0,541	0,000	4,181
I	1,349	0,52				1,870	0,283	1,245	1,529	0,341	0,000	0,341	1,586
II	1,686	0,65				2,337	0,354	1,556	1,911	0,426	0,000	0,426	1,983
ГОД	184,18	65,09				249,271	35,430	244,333	279,763	-30,492	31,260	0,767	245,101

Таблица 6

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС р. ПРОНЯ НА ВХУ 2-1

Календарные месяцы водохозяйственного года	ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС р. ПРОНЯ НА ВХУ 2-1												
	Приходная часть баланса						Расчетные требования на ВХУ			Баланс	Дефицит	Резерв ВР	Транзитный сток в
	Приток сверху	Сток, формируемый на участке	Требуемое регулирование:	Текущее наполнение водохранилища на начало месяца	Текущее наполнение водохранилища на конец месяца	Располагаемые ВР участка	Безвозвратное водопотребление	Комплексный попуск	Всего				
III	5,657	9,76				15,41	0,931	14,143	15,074	0,340	0,000	0,340	14,483
IV	154,462	266,41				420,87	25,429	386,156	411,585	9,284	0,000	9,284	395,440
V	37,878	65,33				103,21	6,236	94,694	100,930	2,277	0,000	2,277	96,971
VI	10,822	18,67				29,49	1,782	27,056	28,837	0,650	0,000	0,650	27,706
VII	9,592	16,54				26,14	1,579	23,981	25,560	0,577	0,000	0,577	24,558
VIII	4,919	8,48				13,40	0,810	12,298	13,108	0,296	0,000	0,296	12,594
IX	2,952	5,09				8,04	0,486	7,379	7,865	0,177	0,000	0,177	7,556
X	6,395	11,03				17,42	1,053	15,987	17,040	0,384	0,000	0,384	16,372
XI	4,673	8,06				12,73	0,769	11,683	12,452	0,281	0,000	0,281	11,964
XII	4,181	7,21				11,39	0,688	10,453	11,142	0,251	0,000	0,251	10,705
I	1,586	3,39				4,98	0,324	3,113	3,437	1,543	0,000	1,543	4,656
II	1,983	4,24				6,22	0,405	3,891	4,296	1,929	0,000	1,929	5,820
ГОД	245,10	424,21				669,31	40,49	610,83	651,32	17,99	0,000	17,99	628,82

Как показывают расчеты на первых двух участках наблюдаются дефициты общим объемом 47 млн. м³, причем это соответствует современному уровню без мероприятий по регулированию и территориальному перераспределению стока. Сведение (увязка) баланса расчетного по водности года за счет водосберегающих технологий, увеличения мощности очистных сооружений и повторного использования исследованы в проекте прошлого года и учтены в объемах водопотребления постворных балансов. Дефициты в проектной перспективе возрастут, но для оценки рентабельности и масштаба мероприятий по регулированию и переброске необходим анализ водохозяйственной эффективности и стоимости проектных мер.

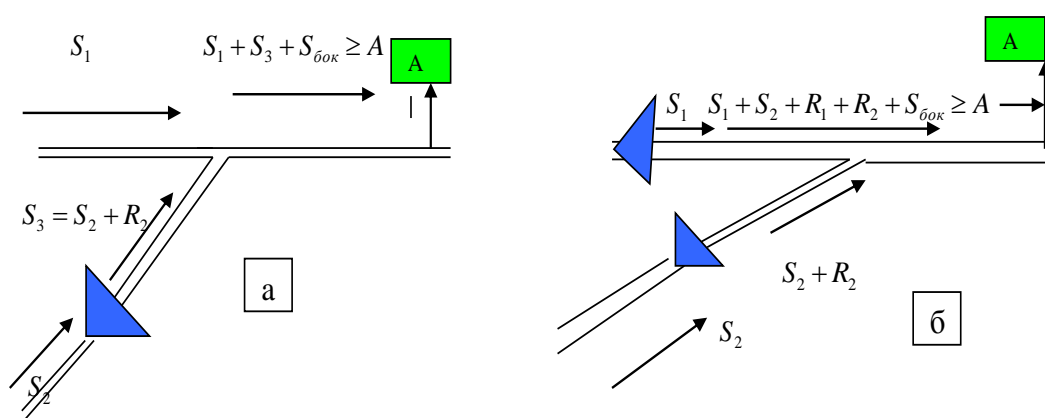
4. Водохозяйственное обоснование проектных решений

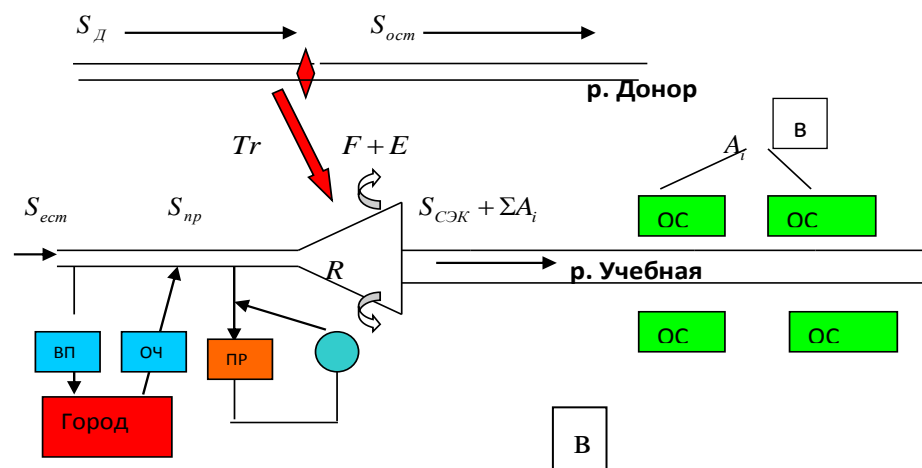
4.1. Расчетные схемы ВХС

Варианты схемы мероприятий данного проекта содержат переброску стока, элементы компенсированного регулирования, каскадное регулирование, должны отражать динамику движения воды в системе створов. Основное требование – это способность удовлетворения требований ВХК. В числе схем мероприятий можно рассмотреть следующие:

- независимое регулирование стока в одном из створов, наиболее предпочтительном по топографическим условиям и компоновочным решениям;
- компенсированное регулирование стока на одном из притоков (рис. 6-а);
- система из двух водохранилищ, размещаемых на основной реке и на притоке (рис. 6-б);
- переброска из бассейна р. Донор;
- сочетание указанных вариантов.

Принимаем наиболее простую схему, базирующуюся на независимом регулировании стока с переброской в водохранилище из внешнего речного бассейна (рис. 6-в).





ВП – станция водоподготовки городского водозабора; *ОЧ* – очистные сооружения; *ПР* – промышленный объект с оборотной системой водоснабжения; *ОС* – существующие и проектируемые объекты орошения; *Р* – регулирование стока (сработка, наполнение); $F + E$ – потери на дополнительное испарение с поверхности водохранилища и фильтрацию в основании и береговых примыканиях

Рис. 6. Возможные расчетные схемы ВХС

4.2. Расчетная зависимость «емкость водохранилища – гарантированная водоотдача» по обобщенным параметрам стока и водопотребления

Задача водохозяйственных расчетов по выбранному варианту мероприятий состоит в том, чтобы определить оптимальную гарантированную водоотдачу. Прирост отдачи в данном случае полностью отнесен к регулярному орошению (возможные варианты - промышленность, гидроэнергетика, водный транспорт). Отметим, что с точки зрения методики последующих расчетов выбор отрасли, для которой предусмотрен прирост гарантированной воды, не принципиален. Первым этапом в решении задачи является отыскание зависимости между достигаемой отдачей и объемом водохранилища. Помимо отдачи и емкости оптимальное решение зависит от параметров переброски стока. Одна и та же отдача может быть обеспечена при разных значениях объема дотации и емкости водохранилища. Отметим, что в реальном проектировании число факторов влияния, определяющих оптимальное, или близкое к оптимальному, решение, может оказаться и больше. В этом случае необходимо использовать компьютерные программы, реализующие алгоритм линейного или динамического программирования.

Наиболее приемлемым для курсового проекта является обобщенный метод водохозяйственного расчета. Суть расчетов обобщенным методом заключается в определении регулирующей емкости водохранилища V в зависимости от задаваемого объема и режима гарантированной отдачи по обобщен-

ным параметрам стока и водопотребления. При этом выделяются многолетняя и сезонная составляющие емкости – формулы (7-9) [1, 16]. Сезонная составляющая находится по формуле (8).

$$V = V_{\text{мн}} + V_{\text{сез}} \quad (7)$$

$$V = (\beta_{\text{мн}} + \beta_{\text{сез}}) \cdot S_{\text{ср}} \quad (8)$$

$$\beta_{\text{сез}} = \alpha \cdot d_{\text{Ам}} - d_{\text{СМ}} + d_{\text{СМ}} \cdot \frac{1-K_{\text{Мр}}}{1-K_p} \cdot (1 - \alpha), \quad (9)$$

где $d_{\text{Ам}} = A_{\text{м}}/A$ – доля отдачи межени в объеме годовой отдачи;

$d_{\text{СМ}} = \frac{\overline{S_{\text{м}}}}{\overline{S}}$ – отношение стока средней межени к среднему стоку;

$K_{\text{Мр}} = \frac{S_{\text{Мр}}}{\overline{S_{\text{м}}}}$ – отношение стока межени расчетной обеспеченности к среднему стоку межени;

$K_p = \frac{S_p}{\overline{S}}$ – отношение годового стока расчетной обеспеченности к норме годового стока (при известном распределении – модульный коэффициент при обеспеченности P),

$$\alpha = A / S_{\text{ср}}$$

α - относительная водоотдача брутто (с учетом непроизводительных потерь).

Потери на испарение и фильтрацию определяются известными методами инженерной гидрологии. В русловых водохранилищах дополнительное испарение часто можно без ощутимой погрешности заменить потерями на видимое испарение – то есть произведением разности слоев испарения с водной поверхности и суши на площадь зеркала. Потери из наливных водохранилищ оцениваются по величине видимого испарения (разница между слоями испарения с водной поверхности и осадков, выпадающих на ту же площадь). Площадь зеркала определяется текущим наполнением водохранилища.

Фильтрационные потери при отсутствии функциональной зависимости интенсивности потерь от напора или емкости наполнения водохранилища можно принять осредненными в зависимости от пород, образующих ложе водохранилища. Так, для средних гидрогеологических условий слой потерь на фильтрацию составляет 50-100 см/год, ориентировочно, при отсутствии объективной информации суммарные потери можно принять в размере 10 % от полезной отдачи.

Объем потерь, особенно из крупных водохранилищ может быть очень большим. К примеру, потери на дополнительное испарение из Бухтарминского водохранилища на Иртыше составляют 1,5-2,0 км³.

Многолетняя составляющая емкости определяется выражением (10) и находится по табличным приложениям (приложение 2) или по номограммам И.В. Гуглия:

$$\beta_{mn} = f(\alpha, C_V, r_a, P) \quad (10)$$

где β_{mn} – относительная многолетняя составляющая емкости водохранилища;
 $\beta_{сез}$ – относительная сезонная составляющая емкости водохранилища;
 $S_{ср}$ – среднемноголетний сток реки;
 $C_s / C_v = 2$ – коэффициент асимметрии годового стока;
 r_a – коэффициент автокорреляции, характеризующий внутрирядные связи в гидрологическом ряду, принято 0,4, %;
 P – расчетная обеспеченность отдачи, %.

В водохозяйственных расчетах обобщенным методом для условий комплексного водопотребления в качестве P следует использовать так называемую приведенную обеспеченность. Приведенная обеспеченность в наиболее общей постановке – это условная величина обеспеченности, которую должна иметь суммарная отдача всех потребителей, чтобы многолетнее водопотребление было эквивалентным сумме потребляемых объемов воды всеми участниками ВХК с учетом их обеспеченностей и допустимого снижения требований в перебойные годы. Для определения этого параметра используется формула (11).

$$P_{np} = \frac{A_{mn}}{\sum A_i} \quad (11)$$

где A_{mn} – гарантированное количество воды, полученной потребителем за многолетие (100 % лет);

A_{mn} – суммарная гарантированная годовая водоотдача;

$$A_{mn} = \sum_1^m [A_i \cdot P_i + A_{снi} \cdot (100 - P_i)] \quad (12)$$

где A_{mn} – расчетные требования i -ого участника ВХК, включая и санитарно – экологические требования природного комплекса.

Для водопотребителей расчетные требования определяются по величине безвозвратного водопотребления, для водопользователей размерами пуща.

$A_{снi}$ – то же с учетом допустимого снижения требований в период дефицитов

$$A_{min} = A_{СЭК} + A_{КБХ} + A_{нрм} + A_{рекр} + A_{ТЭС} + A_{ГЭС} + A_{нав} \quad (13)$$

где $A_{ор}$ - прирост отдачи при вводе новых площадей орошения;
 $A_{сэк}$ – санитарно - экологический попуск;
 $A_{кбх}$ – коммунально-бытовое водоснабжение;
 $A_{пром}$ – промышленное водоснабжение;
 $A_{рекр}$ – рекреационные требования к воде;
 $A_{тэс}$ – теплоэнергетика;
 $A_{гэс}$ – попуски ГЭС
 $A_{нав}$ – навигационные попуски.

$$A_{max} = \psi \cdot S_{cp} + U \quad - \text{максимально достигаемая отдача} \quad (14)$$

где ψ – коэффициент максимального зарегулирования (устанавливается в зависимости от нескольких факторов: эффективности регулирования стока, главным образом топографии и коэффициента вариации);

U – объем переброски из реки Донор

P_i – расчетная обеспеченности i -го участника ВХК.

Полный объем водохранилища находится как сумма полезного и мертвого объема. Расчетные значения мертвого объема находятся известными методами исходя из сроков заиливания водохранилища, санитарных требований, гарантированной мощности при наличии ГЭС в составе ВХК, нормальной работы водозаборных сооружений в условиях полной сработки полезного объема и т.д. Мертвый объем примем в размере 5 % от полезного объема $V_{мо} \approx 0,05 \cdot V_{плз}$ (методика расчета мертвого объема изучается в курсе дисциплины «Водохозяйственные системы и водопользование»).

Отправная точка для водохозяйственных расчетов – минимальная гарантированная водоотдача $A_{мин}$, которую устанавливаем в объеме обязательного гарантированного водопотребления водохозяйственного комплекса по сумме безвозвратного изъятия и комплексного попуска (включая санитарно-экологическую составляющую) на основании данных предшествующего проекта (табл. 7). В расчетном примере $A_{мин}$ составляет $0,6 \cdot S_{cp}$, из которых $0,5 \cdot S_{cp}$ приходится на комплексный попуск и $0,1 \cdot S_{cp}$ составляет безвозвратное водопотребление отраслей народного хозяйства. Внутри года расчетные минимальные требования к воде распределяются согласно таблице 57. Комплексный попуск сформирован из условий сохранения межennale гидрографа 95%, а в период половодья - с апреля по июнь месяцы убирать? – в реке оставалось не менее 75 % естественного гидрографа года 75 % обеспеченности. Предполагается, что комплексный попуск обеспечивает необходимую кратность разбавления очищенных сточных вод, достаточную для сохране

ния самоочищающей функции водотока. Безвозвратное водопотребление распределено равномерно, что вполне соответствует, к примеру, требованиям промышленности. Если в составе участников ВХК присутствует ГКБХ, следует учитывать некоторое превышение летнего водопотребления по сравнению с зимними требованиями. Расчет искомой зависимости ведем табличным методом (табл. 7,8). Основы оценки режима и объема экологического стока приведены в [4].

Таблица 7

Минимальные расчетные требования $A_{\text{мин}}$, предъявляемые в створе гидроузла, млн.м³

Месяц	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	Год
Попуск	4,42	74,11	21,10	18,89	17,01	7,49	7,70	9,34	8,52	6,57	4,80	3,30	183,25
БВ	0,58	15,89	3,90	1,11	0,99	0,51	0,30	0,66	0,48	0,43	0,20	0,25	25,31
A мин	5,00	90,00	25,00	20,00	18,00	8,00	8,00	10,00	9,00	7,00	5,00	3,55	208,55

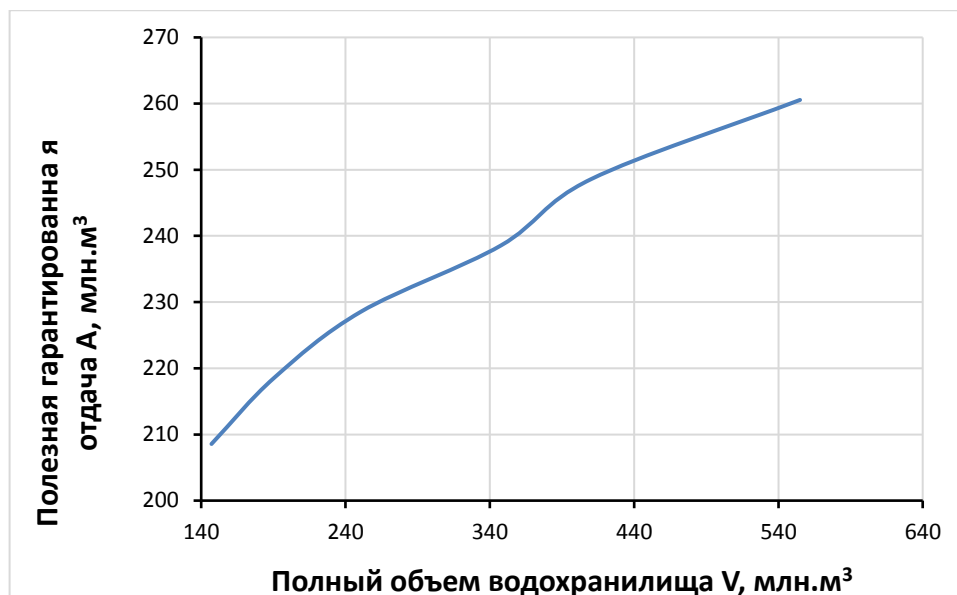
Таблица 8

Результаты водохозяйственных расчетов обобщенным методом

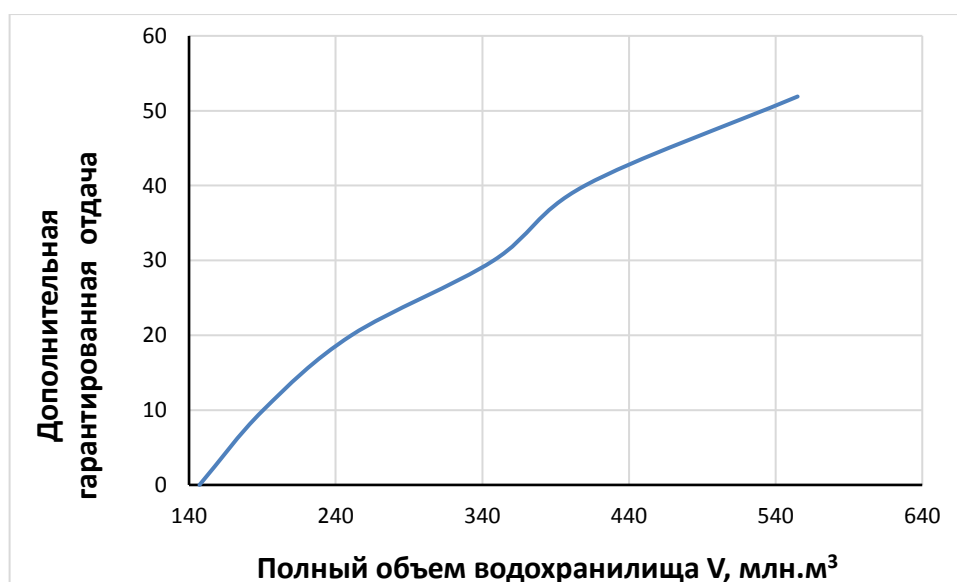
Полезная отдача		Потери из водохранилища			Отдача брутто	Относительная отдача брутто $A_{\text{бр}}$	приведенная обеспеченность $P, \%$	Составляющие емкости водохранилища				
Сверх $A_{\text{мин}}$	ВСЕГО	Фильтрация	Дополнительное испарение	ИТОГО				Многолетняя $V_{\text{мн}}$	Сезонная $V_{\text{сез}}$	Полезная $V_{\text{плз}}$	Мертвый объем, $V_{\text{мо}}$	Полная емкость $V_{\text{полн}}$
0	208,56			0	208,56	0,72	0,80	118,695	11,87	130,56	6,53	137,09
		1,47	0,294	1,76	210,32	0,73		127,38	12,74	140,12	7,01	147,12
10	218,56			0	218,56	0,75	0,85	153,435	15,34	168,78	8,44	177,22
		1,73	0,346	2,08	220,63	0,76		165,015	16,50	181,52	9,08	190,59
20	228,56			0	228,56	0,79	0,85	202,65	20,27	222,92	11,15	234,06
		2,39	0,478	2,87	231,43	0,80		217,125	21,71	238,84	11,94	250,78
30	238,56			0	238,56	0,82	0,85	254,76	25,48	280,24	14,01	294,25
		3,40	0,68	4,08	242,64	0,84		301,08	30,11	331,19	16,56	347,75
40	248,56			0	248,56	0,86	0,85	353,19	35,32	388,51	19,43	407,93
		4,70	0,94	5,64	254,20	0,88		413,985	41,40	455,38	22,77	415,15
51,9	260,55			0	260,55	0,90	0,85	480,57	48,06	528,63	26,43	555,06
		8,00	7,60	15,60	274,17	0,95		490,57	48,06	538,63	26,43	558,06

Графики зависимости $A = f(V)$ и $\Delta A = f(V)$, построенные по данным таблицы 9 используются при выборе оптимального варианта развития (рис. 7а, 7б).

$$\Delta A = A - A_{\text{мин}}$$



а. Анализирующая кривая для оценки эффективности регулирования стока



б. Зависимость прироста гарантированной водоотдачи сверх необходимого минимума от объема водохранилища

Рис. 7. Анализирующая кривая и зависимость прироста гарантированной водоотдачи

4.3. Исследование возможного объема переброски стока из внешнего речного бассейна

Проблема территориального перераспределения стока многогранна и многофакторна [7, 8, 14-16]. В процессе проектирования исследуются вопросы водохозяйственного и экологического характера, как правило, требуются

дополнительные научные исследования, особенно в масштабных проектах. Например, в проекте переброски части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря принимали участие более 100 научно-исследовательских институтов - научная составляющая проекта очень высока. Системы ТПС широко распространены в мире и в России. Системы включают водозаборный гидрозел с одной или несколькими насосными станциями; тракт переброски с пересечениями водотоков и возможно водохранилищами для перерегулирования в график водопотребления, водоприемное сооружение в зоне распределения перебрасываемого стока.

В проекте оцениваем возможный объем и режим изъятия воды из бассейна реки Донора, сток которого принимается в проекте по согласованию с руководителем. Определяется объем и режим переброски в водохранилище проектируемого объекта в зависимости от производительности водозаборных сооружений (насосной станции) и режим водоподачи в зону распределения перебрасываемого стока с учетом и без учета его перерегулирования в график водопотребления. Водохозяйственные расчеты рекомендуется выполнять посредством следующей балансовой формы.

Задача состоит в определении свободных ресурсов (резерва) для водоподачи в проектируемое водохранилище. В качестве ограничений рассматривается собственное водопотребление и санитарно-экологические попуски в бассейне реки Донора, принимаемые по упрощенной методике Б.В. Фащевского. Резерв R определяется по разнице естественного стока и указанных выше требований. Методика расчета иллюстрируется в таблице 9.

Отбор стока производится в режиме водопотребления. Регулирование стока в створе изъятия показано в таблицах 9-15 для разной производительности водозабора.

Водопотребление принимаем в пределах 10% от стока 75% обеспеченности. Попуски назначаются как уже говорилось по приближенной методике Б.В. Фащевского в размере среднемесячных расходов 95 % обеспеченности, увеличиваемых в период половодья до (70-75) % естественных расходов для сохранения санитарной функции половодья и обводнения поймы реки.

$$R = S - W_{\text{сзк}} - W \quad (15)$$

где S – естественный сток реки;

$W_{\text{сзк}}$ – санитарно экологический попуск ниже водозабора (остаточный расход реки);

W – водопотребление в бассейне Донора;

Таблица 9

Определение резерва водных ресурсов в бассейне реки Донора

Млн.м ³	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	ГОД
Сток реки донора	31,43	858,12	210,43	60,12	53,29	27,33	16,40	35,53	25,96	23,23	10,93	13,66	1366,4
Водопотребление	2,33	63,57	15,59	4,45	3,95	2,02	1,21	2,63	1,92	1,72	0,81	1,01	101,23
Сан.-экол. попуски	22,00	600,69	147,30	42,09	37,30	19,13	11,48	24,87	18,17	16,26	7,65	9,57	956,51
Резерв для переброски	7,10	193,86	47,54	13,58	12,04	6,17	3,70	8,03	5,87	5,25	2,47	3,09	308,70

Таблица 10

Расчеты возможного изъятия стока из реки Донор (максимальный водозабор без регулирования стока)

Календарные месяцы			III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	ГОД
Пропускная способность q	80	м ³ /с	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	193,6	
	С учетом зимнего режима		107,2	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	107,2	107,2	96,8	
Возможный объем водозабора	млн.м ³		7,1	193,86	47,54	13,58	12,04	6,17	3,7	8,03	5,87	5,25	2,47	3,09	308,7

Таблица 11

Расчеты возможного изъятия стока из реки Донор, Q=40 м³/с

Календарные месяцы			III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	ГОД
Пропускная способность q=	40,34	м ³ /с	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	193,6	
	С учетом зимнего режима		107,2	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	107,2	107,2	96,8	
Возможный объем водозабора			7,1	193,86	47,54	13,58	12,04	6,17	3,7	8,03	5,87	5,25	2,47	3,09	308,7
Водопотребление	млн.м ³		0,00	0,00	30,87	77,18	108,1	61,74	30,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	308,7
Регулирование			-7,10	-193,9	-16,7	63,60	96,01	55,57	27,17	-8,03	-5,87	-5,25	-2,47	-3,09	0,00
Наполнение в-ща			31,81	225,67	242,34	178,75	82,74	27,17	0,00	8,03	13,90	19,15	21,62	24,71	

Таблица 12

Расчеты возможного изъятия стока из реки Донор, $Q=32,65\text{м}^3/\text{с}$

Календарные месяцы			III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	год
Пропускная способность $q =$	32,65	м ³ /с	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	193,6	
С учетом зимнего режима			107,2	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	107,2	107,2	96,8	
Возможный объем водозабора		млн.м ³	7,1	193,86	47,54	13,58	12,04	6,17	3,7	8,03	5,87	5,25	2,47	3,09	308,70
Водопотребление			0	0	25	62,5	87,5	50	25	0	0	0	0	0	250,00
Регулирование			0,00	-166,97	-22,54	48,92	75,46	43,83	21,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Наполнение в-ща			0,00	166,97	189,51	140,59	65,13	21,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
q	W	V	32,65												
32,65	250	189,51													

Таблица 13

Расчеты возможного изъятия стока из реки Донор, $Q=19,59\text{м}^3/\text{с}$

Календарные месяцы			III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	год
Пропускная способность $q =$	19,59	м ³ /с	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	193,6	
С учетом зимнего режима			107,2	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	107,2	107,2	96,8	
Возможный объем водозабора		млн.м ³	7,1	193,86	47,54	13,58	12,04	6,17	3,7	8,03	5,87	5,25	2,47	3,09	308,70
Водопотребление			0,00	0,00	15,00	37,50	52,50	30,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	150,00
Регулирование			0,00	-66,97	-32,54	23,92	40,46	23,83	11,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Наполнение в-ща			0,00	66,97	99,51	75,59	35,13	11,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
q	W	V	19,59												
19,59	150	99,51													

Таблица 14

Расчеты возможного изъятия стока из реки Донор, $Q=13,06 \text{ м}^3/\text{с}$

Календарные месяцы			III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	ГОД
Пропускная способность q	13,06	м ³ /с	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	193,6	
С учетом зимнего режима			107,2	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	107,2	107,2	96,8	
Возможный объем водозабора		млн. м ³	7,1	193,86	47,54	13,58	12,04	6,17	3,7	8,03	5,87	5,25	2,47	3,09	308,70
Водопотребление			0,00	0,00	10,00	25,00	35,00	20,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Регулирование			0,00	-16,97	-37,54	11,42	22,96	13,83	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Наполнение в-ща			0,00	16,97	54,51	43,09	20,13	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
q	W	V	13,06												
13,06	100	54,51													

Таблица 15

Расчеты возможного изъятия стока из реки Донор, $Q=3,92 \text{ м}^3/\text{с}$

Календарные месяцы			III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	ГОД
Пропускная способность $q =$	3,92	м ³ /с	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	193,6	
С учетом зимнего режима			107,2	207,2	214,4	207,2	214,4	214,4	207,2	214,4	207,2	107,2	107,2	96,8	
Возможный объем водозабора		млн. м ³	7,1	193,86	47,54	13,58	12,04	6,17	3,7	8,03	5,87	5,25	2,47	3,09	308,70
Водопотребление			0,00	0,00	3,00	7,50	10,50	6,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00
Регулирование			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Наполнение в-ща			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
q	W	V	3,92												
3,92	30,00	0,00													

По результатам расчета построена зависимость $W_{год} = f(V)$, где W – объем переброски (млн.м³) объем водохранилища при водозаборном гидроузле (рис. 8). Величина W линейно связана с производительностью $q(\text{м}^3/\text{с})$ водозабора с учетом графика водопотребления: $q=k*W$ (в данном случае $k=0,13$ – отношение максимальной месячной ординаты гидромодуля к оросительной норме). Если доминирующий потребитель промышленность или коммуналь-

но-бытовое водоснабжение $k = 1/12$ (если пренебречь некоторым превышением летних требований в годовом графике потребности).

Производительность водозабора, q (м ³ /с)	объем водохранилища, V (млн м ³)	объем дотации, W (млн м ³)
40,32	242,40	308,70
32,65	189,51	250,00
19,59	99,51	150,00
13,06	54,51	100,00
3,92	0,00	30,00

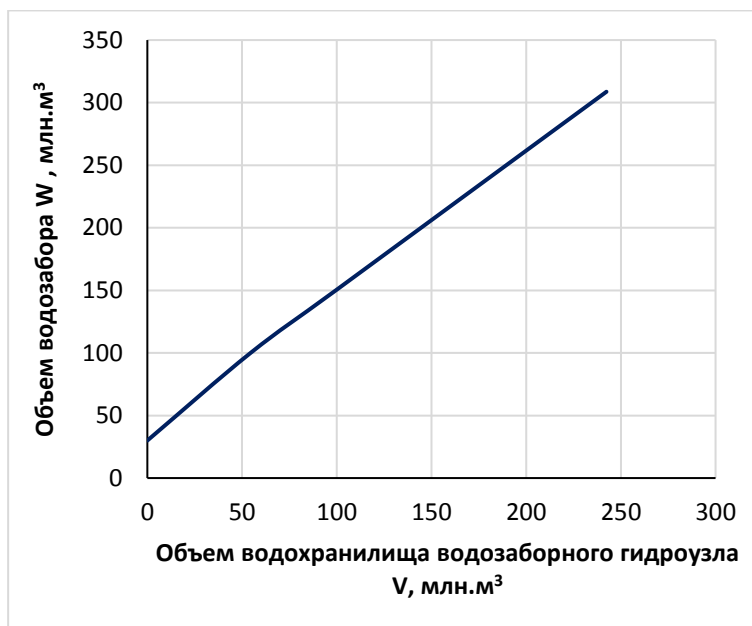


Рис. 8. Зависимость $W_{зод} = f(V)$, где W – объем переброски (млн.м³) объема водохранилища при водозаборном гидроузле

На основании водохозяйственных расчетов можно сделать заключение о том, что максимальный объем изъятия из реки оценивается в 308 млн. м³ при производительности водозабора (насосной станции) 80 м³/с. Расчетный расход канала можно существенно уменьшить, выравнивая режим в соответствии с графиком водопотребления в течение года. Однако, в этом случае необходимо регулировать сток в створе водозабора. В максимальном варианте требуемая емкость составляет 243 млн.м³, с учетом потерь 260-270 млн.м³.

5. Водохозяйственная система с оптимальными параметрами

5.1. Постановка задачи

Для выбора ВХС с оптимальными параметрами в проекте воспользуемся методом сравнения вариантов в диапазоне реального изменения таких показателей, как гарантированная водоотдача системы, объем водохранилища, режим дотации из внешнего бассейна. Для каждого из рассматриваемых значений гарантированной отдачи (в диапазоне от $A_{мин}$ до $A_{мах}$) определяются стоимостные показатели разных вариантов решения проектной задачи. Емкость водохранилища, обеспечивающая $A_{мин}$ не учитывается в оптимизации, поскольку являются обязательными в рамках бюджетного покрытия. Это допущение несколько упрощает проектную задачу и не приемлемо для проекта

создания новой ВХС, однако, разница лишь в экономических нюансах.

Оценка стоимостных показателей базируется на цикле гидрологических, гидравлических и водохозяйственных расчетов, определяющих параметры мероприятий и сооружений.

Каждое из значений гарантированной водоотдачи может быть получено при разных сочетаниях емкости водохранилища и параметров дотации стока из бассейна Донора. С целью формализации целевой функции задачи оптимизации требуется зависимость параметров транспортирующих воду сооружений от объема переброски $A_{пер}$. При фиксированном объеме суммарной гарантированной отдачи и той ее части, которая покрывается из водохранилища, объем переброски $A_{пер}$ находится по разности $A - A_{вдхр}$.

5.2. Выбор варианта гарантированной водоотдачи

Рассматриваемые варианты определяются сочетанием *емкость водохранилища – объем переброски*. Вариант, дающий наибольший экономический эффект для заданного объема гарантированной отдачи, становится опорным значением (локальный оптимум) для следующего шага оптимизации, когда определяется оптимальное значение отдачи. Абсолютный оптимум находится из анализа локальных оптимумов. На этом будем считать решение принятым. Параллельно отслеживается коэффициент рентабельности I_D (индекс доходности инвестиционного проекта).

$$I_D = \frac{\text{ЧДД}}{K} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{D_t - Z_t}{(1+r)^t}}{K} \quad (16)$$

где ЧДД – чистый дисконтированный доход;

n – срок реализации (в годах, месяцах);

r – ставка дисконтирования (%);

K_f – денежный поток;

K – первоначально затраченный инвестиционный капитал.

Для сравнения вариантов в данном случае используем ежегодный чистый доход $EЧД$ и коэффициент рентабельности K_p в следующих выражениях:

$$EЧД = \Pi - C; K_p = EЧД / K \quad (17)$$

где Π – ежегодная прибыль; C – ежегодные затраты.

Таким образом экономический эффект от дополнительного воспроизводства водных ресурсов (в данном случае орошения) определяется на основании критериев, связанных с доходностью и затратами в отрасль. В учебном проекте в качестве целевой функции Z берется ежегодный чистый доход ($EЧД$) от дополнительной сельскохозяйственной продукции при условии, что коэффициент рентабельности не меньше 0,20 – 0,25. Капиталовложения K

определяются по комплексным сооружениям $K_{комп}$ (плотина, водохранилище, тракт переброски вместе с головным водозабором), а также по отраслевым сооружениям $K_{ор}$. $EЧД$ - в свою очередь можно оценить по разнице стоимости продукции ($Ц$) и ежегодных отраслевых издержек ($С$). Стоимость продукции всех отраслей кроме орошения в рассматриваемом проекте фиксирована, поскольку прирост идет только за счет орошения. Экономический эффект определяется только от дополнительного орошения, поэтому он соотносится с величинами затрат сверх тех, которые необходимы для обеспечения минимальной отдачи $A_{мин}$. Расчеты выполняются на основе примерных укрупненных стоимостных показателей, приведенных в приложении 3.

$$Z = EЧД \max \quad (18)$$

$$EЧД = Ц - С \quad (19)$$

$$K_{рен} = (Ц - С) / K \quad (20)$$

$$K = K_{комп} + K_{ор}; C = C_{комп} + C_{ор}; Ц = Ц_{ор} \quad (21)$$

Комплексные затраты

$$K = K_{водхр} + K_{кнл} + K_{водзб} \quad (22)$$

где $K_{в-ца}$ - капитальные затраты по водохранилищу; $K_{кнл}$ - капитальные затраты по каналу переброски; $K_{водзб}$ - капитальные вложения на строительство водозабора, включая затраты на регулирование стока в створе изъятия.

Выражения:

$$K_{комп} = k_{в-ца} \cdot [V - V_0] + k_{пер} \cdot V_{выемки} + k_{в-ца} \cdot A_{пер} \quad (23)$$

$$K_{комп} = 6 \cdot [V - V_0] + 3300 \cdot L \cdot \omega + 6 \cdot A_{пер} \quad (24)$$

где V - полный объем водохранилища рассматриваемого варианта по отдаче $A_{в-ца}$; V_0 - объем водохранилища, необходимый для покрытия минимальной гарантированной водоотдачи $A_{мин}$ (объем водопотребления, покрываемый безусловно и в экономической оптимизации не участвующий, из таблицы 6 $A_{мин} = 208,55$ млн.м³; $k_{в-ца}$ - удельные капвложения на кубометр емкости водохранилища, (руб./м³); $k_{пер}$ - удельные капвложения на кубометр выемки, учитывающие стоимость водозаборного сооружения, (руб./м³):

$$C_{комп} = 0,015 \cdot k_{в-ца} \cdot [V - V_0] + 0,03 \cdot (k_{пер} \cdot V_{выемки} + k_{в-ца} \cdot A_{пер}) \quad (25)$$

Отраслевые затраты (руб.):

$$K_{ор} = k_{ор} \cdot F_{ор} \quad (26)$$

$$\begin{aligned}
K_{op} &= 36000 \cdot F_{op} \\
C_{op} &= 360 \cdot F_{op} \\
F &= \frac{A_{op} \cdot \eta}{M}
\end{aligned}
\tag{27}$$

где A_{op} – прирост отдачи на орошение; F – площадь орошения, обеспеченная при объеме водоподачи.

$$A_{op} = A_{в-ца} + A_{пер} \tag{28}$$

где M – оросительная норма комплексного гектара, принята в примере $2000 \text{ м}^3/\text{га}$; η – к. п. д. оросительной системы, принят $0,8$.

Стоимость продукции

$$Ц_{op} = F \cdot \sum y_j \cdot u_j \cdot d_j = F \cdot u_{op}, \tag{29}$$

где y_j, u_j, d_j – урожайность, закупочная цена и доля в севообороте j -ой культуры; $Ц_{op}$ – закупочная цена на продукцию, полученную с комплексного гектара, принята в расчетном примере $12000 \text{ руб}/\text{га}$ при площадях орошения до 20 тыс. га . Для больших площадей учтено снижение эффекта по причине сложности сбыта продукции, конкуренции и т.д. При 100 тыс. га стоимость продукции снижена до $7000 \text{ руб.} / \text{га}$.

$$Ц_{op} = u_{op} \cdot A_{op} \cdot \eta / M \tag{30}$$

Таблица 16

Технико-экономическое сопоставление вариантов

Прирост гарантированной отдачи на дополнительное развитие отрасли	Долевое участие в покрытии требований		СТОИМОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ												ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СТОИМОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ						
	Водохранилище,	Тракт переброски стока (канал переброски, трубопровод)	Затраты по водохранилищу с учетом компенсации затопления		Канал переброски и водозаборное сооружение		Отраслевые затраты на развитие отрасли		Суммарные затраты ВХС		Объем продукции, Фор, тыс.га	Стоимость сельхоз продукции за вычетом затрат на реализацию	Размер ежегодного чистого дохода	Коэффициент рентабельности, или индекс доходности	V _{полн}	h, м	Ω, м ²	V ₀ , млн м ³	L, км	M, м ³ /га	ц, руб/га
			K	C	K	C	K	C	K	C											
A _{разв}	A _{в-ца}	A _{пер}	млн.руб.												млн.руб.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15							
30	0	25	0	0	814,58	24,44	5400	540	6214,6	564,4	180	2160	1595,56	0,257	147,10	1,01	4,03	147,1	50	150	12000
30	15	10	437,28	6,56	394,27	11,83	5400	540	6231,5	558,4	180	2160	1601,61	0,256	220,00	0,72	2,03	147,1	50	150	12000
30	30	0	1199,28	17,99	0	0	5400	540	6599,3	558,0	180	2160	1602,01	0,242	347,00	0,00	0,00	147,1	50	150	12000
60	0	60	0	0	1641,47	49,24	10800	1080	12441,5	1129,2	360	4320	3190,76	0,256	147,10	1,40	7,77	147,1	50	150	12000
60	25	35	917,28	13,76	1065,35	31,96	10800	1080	12782,6	1125,7	360	4320	3194,28	0,250	300,00	1,15	5,18	147,1	50	150	12000
60	50	10	2447,28	36,71	394,27	11,83	10800	1080	13641,5	1128,5	360	4320	3191,46	0,234	555,00	0,72	2,03	147,1	50	150	12000
90	0	90	0	0	2276,91	68,31	16200	1620	18476,9	1688,3	540	6480	4791,69	0,259	147,10	1,63	10,53	147,1	50	150	12000
90	25	65	917,28	13,76	1750,76	52,52	16200	1620	18868,0	1686,3	540	6480	4793,72	0,254	300,00	1,44	8,25	147,1	50	150	12000
90	30	60	1199,28	17,99	1641,47	49,24	16200	1620	19040,7	1687,2	540	6480	4792,77	0,252	347,00	1,40	7,77	147,1	50	150	12000
90	50	40	2447,28	36,71	1185,45	35,56	16200	1620	19832,7	1692,3	540	6480	4787,73	0,242	555,00	1,20	5,73	147,1	50	150	12000
120	0	120	0	0	2875,17	86,25	21600	2160	24475,2	2246,3	720	8640	6393,75	0,261	147,10	1,82	13,06	147,1	50	150	12000
120	25	95	917,28	13,76	2378,79	71,36	21600	2160	24896,1	2245,1	720	8640	6394,88	0,257	300,00	1,67	10,96	147,1	50	150	12000
120	40	80	1985,28	29,78	2070,06	62,1	21600	2160	25655,3	2251,9	720	8640	6388,12	0,249	478,00	1,56	9,64	147,1	50	150	12000
120	50	70	2447,28	36,71	1858,53	55,76	21600	2160	25905,8	2196,7	720	8640	6443,29	0,247	555,00	1,49	8,72	147,1	50	150	12000
150	0	150	0	0	3447,79	103,43	27000	2700	30447,8	2803,4	900	7200	4396,57	0,144	147,10	1,98	15,44	147,1	50	150	8000
150	25	125	917,28	13,76	2972,17	89,17	27000	2700	30889,5	2802,9	900	7200	4397,08	0,142	300,00	1,85	13,47	147,1	50	150	8000
150	40	110	1985,28	29,78	2679,01	80,37	27000	2700	31664,3	2810,2	900	7200	4389,85	0,139	478,00	1,76	12,24	147,1	50	150	8000
150	50	100	2447,28	36,71	2479,73	74,39	27000	2700	31927,0	2811,1	900	7200	4388,90	0,138	555,00	1,70	11,39	147,1	50	150	8000
200	0	200	0	0	4361,31	130,84	36000	3600	40361,3	3730,8	1200	8400	4669,16	0,116	147,10	2,20	19,16	147,1	50	150	7000
200	25	175	917,28	13,76	3910,05	117,3	36000	3600	40827,3	3731,1	1200	8400	4668,94	0,114	300,00	2,09	17,33	147,1	50	150	7000
200	40	160	1985,28	29,78	3634,14	109,02	36000	3600	41619,4	3738,8	1200	8400	4661,20	0,112	478,00	2,03	16,21	147,1	50	150	7000
200	50	150	2447,28	36,71	3447,79	103,43	36000	3600	41895,1	3740,1	1200	8400	4659,86	0,111	555,00	1,98	15,44	147,1	50	150	7000

На основании данных таблицы 16 по точкам локальных оптимумов (курсив в колонке чистого дохода) построена анализирующая зависимость ежегодного чистого дохода и коэффициента рентабельности от объема гарантированной водоотдачи.

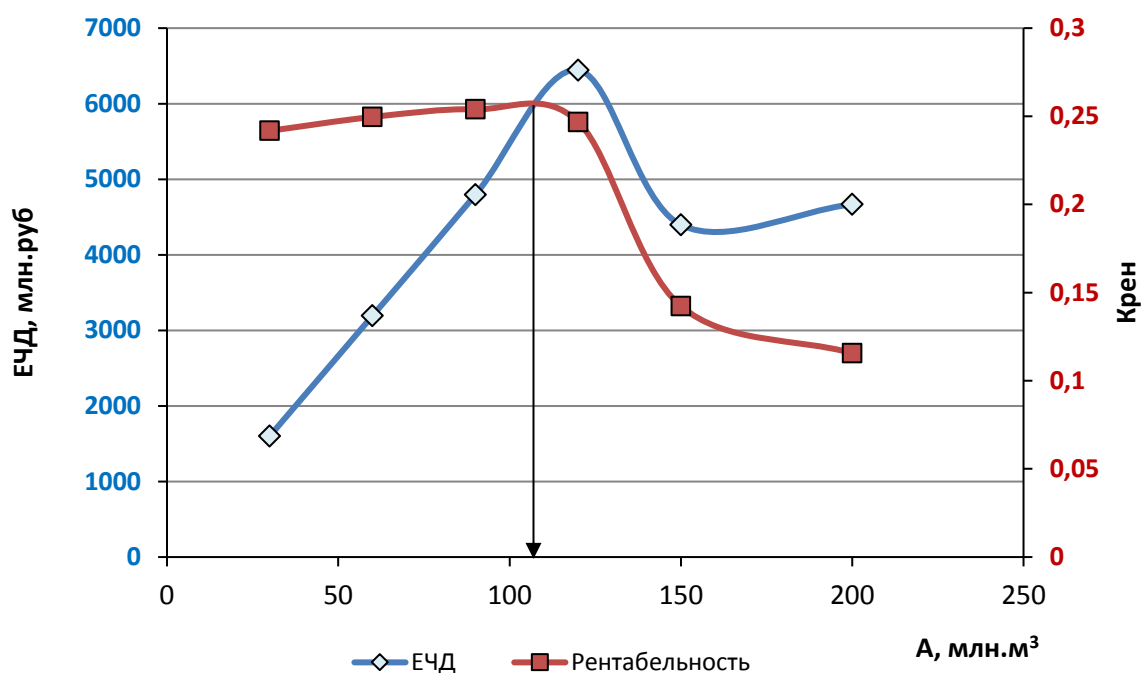


Рис.9. Анализирующая зависимость для выбора варианта

Как видно из графика оптимальное значение суммарной гарантированной водоотдачи в области приемлемых значений коэффициента рентабельности соответствует 120 млн. м³. Наилучшим по сумме показателей оказался вариант с объемом полезной водоотдачи ВХС 720 млн.м³. Вариант выделен в таблице 16 желтым цветом.

5.3. ВХБ с учетом проектного регулирования

Таким образом, в процессе проектирования выбран принципиальный вариант схемы инженерно-технических мероприятий и оптимальный объем суммарной гарантированной водоотдачи. По результатам расчетов составляются водохозяйственные балансы проектного уровня развития. Следует отметить, что в условиях многолетнего регулирования стока, выбор года для демонстрации ВХБ вопрос не всегда простой, поскольку при обоснованном многолетнем режиме любой год обеспечен необходимым запасом воды в водохранилище. Для наглядности в учебном проекте для ВХБ ограничимся годом 75 % по обеспеченности годового стока. В реальных проектах расчеты выполняются по многолетним гидрологическим рядам с использованием имитационных водохозяйственных моделей.

Баланс основного водохозяйственного участка представляется в двух вариантах – при отсутствии водохозяйственных мероприятий (табл. 17) и с уче-

том мероприятий по регулированию и переброске стока (табл. 18). Особенно-стью балансовых таблиц является нестандартная структура, наличие многолет-него объема в водохранилище для покрытия годового дефицита расчетного ма-ловодного года и графа «дефицит вышерасположенных участков бассейна».

Без регулирования стока и водоподачи из бассейна р. Донора дефицит водных ресурсов применительно к рекомендуемому варианту развитию ороше-ния составляет около 100 млн.м³ в году 75 % обеспеченности и 118 млн.м³ в го-ду 95 % обеспеченности. И то и другое обеспечено проектируемыми водохо-зяйственными мероприятиями. Очевидно, дотация на вышерасположенные во-дохозяйственные участки может осуществляться ответвлением из канала, либо путем машинной водоподачи к вышерасположенному водохозяйственному участку из водохранилища. Последний вариант в большей степени отвечает выполняемым водохозяйственным расчетам. Оценка целесообразности машин-ной водоподачи выходит за рамки настоящих методических указаний. Таблич-ную запись водохозяйственного баланса целесообразно дополнять иллюстра-тивным водохозяйственным балансом, без лишней детализации, но отражаю-щим наиболее существенные моменты распределения водных ресурсов (рис. 10).

Таблица 17

Расчетный водохозяйственный баланс без планируемых мероприятий по регулированию и переброске стока

Календарные месяцы	Приходная часть баланса						Расходная часть баланса					Результаты водохозяйственного баланса		
	Проектный приток сверху	Сток, формирующийся на участке (85 % обеспеченности)	Дотация стока из бассейна реки Донора	Регулирование стока, +сработка - наполнен	Наполнение водохранилища на конец месяца	Итого располагаемые ресурсы	Расчетные требования		Потери на доп. испарение и фильтрац.	Расчетные требования брутто	Дефицит водных ресурсов	Резерв ВР	Транзитный сток	
							На ВХУ	Дотация к дефицитным створам						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IV	0,00	99,73	0,00	0,00	0,00	99,73	131,74	4,20	0,00	0,00	135,94	36,21	0,00	
V	0,00	24,46	0,00	0,00	0,00	24,46	32,31	4,20	0,00	0,00	36,51	12,05	0,00	
VI	0,00	6,99	0,00	0,00	0,00	6,99	9,23	4,16	0,00	0,00	13,39	6,40	0,00	
VII	0,00	6,19	0,00	0,00	0,00	6,19	8,18	4,16	0,00	0,00	12,34	6,15	0,00	
VIII	0,00	3,18	0,00	0,00	0,00	3,18	4,20	4,16	0,00	0,00	8,36	5,18	0,00	
IX	0,00	1,91	0,00	0,00	0,00	1,91	2,52	4,16	0,00	0,00	6,68	4,77	0,00	
X	0,00	4,13	0,00	0,00	0,00	4,13	5,45	4,16	0,00	0,00	9,61	5,48	0,00	
XI	0,00	3,02	0,00	0,00	0,00	3,02	3,99	4,16	0,00	0,00	8,15	5,13	0,00	
XII	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00	2,70	3,57	4,16	0,00	0,00	7,73	5,03	0,00	
I	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	1,27	1,14	4,16	0,00	0,00	5,30	4,03	0,00	
II	0,00	1,59	0,00	0,00	0,00	1,59	1,42	4,16	0,00	0,00	5,58	3,99	0,00	
III	0,00	3,65	0,00	0,00	0,00	3,65	4,82	4,16	0,00	0,00	8,98	5,33	0,00	
ГОД	0,00	158,80	0,00	0,00	0,00	158,80	208,57	50,00	0,00	0,00	258,57	99,77	0,00	0,00

Расчетный водохозяйственный баланс с учетом регулирования и переброски стока

Календарные месяцы	ПРИХОДНАЯ ЧАСТЬ БАЛАНСА						РАСХОДНАЯ ЧАСТЬ БАЛАНСА				РЕЗУЛЬТАТЫ ВХБ			
	Проектный приток сверху	Сток, формирующийся на участке (85 % обеспеченности)	Дотация стока из бассейна реки Донора	Регулирование стока, +сработка -наполнен	Наполнение водохранилища на конец месяца	Итого располагаемые ресурсы	Расчетные требования		Потери на доп. испарение и фильтрацию	Расчетные требования брутто	Дефицит водных ресурсов	Резерв ВР	Транзитный сток	
							На ВХУ							
							Amin	Доп-гар-отдача						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IV	0,00	99,73	0,00	-4,926	50,30	94,800	90,00	4,20	0,00	0,60	94,800	0,000	0,000	74,11
V	0,00	24,46	7,00	-0,655	50,95	30,800	25,00	4,20	0,00	1,60	30,800	0,000	0,000	21,10
VI	0,00	6,99	17,50	1,673	49,28	26,160	20,00	4,16	0,00	2,00	26,160	0,000	0,000	18,89
VII	0,00	6,19	24,50	-6,533	55,81	24,160	18,00	4,16	0,00	2,00	24,160	0,000	0,000	17,01
VIII	0,00	3,18	14,00	-3,020	58,83	14,156	8,00	4,16	0,00	2,00	14,160	0,004	0,000	7,49
IX	0,00	1,91	7,00	5,254	53,58	14,160	8,00	4,16	0,00	2,00	14,160	0,000	0,000	7,70
X	0,00	4,13	0,00	12,031	41,54	16,160	10,00	4,16	0,00	2,00	16,160	0,000	0,000	9,34
XI	0,00	3,02	0,00	11,143	30,40	14,160	9,00	4,16	0,00	1,00	14,160	0,000	0,000	8,52
XII	0,00	2,70	0,00	9,060	21,34	11,760	7,00	4,16	0,00	0,60	11,760	0,000	0,000	6,57
I	0,00	1,27	0,00	8,490	12,85	9,760	5,00	4,16	0,00	0,60	9,760	0,000	0,000	4,80
II	0,00	1,59	0,00	6,742	6,11	8,330	3,57	4,16	0,00	0,60	8,330	0,000	0,000	3,32
III	0,00	3,65	0,00	6,110	0,00	9,760	5,00	4,16	0,00	0,60	9,760	0,000	0,000	4,42
ГОД	0,00	158,80	70,00	45,37	0,00	274,17	208,57	50,00	0,00	15,60	274,17	0,00	0,00	183,27

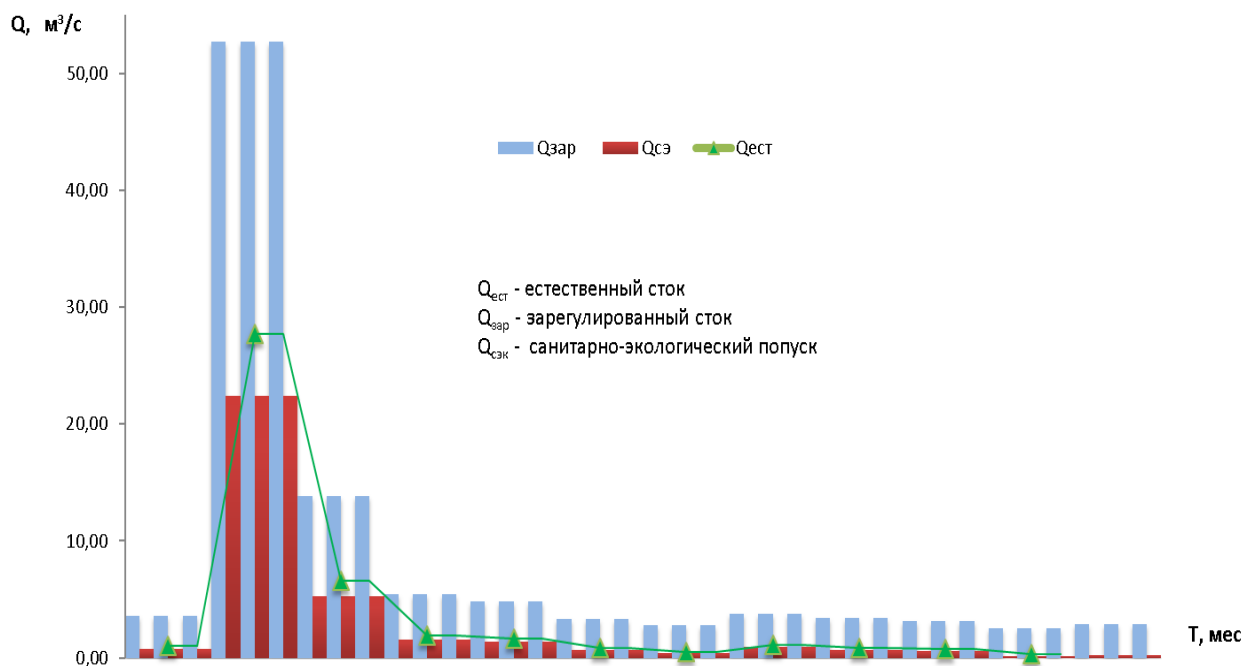


Рис.10. Иллюстративный водохозяйственный баланс в расчетном створе в привязке к проектной перспективе 2025 года

Технико-экономические показатели проектируемой ВХС

Полезный объем водохранилища	528,63 млн. м ³
Полный объем водохранилища	555,63 млн. м ³
Отметка НПУ (устанавливается по батиграфические зависимостям)	260 м
Отметка УМО	191 м
Отметка ФПУ	261,9 м
Площадь зеркала при НПУ	4,7 км ²
Суммарная гарантированная полезная отдача водохранилища	258,56 млн. м ³
В том числе санитарно экологический попуск	183,25 млн. м ³
Суммарная гарантированная полезная отдача ВХС	328,56 млн. м ³
В том числе прирост гарантированной отдачи за счёт переброски стока	70 млн. м ³ , $Q_{\max}=24,5/2,68\sim 9,2 \text{ м}^3/\text{с}$
Объем инвестиций с учётом регулирования стока на минимальную отдачу ВХС:	
Водохранилищный гидроузел с учетом компенсации затопления	2447,3 млн. руб.
Тракт переброски и водозаборное сооружение в точке изъятия	1858,5 млн. руб.
Отраслевые затраты на орошение	21600 млн. руб.
Всего по ВХС	25906 млн. руб.
Эксплуатационные затраты:	
Водохранилищный гидроузел с учетом компенсации затопления	36,7 млн. руб.
Канал переброски и водозаборное сооружение в точке изъятия	55,76 млн. руб.
Отраслевые затраты на орошение	2160 млн. руб.
Суммарно по ВХС	2196 млн. руб.
Ежегодный чистый доход	6443,3 млн. руб.
Количество воспроизведенных водных ресурсов за счёт переброски и регулирования составит	140,88 млн. м ³
Себестоимость кубометра гарантированных водных ресурсов составит	15,59 руб.

В ответственных случаях, как уже указано ранее, водохозяйственные расчеты выполняются с помощью имитационного моделирования по многолетним гидрологическим рядам [15]. При это необходимы продолжительные данные наблюдений, обоснованная методика перехода к другим створам по боковой приточности, или поправкой к балансу, учитывающей трансформацию стока по длине реки с учетом времени «добегания».

5.4. Методика построения диспетчерского графика

После того как запроектирована водохозяйственная система, определены ее технико-экономические показатели, основной задачей становится управление системой, в частности определение режима регулирования стока в течение пускового периода и в период нормальной эксплуатации водохранилища.

Правила управления существующих и проектируемых гидроузлов включают:

- схема компоновки и функционирования элементов ВХС;
- водохозяйственные балансы характерных по водности лет;
- диспетчерские правила управления водохранилищем (диспетчерский

график), в проектном режиме, в период пускового комплекса (до выхода на проектную отметку), в условиях прохождения высоких паводков и половодий, в форс-мажорные обстоятельства;

- система ограничений по сработке и наполнению водохранилища, обусловленная социально-экологическими требованиями, режима работы водозаборных сооружений, урвненным режимом, ограничением по прочности и устойчивости, как сооружений, так и береговых примыканий.

Ядром правил является диспетчерский график, определяющий режим функционирования водохранилища в различных по водности условиях. Построение диспетчерских графиков – одна из важнейших водохозяйственных задач при проектировании водохранилищных гидроузлов. Мы рассмотрим обобщенный метод построения, достаточно наглядный и не требующий сложных объемных вычислений, сопутствующих реальным проектам.

Основные функции диспетчерского графика:

1. обеспечение нормальной гарантированной отдачи;
2. обеспечение сокращенной гарантированной отдачи, недопущение глубоких перебоев благодаря своевременному переходу водохозяйственных установок на пониженное потребление;
3. минимизация холостых сбросов;
4. недопущение или снижение опасности при прохождении высоких половодий (паводков) за счет противопаводочной емкости и водосбросных сооружений.

Структура диспетчерского графика включает следующие зоны:

1. зона нормальной гарантированной отдачи;
2. зона пониженной отдачи;
3. зона максимальной производительности водохозяйственных установок;
4. зона сбросов.

Зоны графика ограничены характерными линиями, построение которых выполняется на основе специальных водохозяйственных расчетов.

ППЛ – противоперебойная линия;

ЛПО – линия пониженной отдачи;

ПСЛ – противосбросовая линия.

Методика построения диспетчерских графиков приводится в различных источниках, наиболее доступно [11]. Построение ДГ выходит за рамки курсового проекта.

5.5. Оценка продолжительности пускового периода до выхода водохранилища на проектную отметку

Очень важным является период до выхода на проектную отметку. Проектной отметкой называется тот уровень наполнения водохранилища, когда оно может осуществлять проектный режим, то есть обеспечивать гарантированной водой участников водохозяйственного комплекса. Опыт проектирования свиде-

тельствует, что объем наполнения, соответствующий проектной отметке должен составлять порядка половины полезной емкости водохранилища. Принимая во внимание случайный характер речного стока, расчеты выполняются в вероятностной форме. Проектную отметку определим по формуле:

$$V_{\text{пуск.}} = V_{\text{мо}} + 0,5 \cdot V_{\text{плз}} \quad (31)$$

Расчет выполняется посредством статистического анализа объема стока n – леток и его сравнения с планируемым отбором до выхода на проектную отметку. Далее, на основании технико-экономического сопоставления устанавливается рациональный срок наполнения, и таким образом определяем продолжительность пускового периода. В расчетах пускового периода обычно ориентируются на средне-маловодные условия (75%).

Параметры стока n – леток при норме стока 500 млн. м³ и $C_v = 0,4$:

$$\bar{S}_n = n \cdot \bar{S} \quad (32)$$

$$C_{v_n} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{2 \cdot r}{n \cdot (1-r)} \cdot \left(n - \frac{1-r^n}{1-r}\right)} \quad (33)$$

Коэффициент r можно назначить в зависимости от модуля стока

$$\left(q = 3,5 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{км}^2}\right) \text{ (табл. 20).}$$

Таблица 20

Коэффициенты автокорреляции

Модуль стока, $q, \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{км}^2}$	>20	10 – 20	4 – 10	1 – 4	< 1
Коэффициент автокорреляции, r	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

Таблица 21

Расчетные стоки n – леток

Продолжительность n – летки	Коэффициент вариации, C_v	Коэффициент автокорреляции, r	Модульный коэффициент при $C_s = 2C_v$	Сток n – летки 75% обеспеченности, S_n
1	0,40	0,4	0,708	354,0
3	0,30		0,784	1176
5	0,25		0,821	2052
7	0,22		0,836	2926
10	0,19		0,850	4250

Так получены ресурсы n – летки, но не вся эта вода будет аккумулироваться в водохранилище. Объем и режим изъятия стока в течение пускового периода ($A_{\text{пуск}}^{\text{бр}}$) обусловлен потерями на испарение и фильтрацию $L_{\text{пуск}}$ (существенно большими, чем после стабилизации гидравлического режима, а также теми объемами потребления $A_{\text{пуск}}$, которые можно допустить до выхода на проектную отметку).

Задавая значение $A_{\text{пуск}}$ можно найти зависимость этого показателя от $T_{\text{пуск}}$, а затем волевым решением или на основе экономического анализа установить расчетную продолжительность пускового периода (таблица 22).

Таблица 22

Вероятные объемы наполнения водохранилища в средне-маловодных условиях, млн. м³

Продолжительность пускового периода,	Сток п - летки 75 % обеспеченности	Потери пускового периода	Полезное водопотребление пускового периода			Наполнение водохранилища		
			0,1*S	0,3*S	0,5*S	0,1*S	0,3*S	0,5*S
1	354	100	50	150	250	204	104	4
2	750	180	100	300	500	470	270	70
3	1176	240	150	450	750	786	486	186
5	2052	300	250	750	1250	1502	1002	502
7	2926	140	350	1050	1750	2436	1736	1036

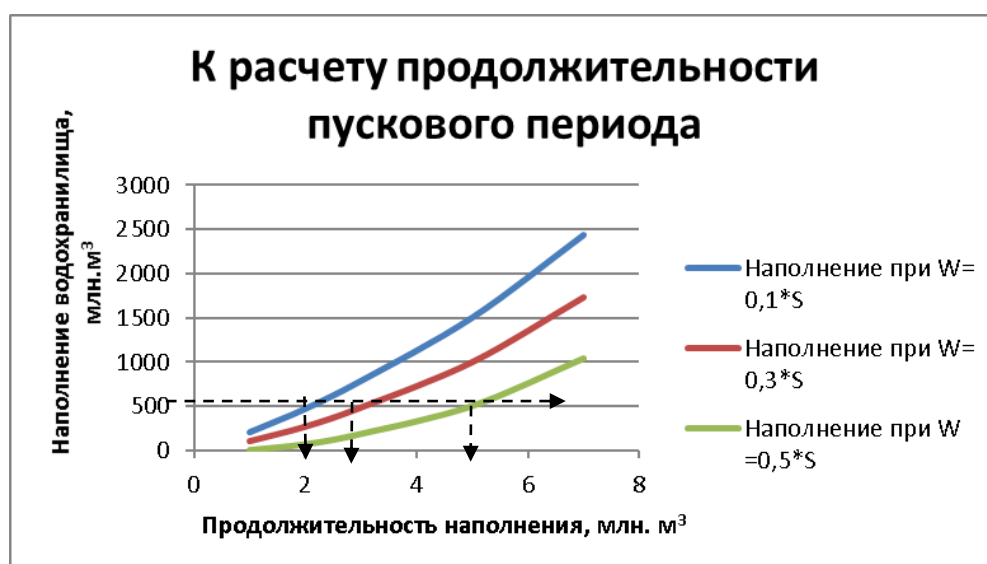


Рис. 11. Продолжительность пускового периода в зависимости от объема наполнения

Если принять $V_{\text{пуск}} = 520$ млн. м³ срок его достижения в средне-маловодных условиях составит согласно графику (Рис. 11) от 2 до 5 лет в зависимости от режима использования до выхода на проектную отметку.

6 Проектные технические решения

Далее приводятся принципиальные решения по выбранным с руководителем элементам водохозяйственной системы: гидроузел, водозаборное сооружение и трасса переброски стока, водосбросные сооружения.

В составе гидроузла главным сооружением является плотина, основное подпорное сооружение гидроузла, предназначенное для создания напора (обеспечивает нормальную работу водозаборных сооружений). Плотина создает водохранилище (регулирование стока с целью повышения потенциала гарантиро-

ванной водоотдачи в интересах отраслевого и комплексного водопользования) и (или) аккумулирует сток в период высоких половодий и паводков (для защиты от затопления территорий). Из многообразия плотин для данного проекта остановимся на варианте грунтовой плотины с русловым бетонным водосбросом (Рис. 12), береговым быстротоком или шахтным водосбросом для транзита максимального стока в нижний бьеф гидроузла (Рис. 13) [2]. Благодаря высокой сейсмостойкости они применимы в большинстве географических районов. Данному типу плотин соответствуют минимальные затраты на добычу материала. Кроме того, грунтовые плотины не имеют ограничений по размерам, а все строительные процессы механизированы.

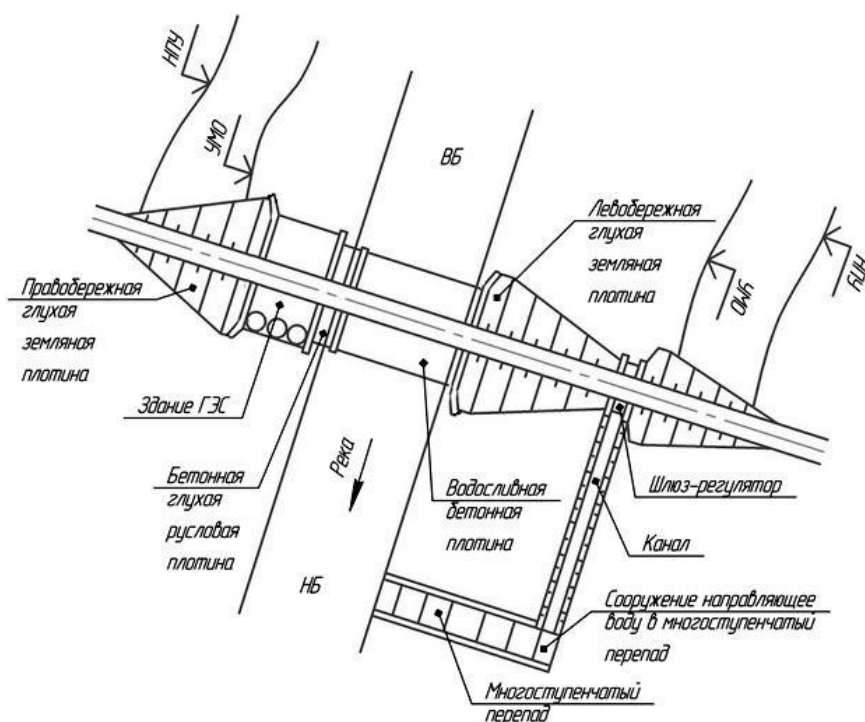


Рис. 12.Схема гидроузла в составе береговых грунтовых плотин, сопряженных с русловой компоновкой поверхностного водосброса и здания ГЭС

Недостатки грунтовых плотин связаны с невозможностью сброса максимальных расходов через гребень плотины; наличием в теле плотины фильтрационного потока, формирующего фильтрационные потери и вызывающего деформации сооружения; технологические проблемы в процессе строительства, связанные, в частности, с продолжительным периодом низких отрицательных температур (СП 39.13330.2012"СНиП 2.06.05-84* Плотины из грунтовых материалов").

Конструктивные решения должны обеспечивать устойчивость плотины и ее основания, нормальную работу противочленистых и дренажных устройств, всего сооружения в целом. С этой целью выполняется расчетное обоснование по методике, изложенной в указанном выше СНиП. Детальность расчетов в данном случае соответствует уровню учебного проекта водохозяй-

стенной (не гидротехнической) направленности.

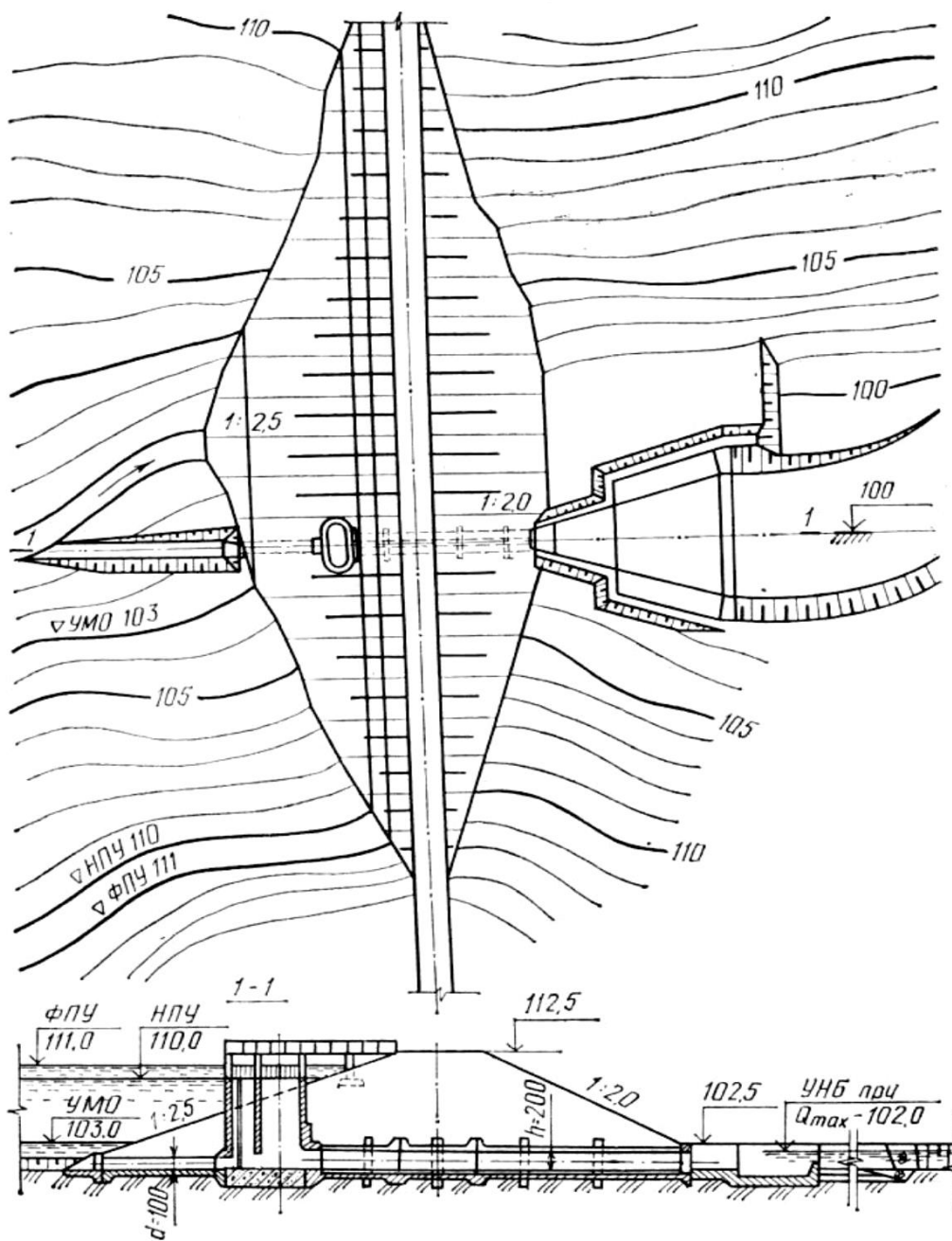


Рис. 13. Схема гидроузла с шахтным водобросом-водоотпуском

6.1 Выбор створа плотины

Створ плотины выбирают путем технико-экономического сопоставления возможных вариантов на основании данных о топографических, геологических, гидрогеологических, гидрологических, климатических условиях района строительства. Для нашего проекта наиболее важным является водохозяйственная необходимость. Желательно, чтобы в створе контролировалась значительная часть стока, потенциальные потери на фильтрацию и дополнительное испаре-

ние были небольшими; наличие топографической емкости, не вызывающей значительных затоплений и отчуждения земель; капитальные и эксплуатационные затраты укладывались в приемлемые экономические показатели, гарантируя водохозяйственную и экономическую эффективность [3, 9].

Заложение откосов принято согласно рекомендациям учебного пособия В.И. Волкова, в зависимости от высоты плотины. В свою очередь высота плотины устанавливается по формуле (34). Все отметки отслеживаются по предварительно построенным батиграфическим зависимостям.

Отметка гребня плотины определяется согласно СП 39.13330.2012 для двух случаев: при НПУ и при ФПУ, и из двух результатов принимают наибольший. В формулах учитывается накат волны $h_{нак}$, ветровой нагон $h_{наг}$ и конструктивный запас $h_{зап} = 0,5$ м.

$$H_{пл} = \nabla_{гр} - \nabla_{дна} \quad (34)$$

$$\nabla_{гр} = \nabla_{фпу} - \nabla_{дна} \quad (35)$$

$$\nabla_{гр} = \nabla_{фпу} + h_{нак} + h_{наг-10} + h_{зап} \quad (36)$$

$$\nabla_{гр} = \max \begin{cases} \nabla_{гр-ф} = \nabla_{фпу} + h_{нак} + h_{наг-50} + h_{зап} \\ \nabla_{гр-н} = \nabla_{фпу} + h_{нак} + h_{наг-10} + h_{зап} \end{cases} \quad (37)$$

Расчеты проводим для двух расчетных случаев:

- уровень воды на отметке НПУ или выше его (основное сочетание нагрузок и воздействий);
- уровень воды на отметке ФПУ при пропуске максимального паводочного расхода воды (основное сочетание нагрузок и воздействий).

Окончательно отметка гребня:

$$\nabla_{гр} = 110,9 \text{ м} ; \nabla_{дна} = 69,5 \text{ м} ; H_{пл} = 110,9 - 69,5 = 41,4 \text{ м}.$$

Заложение верхового откоса $m_{ис} = 3,0$, низового $m_{ис} = 2,5$. На откосах устраиваются бермы, размеры которых определяются условиями производства работ, эксплуатационного проезда, сбора и отвода ливневых вод на низовом откосе. Ширину берм назначаем 3 м. Отметки низовой и верховой бермы определяются после нахождения расчетной величины плотины.

6.2 Конструкция гребня плотины

Гребень плотины конструируется исходя из условий производства работ и эксплуатации плотины, необходимости обеспечения проезда транспорта и сельскохозяйственной техники. Ширина гребня устанавливается в зависимости от категории дороги, но не менее 4,5 м (СНиП 2.06.05-84). Принимаем дороги III класса с шириной проезжей части $B = 6,0$ м; шириной обочин $b = 2,0$ м и шириной гребня плотины $b_{гр} = 8,0$ м.

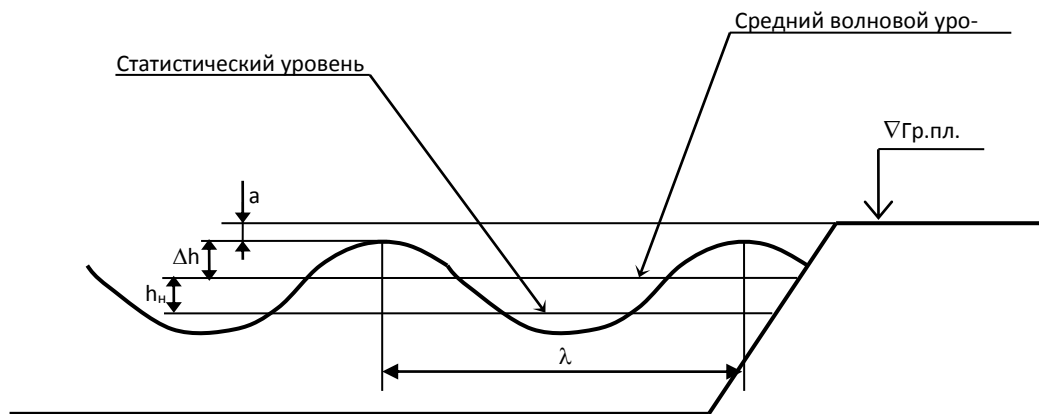


Рис. 14. Расчетная схема для определения отметки гребня плотины

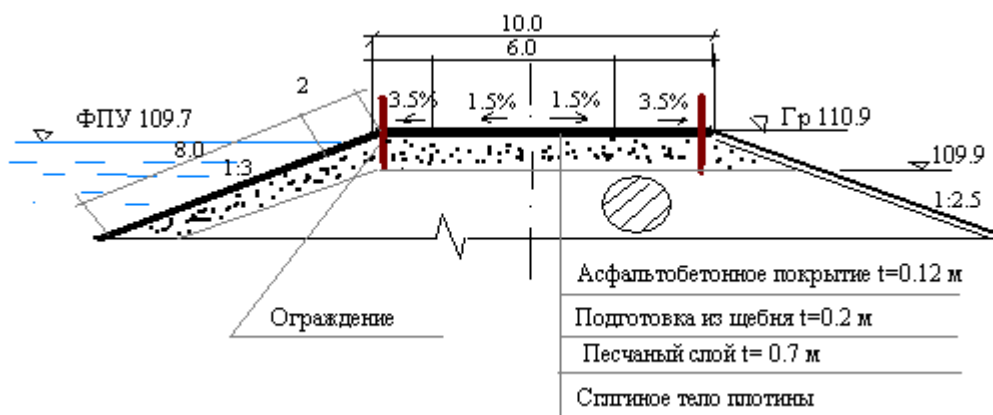


Рис.15. Конструкция гребня плотины

6.3 Поверхностный водосброс. Вопросы защиты от наводнения

Создание водохранилищного гидроузла приводит к необходимости решения вопросов пропуска высоких вод через гидроузел в сочетании с вопросами гидроэкологии, в том числе нерестового хода и ската молоди. Рыбозащитные и рыбопропускные сооружения изучаются в курсе инженерных сооружений и могут отрабатываться в процессе работы над ВКР. Что касается водосбросных сооружений, то их параметры связаны не только с необходимостью транзита максимального стока, но и с защитой территорий от затопления в верхнем и нижнем бьефах проектируемого гидроузла. Водосбросы предназначены также для пропуска льда, шуги и других плавающих тел в нижний бьеф, транзита влекомых наносов в нижний бьеф. По существу задача сводится к минимизации функционала (38):

$$G = S_{ппв} + S_{вдсб} + S_{дам} + U_{ВБ} + U_{НБ} \rightarrow \min \quad (38)$$

где $S_{ппв}$ – стоимость создания противонаводковой емкости;

$S_{вдсб}$ – стоимость водосбросных сооружений;

$S_{дам}$ – стоимость защитных дамб;

$U_{ВБ}$ – ущерб от затопления территорий в верхнем бьефе гидроузла;

$U_{НБ}$ – ущерб от затопления территорий в нижнем бьефе гидроузла.

Частные задачи, связанные с созданием защитных дамб и расчетом поверхностного водосброса рассмотрены в проектах других дисциплин. Рассмотрим последовательность выполненных проектных действий по определению параметров водосброса и величины противопаводочной емкости. Оптимальное сочетание сбросного расхода и емкости форсировки $V_{нае}$ определяется расчетным путем. При этом учитываем стоимость сооружений, а также ущербы, вызываемые затоплением в обоих бьефах. В данном случае сопоставление вариантов можно вести по капитальным вложениям.

Для расчета трансформации половодья через гидроузел используем приближенную методику Д.И. Кочерина:

$$V_{\phi} = W_p \cdot \left(1 - \frac{q}{Q_{max}}\right) \quad (39)$$

где V_{ϕ} - объем призмы форсировки; W_p - объём стока половодья расчетной обеспеченности; Q_{max} - естественный максимальный расход расчетной обеспеченности; q - максимальный расход зарегулированного водохранилища.

6.4 Определение параметров максимального стока расчетной обеспеченности

Полагая, что данные наблюдений за стоком отсутствуют, воспользуемся эмпирической формулой для максимального расхода весеннего половодья:

$$Q_{max}^p = q_p \cdot F = K_0 \cdot h_p \cdot \mu \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \frac{F}{(F + F_1)^n}, \quad \text{м}^3/\text{с} \quad (40)$$

q_p - модуль стока соответствующей обеспеченности.

Расчетная обеспеченность максимального стока P принимается в зависимости от класса сооружения. Для 3–го класса сооружений согласно СНиП 20.50.74 (дата актуализации 01.01.2019) принимается максимальный расход весеннего половодья повторяемостью $P = 0,5\%$. K_0 – коэффициент дружности половодья (характеризует синхронность частных водосборов в период наступления половодья) – примем 0,1.

$$S_{0,5} = 2,32 \cdot 500 = 1160 \text{ млн. м}^3;$$

$$S_{0,5}^{пол} = 2,32 \cdot 500 \cdot 0,5 = 580 \text{ млн. м}^3$$

$$h_{0,5} = 580 \cdot 1000 / 4620 = 125,5 \text{ мм}$$

$h_{0,5}$ – слой стока расчетной обеспеченности;

μ – коэффициент, учитывающий асинхронность максимального расхода и максимального стока, примем 1; F – водосборная площадь; $F_1 = 0,1 \cdot F$ – дополнительная площадь; n – коэффициент редукции, учитывающий региональные особенности водосбора, примем 0,25.

Наличие природных объектов (леса, озера, болота) на территории бассейна учитывается с помощью коэффициентов $\delta, \delta_1, \delta_2$. Для рассматриваемого бассейна принимаем $\delta = \delta_2 = 1; \delta_1 = 0.7$.

$$Q_{max}^p = 0,1 \cdot 125,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot \frac{4620}{(4620 + 462)^{0,5}} = 567 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Получив, таким образом, зависимость $V_\phi = f(q)$, оцениваем ситуацию в НБ в зависимости от расхода q . Гидравлический расчет водосброса в виде водослива практического профиля рассчитываем по формулам (41):

$$Q_{max} = m \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} = 0,42 \cdot B \cdot 4,43 \cdot H_0^{3/2} = 1,86 \cdot B \cdot H_0^{3/2}; B = \frac{Q_{max}}{1,86 \cdot H_0^{1,5}} \quad (41)$$

Для дальнейшего расчета используем батиграфические зависимости.

Таблица 23

Координаты батиграфических кривых

$H_i, \text{ м}$	$\Omega, \text{ км}^2$	$\Delta H, \text{ м}$	$\Delta V, \text{ млн. м}^3$	$V_i, \text{ млн. м}^3$	$h_{cp}, \text{ м}$
70	0	10	0,00	0,00	0,00
80	0,61	10	0,00	4,07	6,67
90	4,77	10	26,90	30,97	6,49
100	10,44	10	76,05	107,02	10,25
110	22,25	10	163,4	270,4	12,16
120	37,21	10	297,3	567,7	15,26

Задаваясь далее отношением сбросного расхода и естественного максимума, формируем расчетную таблицу 24, на основании которой принимаем решение о параметрах и типе водосброса, величине противопаводочной емкости и значении сбросного расхода.

Наиболее простыми в эксплуатации являются нерегулируемые водосбросы. Автоматические открытые водосбросные сооружения не требуют постоянного дежурства для обеспечения работы подъемного оборудования затворов, они начинают работать при превышении отметки НПУ, ограничивающей сверху призму регулирования. Напор на водосбросе обусловлен трансформацией гидрографа половодья (паводка) через гидроузел, то есть величиной противопаводочной емкости водохранилища.

Регулируемые водосбросные сооружения позволяют поддерживать расчетный подпорный уровень воды в водохранилище и обеспечивают сброс паводковых вод без дополнительного затопления прилегающих территорий, такие водосбросы на 10 – 15% дешевле нерегулируемых. Они применимы при относительно невысоких максимальных расходах и масштабах регулирования высоких вод.

При выборе трассы водосброса необходимо учитывать удобство расположения водосброса относительно оси плотины и других сооружений гидроузла. Ось водосброса желательно иметь прямолинейную. Снижение объема бетонных и земляных работ достигается ортогональностью трассы горизонталям местности. В состав водосброса входит труба водовыпуска, шахта, водопроводящая труба, гаситель избыточной энергии потока.

В условиях дипломного проектирования может быть также рассмотрена задача увеличения противопаводочной емкости с целью снижения масштабов затопления территорий в нижнем бьефе, определяются высота и протяженность защитных дамб в бьефах гидроузлов (см. формулу 41). По данным таблицы может быть принят регулируемый водосброс в виде водослива практического профиля с расчетным максимальным расходом 524,5 м и напором 3,5 м при ширине водосливного фронта 43 м.

Таблица 24

Определение параметров водосброса и емкости форсировки

$K = \frac{q_{max}}{Q_{max}}$	$q_{max}, м^3 / с$	Емкость форсировки $V_{\phi}, млн.м^3$	Напор водосброса, превышение над порогом $H, м$	Ширина водосбросного фронта, $B, м$
1	2	3	4	5
0,00	0,000	580,0	Область высоких емкостей и напоров выше 4 м (в условиях регулируемого водосброса) не рассматривается	
0,20	113,4	464,0		
0,40	226,8	348,0		
0,60	340,2	232,0		
0,80	453,6	116,0		
0,82	467,8	101,5		
0,85	481,9	127,5		
0,88	496,1	72,50	4,50	27,93
0,90	510,3	58,00	4,00	34,29
0,92	524,5	43,50	3,50	43,01
0,95	538,6	29,00	2,00	102,3
0,98	552,8	14,50	1,00	297,2
1,00	567,0	0,00	0,00	304,8

6.5 Принципиальные решения по точке изъятия стока для переброски в исследуемый бассейн

Расчетное обоснование и проектирование водозаборного гидроузла выполняется в соответствии с учебно-методическим пособием к курсовому проекту «Насосы и насосные станции» для студентов 4 курса дневной и заочной форм обучения, разработанном на кафедре сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения [6, 12]. Пример компоновки водозаборного гидроузла представлен на рисунке 16 (использованы материалы работы) [12]

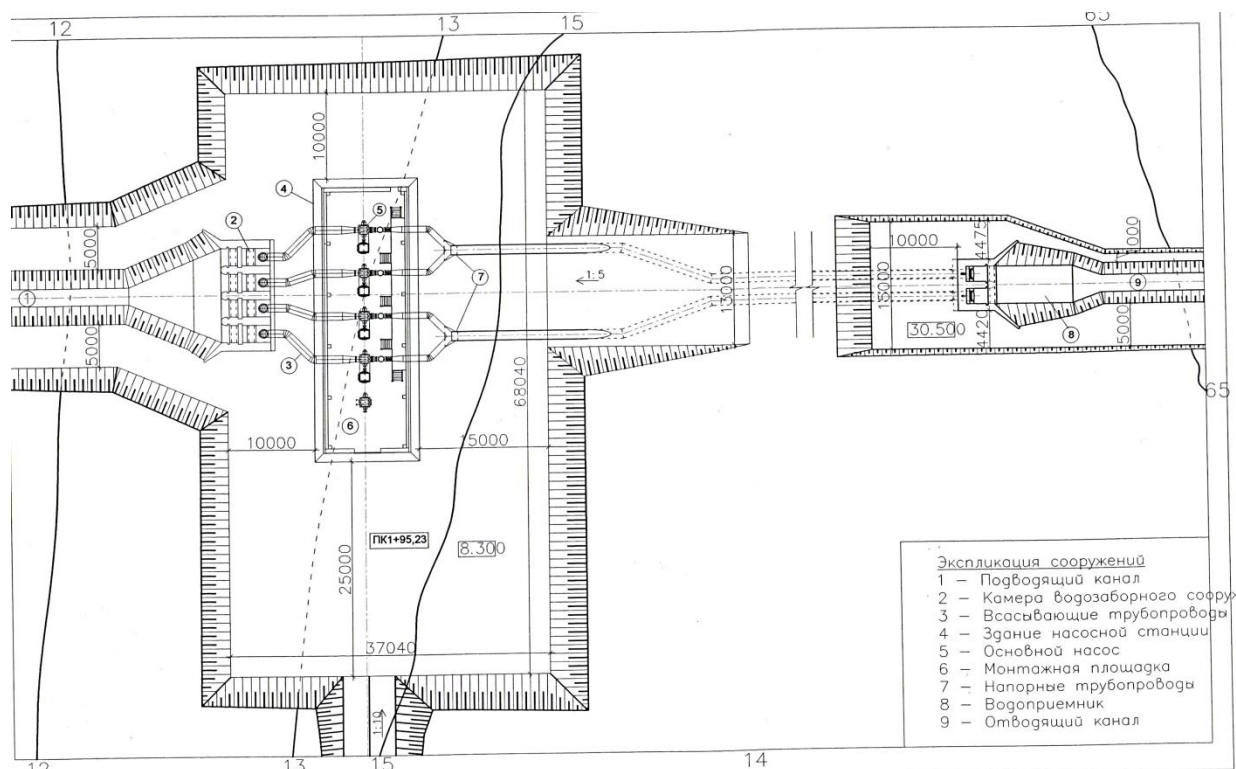


Рис. 16. Генплан водозаборного гидроузла с насосной станцией

Водозаборное сооружение в курсовом проекте принимаем раздельного типа с забором воды из канала для насосной станции наземного типа. Количество водоприемных камер и всасывающих труб принимаем по числу установленных насосов. Суммарный объем дотации составляет в выбранном варианте 70 млн. м³ при следующем распределении в течение года (табл. 25, рис. 17).

Таблица 25

Режим переброски и водоподачи из бассейна Донора

месяц	Дотация, млн. м ³	Изъятие из реки Доно- ра, млн. м ³	Расчетные расходы водозабора, м ³ /с
IV	0,00	0,00	0,00
V	7,00	7,70	2,87
VI	17,50	19,25	7,43
VII	24,50	26,95	10,06
VIII	14,00	15,40	5,75
IX	7,00	7,70	2,97
X	0,00	0,00	0,00
XI	0,00	0,00	0,00
XII	0,00	0,00	0,00
I	0,00	0,00	0,00
II	0,00	0,00	0,00
III	0,00	0,00	0,00
ГОД	70,00	77,00	2,42

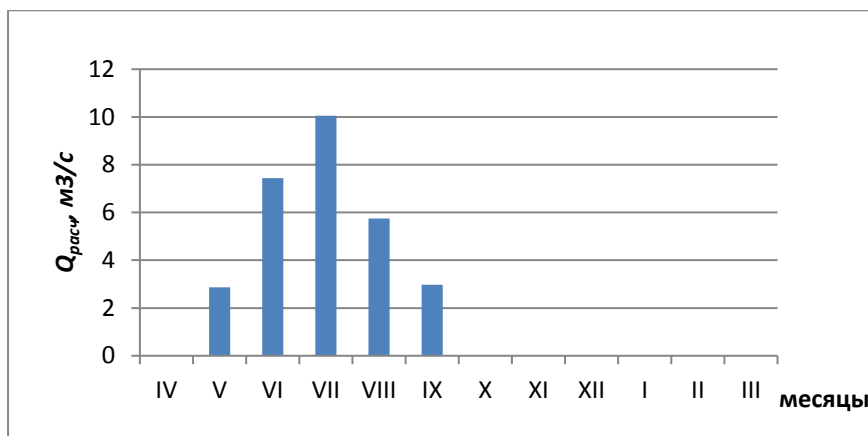


Рис. 17. Среднемесячные расходы водозабора из реки Донора

Расчетный расход одного насоса принимаем в размере минимальной ординаты графика водопотребления $Q_{расч} \approx 3 \text{ м}^3/\text{с}$. Число основных рабочих насосов определяем из условия покрытия максимальной ординаты графика водопотребления.

$$n = \frac{10,06}{3} = 3,35$$

Для обеспечения форсированного расхода и действий в аварийной ситуации принимаем 4 насосных агрегата, в случае отказа одного из них недодача на орошение не будет существенной. Число основных насосов $n = n_{раб} + n_{рез} = 3 + 1 = 4$. Напор насоса принимаем как сумму геодезического напора, местных потерь и потерь по длине. Принимаем суммарный напор $H_{нс} = 23 \text{ метра}$. Используя номограммы каталога [6] для подбора номенклатуры насосов (Рис. 18) выбираем центробежные горизонтальные насосы типа D 12500-24 (Рис. 19).

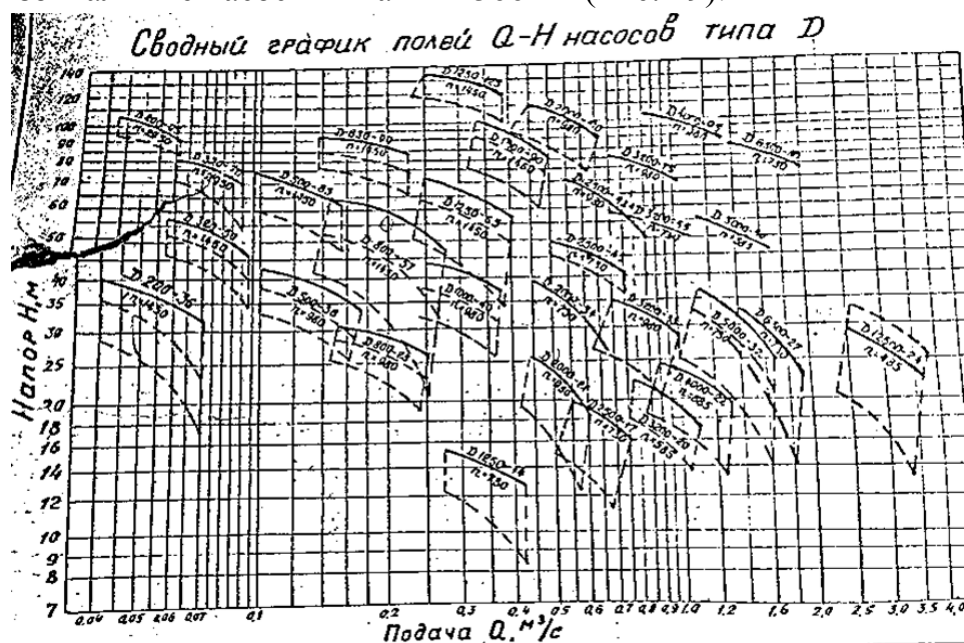




Рис. 19. Общий вид насоса

6.6 Компоновочные решения

Компоновка ватмана выполняется в соответствии с последовательностью проектных действий. Лист ватмана разбивается на несколько фрагментов, включая общую компоновку участников водохозяйственного комплекса; результаты водохозяйственного обоснования (анализирующие зависимости «емкость – отдача», «объем переброски – производительность водозабора», «суммарная полезная гарантированная водоотдача ВХС - объем проектных инвестиций» с обозначением рекомендуемого варианта, иллюстративный водохозяйственный баланс выбранного варианта); элементы технических решений по гидроузлу и водохранилищу; основные технико-экономические показатели проекта. Возможные варианты размещения компоновки показаны на листе А1 (приложения А и Б).

ПРОЕКТ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Для реализации проектных планов, связанных с дальнейшим развитием водопотребления запроектировано водохранилище многолетнего регулирования стока и канал переброски с параметрами, указанными в таблице 20. Запроектированная водохозяйственная система помимо основных гидротехнических сооружений включает водозаборные сооружения с насосной станцией на реке Доноре, водосбросные сооружения на главном гидроузле, станции водоподготовки и другие элементы ВХС в совокупности с объектами водохозяйственного комплекса.

Объем гарантированной водоотдачи системы в соответствии с перспективным водохозяйственным балансом оценивается в ... млн. м³. Гарантированные водные ресурсы распределяются между отраслями экономики и природным комплексом следующим образом:

КБХ - 2,00 млн. м³

Промышленность - 5,31 млн. м³

Регулярное орошение - 18,00 млн. м³

Комплексный попуск – 183,25 млн. м³

Суммарные инвестиции по проекту составили 25,91 млрд рублей

Эксплуатационные затраты – 2,20 млрд рублей

Индекс доходности (рентабельность) – 0,25

ЕЧД (ежегодный чистый доход) – 6,44 млрд. рублей

Количество воспроизведенных водных ресурсов

за счёт переброски и регулирования - 120 млн. м³ / год

себестоимость без мероприятий по очистке - 15,60 руб. / м³

Принимая во внимание указанные показатели, проект можно считать экономически оправданным.

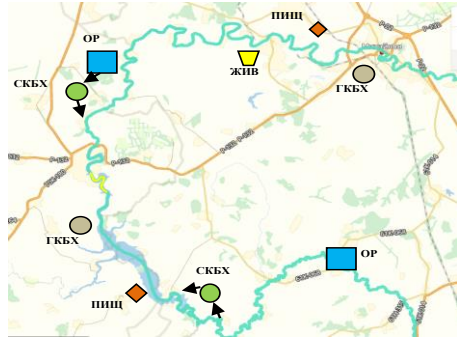
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водохозяйственные системы и водопользование. Учебник под общей редакцией Л. Д. Ратковича и В. Н. Маркина. – М.: Инфра-М. 2019. – 474 с.
2. Волков В.И. Конструкции входных оголовков трубчатых водосборов: учебное пособие / В. И. Волков; Московский государственный университет природообустройства. — Электрон. текстовые дан. — Москва, 2010 — 38 с. — Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. — Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/local/pr15.pdf>.
3. Воропаев Г.В., Исмайылов Г.Х., Федоров В.М. Развитие водохозяйственных систем. Методы анализа и оценка эффективности их функционирования. М.: Наука, 1989, 295 с.
4. Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). М., 2001 г, Минприроды РФ, Госком по рыболовству, РАН, Межведомственная ихтиологическая комиссия.
5. Ковалевский В.С. Комбинированное использование поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. - 332 с.
6. Каталог насосов, применяемых в мелиорации. – м.: Росоргтехводстрой МВХ РСФСР, 1988. – 229 с.
7. Косиченко Ю.М. Каналы переброски стока России, Новочеркасск: НГМА, 2004. — 470 с.
8. Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Глазунова И.В. Особенности методологии комплексного водопользования. Монография. М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Российский гос. аграрный ун-т - МСХА им. К. А. Тимирязева. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016.- 116 с.: ил.; 21 см.; ISBN 978-5-9675-1436-4
9. Моделирование водохозяйственных систем (эколого-экономические аспекты) под редакцией Пряжинской В.Г.- М.: ИВП РАН, 1992
10. Охрана подземных вод. Уч. пос., Жабин В.Ф., Козлов Д.В., Раткович Л.Д. – МГУП, 2010, 94 с., ISBN 978-5-89231-298-1, тир. 300 экз.
11. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 560 с.
12. Померанцев О.Н., Али М. С учебно-Методическое пособие к курсовому проекту насосы и насосные станции для студентов 4 курса дневной и заочной форм обучения, специальности мелиорация, рекультивация и охрана земель М., МГУП 2014. – 98с.
13. Рассказов Н.М., Букаты М.Б. Оценка ресурсов и запасов подземных вод. Учебное пособие. Томск. 2002 год. 48 с.
14. Раткович Л.Д., Маркин В.Н., Глазунова И.В. Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем. Монография. ФГБОУ ВПО МГУП, 2013, 258 с., ISBN 978-5-89231-415-2
15. Раткович Л.Д., Соколова С.А. Методические основы водохозяйственных расчетов при проектировании водохозяйственных систем. Учебное пособие. М.: МГУП, 2001, 114 с., ЛР № 020360 от 13.02.1998

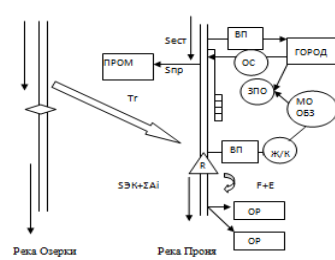
16. Раткович Л.Д., Соколова С.А. Водохозяйственная система с водохранилищем многолетнего регулирования стока и каналом межбассейновой переброски – учебное пособие. МГУП, 2006, 68 с., ISBN 5-89231-200-3 (гриф Министерства образования РФ).
17. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Постановление Госстроя России N 218 от 26 декабря 2003 г.
18. СП 104.13330 «СНиП 2.06.15-85 Инженерная защита территории от затопления и подтопления» СП 104.13330.2016 Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85
19. СП 39.13330.2012"СНиП 2.06.05-84* Плотины из грунтовых материалов" (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. N 635/18)
20. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Приказ от 26.01.2011 г. № 17.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПРОНЯ

КОМПОНОВКА УЧАСТНИКОВ ВХК В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

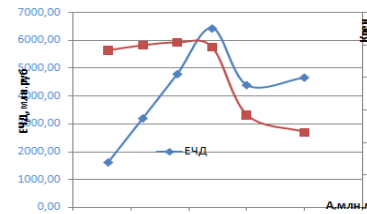


РАСЧЁТНАЯ СХЕМА ВХБ

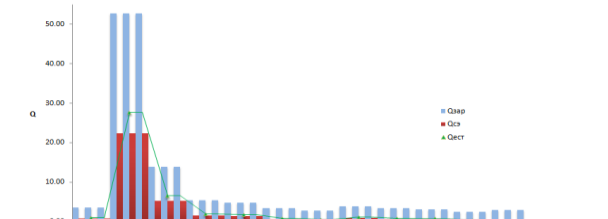


ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

АНАЛИЗИРУЮЩАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ ВЫБОРА ВАРИАНТА



ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ ВХБ НА УРОВНЕ 2020 ГОДА



Составляющие ВХБ	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Год
1 Озёр	0,98	27,68	6,56	1,94	1,66	0,85	0,53	1,11	0,84	0,75	0,34	0,47	41,88
2 Оса	3,59	52,72	13,83	5,40	4,82	3,33	2,50	3,80	3,37	3,10	2,50	2,87	102,12
3 Бест	0,79	22,36	3,10	1,37	1,34	0,69	0,43	0,89	0,68	0,59	0,17	0,24	35,05
4 Авар	3,39	52,72	13,83	5,40	4,83	3,33	2,80	3,80	3,37	3,10	2,19	2,24	101,48

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВХС

Параметры водохозяйственной системы (рекомендуемый вариант)

Полезный объем водохранилища — 328,63 млн. м³

Полный объем водохранилища □ 535,06 млн. м³

Отметка НПУ = 260 м (всплавляется по батиметрическим зависимостям)

Отметка УМО = 191 м

Отметка ФПУ = 261,9 м

Площадь зеркала при НПУ = 4,7 км²

Суммарная гарантированная полезная отдача водохранилища 238,56 млн. м³

В том числе санитарно-экологический попуск 183,23 млн. м³

Суммарная гарантированная полезная отдача ВХС 328,56 млн. м³

В том числе прирост гарантированной отдачи за счет регулирования и переброски стока 70 млн. м³

Объем инвестиций с учетом регулирования стока на минимальную отдачу ВХС:

Водохранилищный гидротехнический комплекс с учетом компенсации затопления 2447,3 млн. руб

Канал переброски и водозаборное сооружение в точке изъятия 1838,5 млн. руб

Отраслевые затраты на орошение 21600 млн. руб

Всего по ВХС 23906

Эксплуатационные затраты

Водохранилищный гидротехнический комплекс с учетом компенсации затопления 36,7 млн. руб

Канал переброски и водозаборное сооружение в точке изъятия 33,76 млн. руб

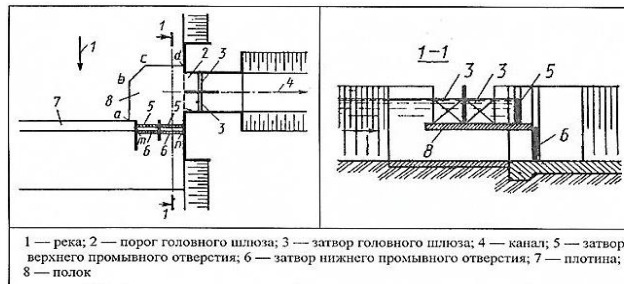
Отраслевые затраты на орошение 2160 млн. руб

Суммарно по ВХС 2196 млн. руб

Ежегодный чистый доход 6443,3 млн. руб

Количество воспроизведенных водных ресурсов за счет переброски и регулирования составляет 140,88 млн. м³, таким образом себестоимость кубометра гарантированных водных ресурсов составит 13,39 руб

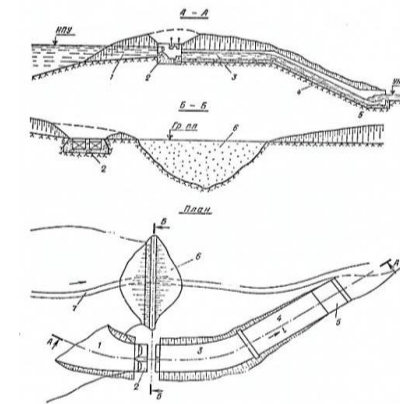
Поверхностный плотинный водозабор в канал переброски



1 — река; 2 — порог головного шлюза; 3 — затвор головного шлюза; 4 — канал; 5 — затвор верхнего промывного отверстия; 6 — затвор нижнего промывного отверстия; 7 — плотина; 8 — полук

* Особенность этого водозабора — наличие разделительной плиты — полка (8). Крупные наносы откладываются перед и под плитой (8). Они промываются в Н.Б. при открытии затворов (6). Мелкие наносы откладываются сверху на плите (8); они смываются в Н.Б. при открытии затворов (5). Таким образом, при открытии затворов (3) волнового шлюза в канал (4) поступает осветленная вода без наносов.

ОТКРЫТЫЙ БЕРЕГОВОЙ ВОДОСБРОС

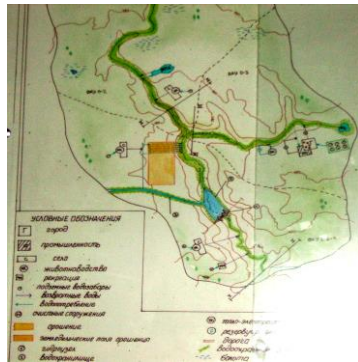


1 — подводящий канал; 2 — оголовок в виде водослива; 3 — отводящий канал; 4 — быстроток; 5 — концевая часть с гасителями энергии; 6 — грунтовая плотина; 7 — русло реки

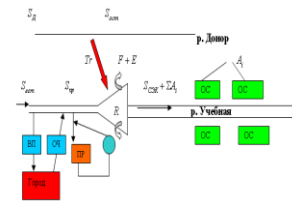
Приложение Б. Вариант компоновки ватмана № 2

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА В БАССЕЙНЕ РЕКИ УЧЕБНАЯ

КОМПОНОВКА УЧАСТНИКОВ ВХК
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ



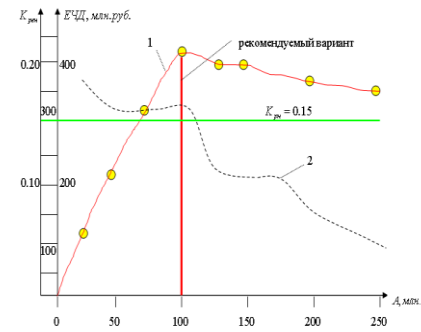
Расчетная схема



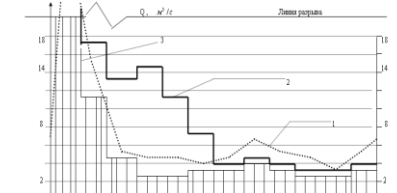
ВП – станция водоподготовки городского водозабора; ОЧ – очистные сооружения; ПР – промывочный объект с оборотной системой водоснабжения; ОС – существующие и проектируемые объекты орошения; Р – регулирование стока (работы, наполнение); F+E – потери на допотопительные участки с поверхности водохранилища и фильтрация в основании и береговых провалах.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Анализирующая зависимость для выбора



Иллюстративный ВХБ на

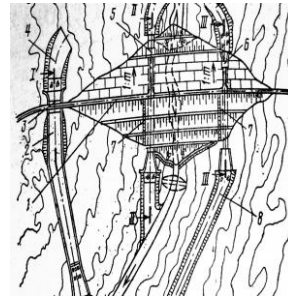


СОСТАВЛЕНИЕ ЦЕНЕВОЙ	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III	II	I	ТАК
1	718	152	500	400	400	420	470	610	400	420	300	400	354,0
2	857	174	1219	148	109	740	300	440	300	300	300	300	275,3
3	832	115	420	200	200	300	300	300	300	200	200	200	280,0
4	400	200	500	870	122	820	400	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	123,3

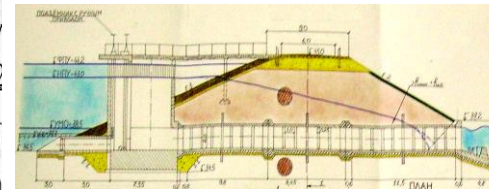
E_{opt} – оптимальный сток в створе плотины; E_{max} – максимальное регулирование; ВР – уровень дождевой и талогого стока бассейна; E_{min} – гарантированный сток; A_{opt} – оптимальная конструкция плотины в расчетном створе.

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

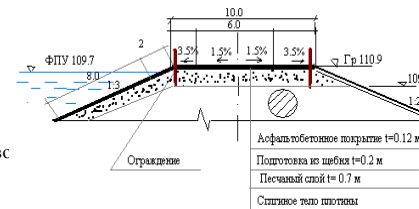
Генплан водохранилищного гидроузла (вариант)



Поперечный разрез плотины по оси шахтно - башенного водосброса (вариант)



Конструкция гребня плотины



1 – плотина; 2 – береговой открытый водосбор; 3 – водосливной порог; 4-подводящий канал; 5 – водоспуск; 6- водовыпуск; 7 – лестничные трапы низов откоса; 8 - канал

ПРАВИЛА УПРАВЛЕНИЯ

Диспетчерский график



ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВХС

Технико-экономические показатели ВХС

Увеличение объема водопользования в расчетном створе при реализации проекта водохозяйственной системы

Полный объем водопользования 115 млн. м³

$E_{max} = 69,5$

$E_{opt} = 106,5$

$E_{min} = 109,7$

$V_{opt} = 110,0$ км

Суммарная регулируемая и гарантированная водопользования 330 млн. м³

Из этого объема с учетом гарантированной водопользования 230 млн. м³

Продолжительность сток городского водосбора в среднем многолетнем устойчивом водопользовании в расчете 0,3 % объема водопользования 567 м³ в год

Продолжительность сток городского водосбора 0 м³ в год

Суммарная регулируемая и гарантированная водопользования 400 млн. м³

Из этого объема с учетом гарантированной водопользования на водосборный сток 115 млн. м³

Объем гарантированной водопользования с учетом гарантированной водопользования 600,0 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 743,3 млн. руб.

Объем гарантированной водопользования с учетом гарантированной водопользования 1440,0 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 2782 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 10,0 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 23,3 млн. руб.

Объем гарантированной водопользования с учетом гарантированной водопользования 144,0 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 188,3 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 130,0 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 410,0 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 308,8 млн. руб.

Водохозяйственный гидроузел с учетом гарантированной водопользования 11,2 млн. руб.

Приложение В -Требования к оформлению курсовых проектов

- 1 Оформление текстового материала (*ГОСТ 7.0.11 – 2011*)
- 2 Оформление ссылок (*ГОСТР 7.0.5*)
- 3 Оформление иллюстраций (*ГОСТ 2.105-95*)
- 4 Общие правила представления формул (*ГОСТ 2.105-95*)
- 5 Оформление таблиц (*ГОСТ 2.105-95*)

- 6 Оформление библиографического списка (*ГОСТ 7.1*)
- 7 Оформление графических материалов

Графическая часть выполняется на одной стороне белой чертёжной бумаги в соответствии с требованиями ГОСТ 2.301-68 формата А1 (594x841). В обоснованных случаях для отдельных листов допускается применение других форматов.

- 8 Оформление приложений (*ГОСТ 2.105-95*)
- 9 Требования к лингвистическому оформлению курсовой работы/проекта

Приложение Д- Примерная форма задания

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева

Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства
имени А.Н. Костякова

Кафедра Комплексного использования водных ресурсов и гидравлики

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Студент _____

Тема КП Водохозяйственная система регулирования и территориального перераспределения стока в бассейне реки Учебная

Исходные данные к работе Топографическая основа для компоновки ВХС, располагаемые водные ресурсы речного бассейна; удельные показатели стоимости создания водохозяйственных комплексов для развивающихся отраслей; балансовые формы для расчета режима регулирования стока и оценки параметров водохозяйственной системы; электронные таблицы для оценки сравнительных стоимостных показателей по вариантам.

Перечень дополнительного материала: данные водного кадастра, законодательные документы, интернет ресурс.

Дата выдачи задания «__» _____ 20__ г.

Руководитель (подпись, ФИО) _____

Задание принял к исполнению (подпись студента) _____
«__» _____ 20__ г.

Приложение Е -Примерная форма рецензии на курсовой проект
РЕЦЕНЗИЯ

на курсовой проект студента
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева»

Студент _____

Учебная дисциплина Проектирование ВХС

Тема курсового проекта

Полнота раскрытия темы:

Оформление

Замечания:

Курсовой проект отвечает предъявляемым требованиям и
заслуживает _____ оценки.
(отличной, хорошей, удовлетворительной, не удовлетворительной)

Рецензент _____
(фамилия, имя, отчество, уч.степень, уч.звание, должность, место работы)

Дата: « ____ » _____ 20 ____ г.

Подпись: _____

Приложение 3 – Примерное содержание проекта

Введение

1. Оценка располагаемых водных ресурсов речного бассейна

1.1 Назначение расчетных балансовых створов в соответствии со схемой водохозяйственного районирования.

1.2 Расчетные гидрологические характеристики поверхностного стока по длине реки.

1.3 Подземные водные ресурсы. Потенциальные запасы и эксплуатационные ресурсы.

1.4 Постворный водохозяйственный баланс и анализ водообеспеченности по длине реки.

2. Водохозяйственное обоснование проектных решений

2.1 Расчетная схема ВХС

2.2 Построение расчетной зависимости «емкость водохранилища – гарантированная водоотдача» по обобщенным параметрам стока и водопотребления.

2.3 Определение возможного объема и режима дотации части стока из внешнего речного бассейна для условий плотинного и бесплотинного водозабора.

3. Определение оптимальных показателей ВХС

3.1 Постановка задачи и методика решения задачи оптимизации.

3.2 Выбор варианта гарантированной водоотдачи в соответствии с установленными критериями.

3.3 Водохозяйственный баланс в створе гидроузла с учетом проектного регулирования и переброски стока.

3.4 Методика построения диспетчерского графика водохранилища многолетнего регулирования стока обобщенным методом.

3.5. Оценка продолжительности пускового периода до выхода водохранилища на проектную отметку.

4. Технические решения по выбранному варианту ВХС

4.1 Гидроузел, образующий водохранилище на основной реке.

4.2 Водозаборное сооружение с насосной станцией на реке Доноре.

4.3 Водосбросные сооружения.

5. Водохозяйственные и технико-экономические показатели водохозяйственной системы

Заключение

Список используемой литературы

Раткович Лев Данилович
Глазунова Ирина Викторовна
Соколова Светлана Анатольевна
Маркин Вячеслав Николаевич

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА С ТЕРРИТОРИАЛЬНО-
ВРЕМЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СТОКА**

Учебное пособие

Подписано в печать 12.03.2020 г. Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 4,5. Тираж 25 экз. Заказ 68.

Издательство РГАУ-МСХА
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44