

На правах рукописи

НИКИФОРОВА Дарья Александровна

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА
ЕМКОСТИ НАЛИВНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ**

Специальность 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА 2007

Работа выполнена в Московском государственном университете природообустройства на кафедре «Комплексное использование водных ресурсов»

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Раткович Лев Данилович

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор,
Исмайылов Габил Худуш Оглы

кандидат технических наук, доцент
Волынов Михаил Анатольевич

Ведущая организация – ЗАО ПО «СОВИНТЕРВОД»

Защита состоится 23 апреля 2007г. в 16ч. 30м. на заседании диссертационного совета Д 220.045.02 в Московском государственном университете природообустройства по адресу: 127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 19, аудитория .

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Московского государственного университета природообустройства.

Автореферат разослан «20» марта 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, доцент,
кандидат технических наук
Евдокимова

И.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Тема диссертации связана с методикой водохозяйственных расчетов. В нашем понимании, современные водохозяйственные расчеты (в дальнейшем ВХР) - это многоплановые расчеты в составе проекта (схемы КИОВР, ТЭО, ТЭД, ТЭР), имеющие целью обоснование комплексных водохозяйственных и водоохраных мероприятий. В числе мероприятий - регулирование стока водохранилищами, территориальное перераспределение стока, предотвращение вредного воздействия вод, сооружения в системе территориального вододеления и совместного управления водными ресурсами трансграничных и пограничных створов.

Теоретические основы водохозяйственных расчетов заложены выдающимися российскими учеными С.Н.Крицким, М.Ф.Менкелем и А.Д. Саваренским еще в 30-40 годы. В дальнейшем научными исследованиями в области гидролого-водохозяйственного обоснования занимались крупные отечественные ученые в области водного хозяйства и энергетики: А.Е.Асарин, К.Н.Бестужева, Е.Г. Блохинов, А.Л.Великанов, Я.Д.Гильденблатт, И.В.Гуглий, Г.Х.Исмайылов, Н.А.Картвелишвили, Д.В.Коренистов, Я.Ф.Плешков, Д.Я.Раткович, А.Ш.Резниковский, Г.Г.Сванидзе, некоторые другие специалисты.

Созданы новые направления, такие как стохастическая гидрология, имитационное моделирование водохозяйственных природных процессов на основе детерминистических и стохастических моделей. Тем не менее, теория водохозяйственных расчетов нуждается, как и любая наука, в перманентном совершенствовании и развитии. Развитие компьютерных технологий последних десятилетий ориентирует водохозяйственное обоснование проектных решений на широкое использование водохозяйственных моделей, метода статистических испытаний.

Критерием является инженерная практика, которая ставит перед проектировщиками многочисленные задачи, требуя надежных, быстрых и обоснованных решений в условиях комплексного водопотребления и, как правило, напряженного водохозяйственного баланса. Одно из инженерно-технических мероприятий водообеспечения – это регулирование стока водохранилищами. Как известно, регулирование речного стока – это перераспределение во времени объемов речного стока в одном из створов реки по сравнению с ходом поступления воды на поверхность водосбора. Сток регулируется путем накопления воды в водохранилищах при половодьях и паводках и расходования ее в период повышения потребления воды над ее естественным поступлением в реки с водосборов. Две главных задачи в таких расчетах – вычисление объема водохранилища (или нескольких при разветвленной водохозяйственной системе) и обоснование режима его работы.

В качестве темы диссертационной работы выбрано регулирование стока наливными водохранилищами. Наливные водохранилища достаточно распространенный тип сооружений для регулирования речного стока в тех случаях, когда нельзя или нецелесообразно размещать водохранилище непосредственно в русле реки. Методика расчета имеет свои особенности, учесть которые практически можно только с помощью компьютерного моделирования. Тема регулирования стока наливными водохранилищами мало изучена и специально не рассматривалась, несмотря на то, что данный тип водохранилищ реализован на многих конкретных объектах.

Наливные водохранилища могут быть образованы путем обвалования территории, представляющей естественную чашу для аккумуляции стока с замкнутой части водосбора. При этом ресурсы водохранилища формируются как со стороны водосбора, так и посредством водоподачи из зоны изъятия стока. Другой вариант связан с размещением регулирующей емкости в русле водотока, практически не имеющего собственных ресурсов для развития водопотребления, но располагающего топографическими возможностями для строительства водохранилища.

Цель и задачи исследований. *Цель диссертационных исследований* заключалась в разработке методики автоматизированного расчета параметров и режима регулирования стока в наливном водохранилище, работающем в условиях комплексного водопотребления.

Основная задача диссертации состояла в создании имитационной модели, позволяющей определять область оптимальных значений параметров водохозяйственной системы (в дальнейшем ВХС), включающей наливное водохранилище, на основе массовых компьютерных расчетов и аппроксимированных зависимостей стоимостных показателей от параметров тракта водоподачи и регулирующей емкости.

В процессе исследования решались следующие частные задачи:

1. Анализ литературных источников по методике водохозяйственных расчетов с целью разработки математической постановки задачи диссертации;
2. Разработка обобщенной методики расчета водохозяйственной системы с наливным водохранилищем;
3. Разработка имитационной модели по предлагаемой методике в составе следующих позиций:
 - 3.1 Разработка блочной структуры модели;
 - 3.2 Формирование структуры водохозяйственного баланса на основе балансовых уравнений в дифференциальной форме и в конечных интервалах времени;
 - 3.3 Разработка алгоритма многолетнего водохозяйственного баланса ВХС с наливным водохранилищем применительно к условиям многолетнего (сезонного) регулирования стока с учетом установленных критериев покрытия водопотребления;
 - 3.4 Построение и аппроксимация результирующей зависимости «емкость водохранилища – пропускная способность тракта водоподачи» путем среднеквадратического сглаживания по гиперболе экспериментальных точек;
 - 3.5 Построение зависимости стоимостных показателей ВХС от названных расчетных параметров, определение области оптимальных значений ВХС (выбор варианта);
 - 3.6 Формирование базы данных для имитационного эксперимента модели;
 - 3.7 Автоматизация процесса построения диспетчерского графика для управления водохранилищем;
 - 3.8 Формирование блока выходной информации и организация системы выдачи результатов.
4. Апробация модели на примере конкретных объектов.

Предмет и объект исследований. Предметом исследований является методика водохозяйственных расчетов для обоснования параметров наливных водохранилищ. В качестве метода исследований применен метод статистических испытаний на основе имитационной водохозяйственной модели.

В качестве объектов исследования рассмотрены: один из проектных вариантов регулирования стока р.Самур в Нижнесамурском водохранилище в Дагестане и водохранилище Полиатис в проекте ВХС «Северный конвейер» в республике Кипр. Выбор объектов обусловлен характерными особенностями водохозяйственных систем для иллюстрации предлагаемой методики.

Научная новизна работы. Разработана и реализована на компьютере обобщенная методика расчета параметров и режима регулирования стока в наливных водохранилищах с определением области оптимальных решений.

Выполненная работа является законченным этапом более общей разработки, которая предусматривает моделирование более сложных ВХС, более детального изучения динамики загрязнения наливного водоема, а также исследования возможностей использования наливной емкости для срезки высоких половодий и паводков.

Достоверность полученных результатов обусловлена методикой водохозяйственного расчета по многолетним рядам стока и водопотребления с

замыканием ряда по наполнению емкости на первом и последнем интервалах. Результаты имитационных экспериментов подтверждаются точечными расчетами по традиционной методике, а также совпадением расчетных показателей с данными проектных проработок.

Область применения модели ограничена только спецификой ВХС с одним наливным водохранилищем. В более сложных ситуациях она может служить основным расчетным блоком более общей модели. Для демонстрации диапазона использования модели рассмотрены два конкретных объекта с параметрами стока, отличающимися более чем на порядок. Так, например среднемноголетний сток Самура составляет порядка 2 км^3 , сток рек, наполняющих водохранилище Полиатис - около 35 млн. м^3 .

При высокой изменчивости водных ресурсов необходимо прибегать к сокращению расчетных интервалов времени, либо использовать специальную методику для снятия систематической ошибки (как это было сделано для проекта «Северный конвейер»).

Интерес к наливным водохранилищам достаточно высок, несмотря на довольно слабое освещение проблемы в технической литературе. Соответственно широка область научных исследований по этой проблеме. Разработанная модель будет совершенствоваться по мере накопления материалов и развития методики решения частных задач.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанная имитационная модель существенно снижает область поиска решений, повышает их надежность и позволяет сократить затраты времени при проектировании.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в реальном проектировании при решении вопросов регулирования стока в наливных водохранилищах разной функциональной направленности. Предложенная имитационная модель позволяет выполнять большой объем обосновывающих расчетов с малыми затратами времени, получая полную информацию о водообеспеченности потребителей в зависимости от сочетания параметров ВХС в области оптимальных значений.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертации неоднократно докладывались на научно-технических конференциях в Московском государственном университете природообустройства, в том числе на международной конференции в 2006 году. Диссертационная работа обсуждалась на заседаниях кафедры КИВР и кафедры гидрологии, гидрометрии и регулирования стока МГУП, изложена в ряде публикаций.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы, насчитывающего 93 наименования. Работа изложена на 162 страницах машинописного текста, иллюстрирована 34 рисунками, содержит 42 таблицы. Текст диссертации дополняют 28 страниц приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, изложена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе диссертации рассматривается методика водохозяйственных расчетов при определении емкости водохранилищ, выполнен обзор и проведен анализ литературных источников по теории регулирования стока. Проанализирована методика водохозяйственных расчетов по обобщенным параметрам стока и водопотребления и на основе многолетних рядов. Рассмотрены труды вышеназванных авторов, а также работы А.Ю.Александровского, Ю.М.Малисова, Д.М.Маматканова, Д.Н.Коробовой, В.И.Пойзнера и других исследователей, теоретические и экспериментальные исследования которых были направлены на описание, моделирование и управление процессов функционирования водохозяйственных систем, регулирование речного стока.

Наиболее часто применяемым и обязательным в качестве поверочного расчета является обобщенный метод расчета. Он же является основным инструментом

экспертного анализа. Суть расчетов этим методом заключается в определении регулирующей емкости водохранилища V в зависимости от задаваемого объема и режима гарантированной отдачи по обобщенным параметрам стока и водопотребления. Критерием служит обеспеченность удовлетворения требований. При наличии нескольких потребителей в качестве критерия следует использовать приведенную обеспеченность. *Приведенная обеспеченность* - 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.

$$P_{np} = \frac{\sum_1^n A_i \cdot P_i}{\sum_1^n A_i} \quad (1),$$

где A_i – расчетные требования к объему воды i -ого потребителя;
 P_i – обеспеченность удовлетворения требований i -ого потребителя.

При необходимости строгого учета глубины перебоев за пределами расчетной обеспеченности требования бесперебойности ужесточаются:

$$P_{np} = \frac{\sum_1^n [A_i \cdot P_i + A_{icc} \cdot (100 - P_i)]}{\sum_1^n A_i} \quad (2),$$

где A_{icc} – сокращенное водопотребление с учетом допустимой глубины перебоев.

Определение водохозяйственных показателей, включая емкость регулирования, по отдельным реальным или модельным годам приемлем только в малоответственных заданиях и для предварительных оценок, если нет данных увеличивающих располагаемую информацию. Более предпочтительным является обобщенный метод. Преимущество данного метода состоит еще и в том, что позволяет корректно сформулировать решаемую задачу, не углубляясь в детали, зачастую отводящие внимание от основной темы. Так объем руслового водохранилища зависит от среднемноголетнего объема стока, коэффициентов вариации и автокорреляции стока, обеспеченности покрытия, объема потерь и расчетное водопотребление.

$$V = f(\bar{S}, C_v, r_a, \varphi, P, W) \quad (3),$$

где \bar{S} - объем стока; C_v - коэффициент вариации; r_a - коэффициент автокорреляции стока; P - обеспеченность покрытия; W - объем потерь и отдача из водохранилища; φ - условный параметр режима стока внутри года.

Проектирование и эксплуатация водохранилищ, в число потребителей которых входит орошение земель в зоне неустойчивого увлажнения, осложнены из-за отсутствия обоснованной методики для расчета зависимости полезная емкость - обеспеченность - водоотдача при переменной потребности в воде, зависящей от естественного увлажнения почвогрунтов. В таких случаях водопотребление для всех лет гидрологического ряда либо принимается соответствующим одной из трех категорий естественной увлажненности (влажный, средний и засушливый год), либо по индивидуальной для каждого года величине, обычно определяемой в соответствии с суммой осадков за вегетационный период. По результатам расчетов строятся зависимости: емкости водохранилища от обеспеченности удовлетворения заданных требований на воду и допустимого ограничения водопотребления в перебойные годы; максимального попуска из водохранилища или пропускной способности тракта водоподачи от обеспеченности удовлетворения заданных требований. В диссертации учтена данная особенность водохозяйственного расчета.

При разработке ответственных проектов оценка водохозяйственной обстановки не может ограничиваться экспертными методами по причине индивидуальности ВХС и большого числа факторов, влияющих на решение. Так аналитическое решение, даже для

случая независимого регулирования стока одиночным водохранилищем, имеет ограниченную область использования.

Номограммы для определения многолетней составляющей емкости водохранилища, построены Я.Ф.Плешковым по методике С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля в предположении об отсутствии связи между стоками смежных лет гидрологического ряда. В дальнейшем И.В.Гуглий, также используя методику сложения кривых обеспеченности наполнения, получил номограммы с учетом внутривременной связи для $r = 0.3$. Позднее аналогичные номограммы с более полным диапазоном изменения показателя авторегрессии, но при различных стохастических моделях стока (разные модификации Марковского процесса) были получены Н.А. Картвелишвили, Д.Я. Ратковичем и Г.Г. Сванидзе. Все эти номограммы не учитывают фактора глубины перебоев за пределами расчетной обеспеченности. Формальное использование приведенной обеспеченности, как показывают расчеты, приводит к систематической ошибке. Другим минусом метода является определение сезонной составляющей по параметрическим формулам. Сложность здесь состоит в определении границ лимитирующего периода и, главное, в учете переменного водопотребления в течение года. Отметим, что построение подобных номограмм для случая наливной емкости, по крайней мере, на одну переменную (пропускную способность подводящего тракта) больше, чем в случае руслового водохранилища.

Несомненное преимущество по сравнению с обобщенным методом представляют водохозяйственные модели, которые уже более 20 лет используются для водохозяйственного обоснования. Имитационная модель, по существу является компьютерной реализацией процесса функционирования водохозяйственной системы, каждое состояние которой характеризуется своей комбинацией переменных. Изменяя переменные, можно моделировать переход системы из одного состояния в другое. Главное достоинство имитационных водохозяйственных моделей в том, что они предоставляют широкие возможности для анализа ситуации при различных сценариях функционирования ВХС.

Оптимизационные модели, базирующиеся на методике линейного и динамического программирования, в большинстве случаев действуют по принципу «черного ящика» и поэтому значительно уступают имитационным с точки зрения эффективности и надежности. Субъективны и критерии оптимальности – показатели, выражающие предельную меру для сравнительной оценки возможных решений и выбора наилучшего из них. При решении оптимизационных задач за критерий оптимальности обычно берут целевую функцию. Модель состоит из целевой функции, ограниченной условиями задачи, и ограничений, характеризующих эти условия.

При использовании динамического программирования необходимо, прежде всего, представить задачу распределения в виде последовательного процесса распределения или многошаговой процедуры принятия решений.

Модели водохозяйственного планирования, решаемые методом динамического программирования, имеют нелинейную целевую функцию и линейные ограничения. Если же целевая функция и ограничения линейны, то для решения таких задач более эффективно применять линейное программирование. То, что методы линейного программирования «готовы к употреблению», привело к стремлению рассматривать многие задачи водохозяйственного проектирования как линейные. Линейное программирование применяется для определения гарантированной отдачи водохранилища и управления качеством воды.

Учитывая вышеизложенное и значительный срок использования моделирования, как метода исследования, следует констатировать, что наиболее рациональный путь – это имитационные модели, включающие блоки оптимизации. Такие попытки предприняты, в частности, в представленной работе.

Вторая глава посвящена особенностям расчета наливных водохранилищ на комплексную водоотдачу, факторам, влияющим на величину регулирующей емкости, а также определению емкости водохранилища в режиме имитации.

Особенности проектирования и расчета наливных водохранилищ на комплексную водоотдачу.

Проблема создания наливного водохранилища многофакторная. Возникает значительное количество вопросов, проблемных как с гидротехнической точки зрения, так и с позиции регулирования стока. Природно-технические особенности объекта проектирования, такие как подземное питание ложа, параметры гидродинамической модели используемой части водосбора, интенсивность испарения с зеркала водохранилища и фильтрации в основании и береговых примыканиях, интенсивность поступления наносов с регулируемым и нерегулируемым притоком. Но в отличие от подпертых бьефов, равнинных и горных водохранилищ, заиление емкости наливных водохранилищ происходит под влиянием только той воды, которая аккумулируется в водохранилище, а не всего стока воды и стока наносов.

Перечисленные аспекты по возможности учтены в работе, однако научная направленность связана с определением емкости и режимом регулирования стока в предположении, что указанные выше проблемы в принципе решены в период изысканий и на предпроектной стадии.

В водохозяйственной части проектного обоснования необходимо рассмотреть водохозяйственную обстановку в зонах изъятия стока и его использования при центральной задаче регулирования объемов воды в водохранилище.

Оценка допустимого изъятия

При решении первой проблемы необходимо установить возможный объем изъятия, когда не наносится невосполнимый ущерб бассейну реки донора, и обеспечиваются санитарно-экологические попуски ниже створа водозабора. Методика подобных расчетов изложена в работах Вельнера Х.А., Каска А.Г., Хосровянца И.Л., Кефели Ф.Ф., Гатилло П.Д., Филиппович И.М., Фашевского Б.В., Дубининой В.Г., Шахова И.С. и других авторов. Методология вопроса изложена в рассматриваемой главе диссертации.

Другим ограничением возможного изъятия является пропускная способность канала или водовода, подводящего воду к водохранилищу. Определяющим фактором здесь является тип водозабора. Бесплотинный водозабор сдерживает отбор более чем (25-30%) живого тока. Плотинный водозабор снимает данное ограничение. При этом пропускная способность обусловлена геометрическими размерами и уклоном тракта водоподдачи, при подъеме воды – производительностью насосных станций.

Определение емкости наливного водохранилища в режиме имитации

Задача решается на основе водохозяйственного баланса, определяющего текущий гарантированный объем воды и многолетнюю водообеспеченность. Для разработки водохозяйственного баланса должны быть определены проектные объемы водопотребления и установлены критерии удовлетворения требований водопотребителей. Методика этих операций отработана достаточно четко в многочисленных водохозяйственных проектах.

Очевидно, что решить задачу одним просчетом невозможно. Поэтому необходима пошаговая итерация. В ходе итераций путем планируемого перебора вариантов варьируемых параметров (емкости регулирования, пропускной способности тракта водоподдачи, технических решений по водозабору, объему и режиму остаточного стока в реке-доноре) определяется зависимость регулирующей емкости водохранилища от заложенного водопотребления и параметров ВХС. Каждому сочетанию параметров соответствует свое значение показателя стоимости. Располагая достаточным объемом информации для построения названной зависимости, можно определить область оптимальных решений для выбора окончательного варианта.

В процессе водохозяйственного обоснования проектов необходимо разрабатывать развернутую структуру водохозяйственного баланса, в ряде случаев целесообразно дополнять водохозяйственные балансы специальными графиками и таблицами, характеризующими многолетний режим регулирования и распределения водных ресурсов. Разработка водохозяйственной модели предусматривает систему критериев удовлетворения требований потребителей, режим регулирования стока существующими и проектируемыми водохранилищами, необходимость обеспечения отраслевых и режимных попусков, вариантность принципиальной схемы водохозяйственных мероприятий и конкретного экономического и водохозяйственного эффекта в пределах возможностей принятой схемы. Основным алгоритм – многолетний баланс с замыканием ряда по объему наполнения водохранилища на начало и конец многолетнего ряда.

С помощью предлагаемой имитационной модели мы посредством массовых расчетов устанавливаем соотношение между основными характеристиками гидроузла: емкостью водохранилища, количеством воды, предоставляемой потребителям, и обеспеченностью отдачи. Расчетная обеспеченность отдачи характеризует надежность водообеспечения потребителей. Чаще всего расчетная обеспеченность характеризуется в процентах, как вероятность числа бесперебойных лет, в течение которых потребители удовлетворяют водой полностью.

$$P = \frac{N - m}{N + 1} \cdot 100 \% \quad (4),$$

где N – длина расчетного ряда ; m – число перебойных лет

Правила управления водохранилищем

Расчетная обеспеченность отдельных участников водохозяйственного комплекса характеризует работу комплексного гидроузла в режиме нормальной водоотдачи. В нормальном режиме эксплуатации потребители получают то количество воды, на которое рассчитаны их производственные мощности и план выпуска продукции. Гидроузел при этом обеспечивает гарантированную отдачу, т.е. такую, которая с заданной обеспеченностью удовлетворяет требования потребителей в воде за многолетний период. Но обеспечение гарантированной отдачи - лишь одна из функций водохранилища. Кроме режима нормальной водоподачи различают режимы работы в условиях дефицита водных ресурсов и их избытков. Режим работы в условиях дефицита воды приводит к экономическим ущербам, величина которых зависит от размеров дефицита.

В этой связи возникает необходимость заблаговременного опорожнения водохранилища перед многоводным периодом и экономии потребления воды перед ожидаемым маловодьем. Поэтому разрабатываются специальные правила управления работой водохранилищ, ядром которых являются диспетчерские графики. Пользуясь диспетчерским графиком, можно определить отдачу из водохранилища в конкретных условиях по величине текущего наполнения и ряду других показателей. Проблема построения диспетчерских правил исследовалась на протяжении многих лет Асариным А.Е., Бестужевой К.Н., Резниковским А.Ш., Рубинштейн М.И., развивавшими теорию управления водохранилищами крупнейших гидроузлов и каскадов водохранилищ.

Диспетчерский график - зависимость, построенная в координатах время - объем (уровень) воды в водохранилище, представляющая собой серию кривых, которые делят емкость водохранилища на отдельные зоны, соответствующие вышеперечисленным функциям водохранилища: гарантированной отдачи, урезанной отдачи, максимального использования стока, безопасности сооружений. Пользуясь диспетчерским графиком, можно получить конкретную рекомендацию по назначению отдачи из водохранилища, имея только один управляющий параметр - уровень. Имеются примеры, когда правила управления строятся с учетом прогноза водности предстоящего половодного периода (ВКК, Цимлянский гидроузел).

Правила управления наливным водохранилищем строятся на тех же принципах. В диссертационной работе принята двухзонная структура диспетчерского графика, которая и заложена в алгоритме модели. Включение алгоритма построения диспетчерского

графика в модель в нашем случае имело целью не только автоматизировать процесс, но и сблизить проектный и эксплуатационный варианты – в эксплуатационном случае добиться водообеспеченности, близкой к проектным требованиям.

Потери из водохранилища

Водохранилище, регулируя речной сток, расходует воду для снабжения потребителей (полезное водопотребление), частично теряет ее на испарение с водной поверхности, фильтрацию и льдообразование. Потери воды на испарение с поверхности водохранилища в южных районах страны достигают иногда половины полезного объема. Нельзя не учитывать потери на фильтрацию, т.к. напор воды, равный разности отметок бьефов, создает постоянно действующую силу, под влиянием которой происходит фильтрация через плотину, под плотиной и в берегах, в обход плотины. Фильтрационные потоки уменьшаются при уменьшении уровня верхнего бьефа, но достигают часто 20 - 30% за год от среднего объема воды в водохранилище. Фильтрация из водохранилища - очень сложное и малоизученное явление. Задача тем более усложняется в случае наливной емкости.

Потери на фильтрацию под плотину и в обход ее определяются по известной методике в соответствии с теорией движения грунтовых вод. Потери воды через тело земляной плотины подсчитываются по формулам Н.Н. Павловского, а через уплотняющие устройства затворов - по обычным формулам гидравлики. При определении фильтрации из водохранилищ необходимо опираться на результаты гидрогеологических исследований и расчетов. Вопросы методики расчета подземной фильтрации из водохранилищ приводятся в работах Шипенко А.А., Биндемана Н.Н., Нифантова В.И., Замарина Е.А. и др. Для менее ответственных случаев величина фильтрации при проектировании должна учитываться по аналогии с существующими водохранилищами, находящимися в сходных гидрогеологических условиях.

Располагая данными об интенсивности фильтрационных потерь в зависимости от напора, то есть текущего наполнения водохранилища, в балансовое уравнение вносится величина потерь, как произведение слоя потерь для данного момента времени на текущее значение площади зеркала.

Аналогично учитываются в расчетах баланса потери на испарение. В отличие от руслового водохранилища нужно определять видимое испарение (разницу между испарением с водной поверхностью и осадками на площадь зеркала), а не дополнительное.

За основу расчета слоя испарения принята обобщенная формула, полученная Б.Д.Зайковым, А.П.Браславским и Э.А.Видулиной, и методика расчета входящих в эту формулу параметров, основанная на использовании метода теплового баланса с учетом трансформации метеорологических элементов над водной поверхностью.

Данная формула для E_v мм/сут. имеет вид

$$E_v = 0,14(e_0 - e_{200})(1 + 0,72 * w_{200}) \quad (5),$$

где e_0 — максимальная упругость пара при температуре поверхности воды, мб; e_{200} , w_{200} - влажность воздуха (мб) и скорость ветра (м/с) на высоте 200 см над поверхностью воды.

Для малых водоемов, с площадью зеркала до 5 км²:

$$\bar{E}_e = E_{20} * K_n * K_z * \beta \text{ мм/год}, \quad (6),$$

где E_{20} - испарение с бассейна площадью 20 м², определяемое по многолетним наблюдениям или по карте; K_n , K_z , β - поправочные коэффициенты на глубину, защищенность и площадь водоема.

Если в общем водном балансе водохранилища потери незначительны, они учитываются упрощенно и принимаются в размере их среднего многолетнего слоя.

Потери воды на льдообразование представляют собой количество льда, осевшего на берегах при зимней сработке водохранилища. Потери воды на льдообразование исчисляются по формуле:

$$Q_{л} = \frac{(F_{ни} - F_{ки}) h_{ли} a}{\Delta t_i} \quad (7),$$

где $F_{ни}$ и $F_{ки}$ - площадь зеркала водохранилища в начале и конце расчетного интервала времени Δt_i ; $h_{ли}$ - толщина льда в расчетном интервале времени Δt_i ; a - отношение плотностей воды и льда; обычно принимается равное единице.

Толщина льда задается для каждого расчетного интервала всех лет расчетного ряда. При отсутствии зимней сработки водохранилища или при зимнем его наполнении потерь воды на льдообразование нет. Потери воды на льдообразование являются полностью возвратными, т.е. лед, осевший зимой на берегах водохранилища, весной тает и увеличивает водные ресурсы.

Влияние режима наносов на эффективность регулирования

Как и в случае руслового водохранилища существует проблема отложения наносов в водохранилище, что приводит к заилению емкости и снижению регулирующей способности водохранилища. В конструкции водозаборного сооружения необходимо предусматривать возможность задержания наносов, а водохранилище должно быть обеспечено системой опорожнения как в аварийных ситуациях, так и с целью плановой очистки от донных отложений. Кроме того, должен быть установлен мертвый объем с проектным сроком заиления.

В третьей главе представлено описание имитационной модели, даются инженерная и математическая постановки задачи, описание алгоритма имитационной модели водохозяйственной системы наливного водохранилища, порядок работы и результирующая выдача.

Инженерная постановка задачи

Инженерная постановка задачи формулируется следующим образом: «Определить полезный объем и рассчитать режим регулирования стока в наливном водохранилище, которое является гарантом водообеспечения водохозяйственного комплекса при наименьших затратах на создание водохозяйственной системы. Водопотребление определяется суммарным объемом запроса водопотребителей, входящих в состав комплекса. За основной критерий удовлетворения количественных требований к воде принимается приведенная обеспеченность (формулы 1, 2). Кроме того, в модели вводится поверочный критерий надежности R (RELIABILITY), используемый в ряде зарубежных проектов. Данный показатель фиксирует объем гарантированной воды, переданной потребителю за многолетие, в долях гарантированной отдачи. Резервом водных ресурсов в зоне изъятия считается объем воды, при котором остаточный сток реки обеспечивает хозяйственные и экологические потребности бассейна-донора».

Рассматриваемая ВХС состоит из трех основных объектов: водоток, из которого забирается вода, тракт водоподачи к наливному водохранилищу, водохранилище, водохозяйственный комплекс.

Математическая постановка задачи

Соответствующая инженерной постановке расчетная схема включает водный объект, из которого забирается вода, водохранилище и условный комплексный потребитель W (рис.1):

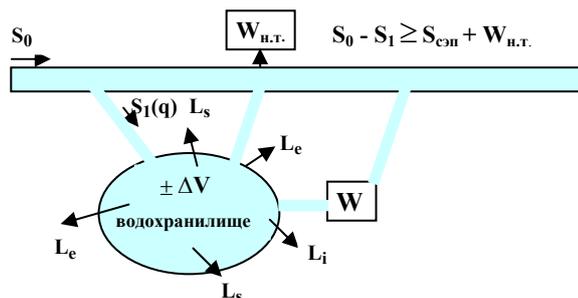


Рис. 1. Расчетная схема имитационной модели

S_0 – приток к створу изъятия; $S_{сэп}$ – санитарно-экологические попуски; q – пропускная способность тракта; $W_{нт}$ – водопотребление в нижнем течении; S_1 – объем притока к водохранилищу с учетом возможного изъятия и пропускной способности тракта водоподачи; $\pm \Delta V$ – регулирование притока; W – комплексное водопотребление; $L_e = w_{зеп} \cdot h_e$ – потери на испарение; где $w_{зеп}$ – площадь зеркала; h_e – интенсивность видимого испарения; $L_s = w_{зеп} \cdot h_s$ – потери на фильтрацию; h_s – интенсивность фильтрации на момент стабилизации гидравлического режима после окончания строительства водохранилища; $L_i = w_{зеп} \cdot h_i$ – потери на льдообразование; h_i – толщина льда.

На схеме показаны также система аварийного опорожнения емкости и система сброса излишков воды и сточных вод водохозяйственного комплекса.

Обобщая уравнение (3) для случая наливной емкости, получаем

$$V = f(Q_p, Q_{ост}, Q_{мп}, \bar{S}, C_v, r_a, \varphi, P, W) \quad (8),$$

где Q_p – речной сток; $Q_{ост}$ – остаточный расход или транзитный попуск ниже створа изъятия; $Q_{мп}$ – пропускная способность тракта водоподачи к водохранилищу; \bar{S} – объем реального притока в водохранилище, характеризующийся усеченной кривой распределения вероятностей; C_v – показатель изменчивости притока к водохранилищу; r_a – показатель авторегрессии притока; φ – параметр внутригодового распределения притока к водохранилищу; P – обеспеченность удовлетворения требований; W – гарантированная отдача водохранилища.

Очевидно, что параметры притока помимо естественных закономерностей, несут влияние проектных решений как с точки зрения санитарно-экологического состояния зоны изъятия, так и пропускной способности тракта.

Уравнение водохозяйственного баланса

Для описания режима сработки – наполнения водохранилища в диссертации использовано уравнение водохозяйственного баланса в дифференциальной форме (без учета функции потерь на льдообразование, существенно усложняющей форму записи, но не имеющей принципиального значения):

$$[q(t) - Q(t)] \cdot dt = dV + \omega(H) \cdot [h_e(t) + h_s(H)] \cdot dt \quad ;$$

принимая, что элементарное приращение объема в водохранилище $dV = \omega(H) \cdot dH$

получаем :

$$\frac{dV}{dt} = q(t) - Q(t) - \omega(H) \cdot [h_e(t) + h_s(H)] \quad , \quad \text{или}$$

$$\omega(H) \cdot \frac{dH}{dt} = q(t) - Q(t) - \omega(H) \cdot [h_e(t) + h_s(H)]$$

где $H(t)$ – неизвестная функция отметки наполнения

где: $V(H)$ - функция текущих объемов водохранилища; $\omega(H)$ - батиграфическая функция площади зеркала; $Q(t)$ - гидрограф комплексного водопотребления; $h_s(H)$ – интенсивность фильтрации на момент стабилизации гидравлического режима после окончания строительства водохранилища (м/с); $q(t)$ – функция водоподачи в водохранилище с учетом пропускной способности тракта; $h_e(t)$ - интенсивность видимого испарения (м/с).

Решение приведенного выше нелинейного дифференциального уравнения не имеет практического значения, поэтому в основе расчетов лежит уравнение водохозяйственного баланса для конечных интервалов времени:

$$S_1 \pm \Delta V - L_s - L_e - L_i - W = 0 \quad (10),$$

где S_1 - объем притока к водохранилищу с учетом возможного изъятия из реки и пропускной способности тракта водоподачи, m^3 ; $\pm \Delta V$ – регулирование притока, m^3 ; L_s – потери на фильтрацию, m^3 ; L_e – потери на испарение, m^3 ; L_i – потери на льдообразование, m^3 ; W – комплексное водопотребление, m^3 . Уравнение (10) исключает холостые сбросы, исходя из того, что при полном наполнении емкости водоподача прекращается, а сток пропускается транзитом по реке.

Для большей части водохозяйственного года принимаются месячные интервалы времени, а в период высоких вод выполняется разбивка на декадные, при высокой неравномерности на пентадные и суточные интервалы.

Формализация математической постановки задачи представлена ниже.

$$\begin{cases}
 Z = K(V, q) \rightarrow \min - \text{функционал в задаче оптимизации,} \\
 \text{принимается по капитальным затратам, где} \\
 V = f(q, P_{np}) - \text{объем водохранилища ищется как функция от пропускной способности} \\
 \text{и установленных критериев покрытия} \\
 \text{Ограничения в задаче:} \\
 W_{i \min} < W_i < W_{i \max} - \text{водопотребление } i - \text{го потребителя в каждом интервале времени} \\
 P_{\phi}(W_i \geq W_{i \text{зад}}) \geq P_i - \text{фактическая вероятность превышения проектных} \\
 \text{требований } i - \text{го потребителя должна быть не меньше его проектной} \\
 \text{обеспеченности покрытия по числу бесперебойных лет;} \\
 \text{это требование заменяется эквивалентным требованием} \\
 \text{по приведенной обеспеченности} \\
 P_{\phi}(W \geq W_{\Sigma}) \geq P_{np} \\
 R_{\phi i} \geq R_{np i} - \text{надежность многолетнего водообеспечения комплекса} \\
 V_{\text{умо}} \leq V \leq V_{\text{max}} - \text{объем водохранилища не может быть} \\
 \text{больше максимальной топографической емкости}
 \end{cases}$$

где q – пропускная способность тракта; P_{ϕ} – фактическая обеспеченность; P_{np} – приведенная обеспеченность; V – объем водохранилища; K – капитальные затраты; Z – целевая функция, зависимость капитальных затрат от объема водохранилища и пропускной способности тракта водоподачи.

В число критериев модели добавлена многолетняя надежность водообеспечения, достаточно широко применяемая за рубежом.

$$R = \frac{1}{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N W_{\phi i}}{W_{np}} \quad (11),$$

где $W_{\phi i}$ – фактическая отдача водохранилища в i -ом году, не превышающая проектного значения гарантированной отдачи W_{np} , R – «reliability» – надежность водоподачи.

Очевидно, что аналитическое решение данной задачи практически невозможно. Единственным способом является вариантный расчет с помощью имитационной модели.

Блок – схема корректируется в соответствии с реальным числом позиций, представлена на рис.2.

Функция затрат, принятая в данной версии модели, быть представлена в следующем виде:

$$K(V, q) = K_{\text{в}}(V) + K_{\text{тр}}(q) \quad (12).$$

Суммарные затраты складываются из локальных затрат по водохранилищу $K_{\text{в}}(V)$ и по созданию тракта водоподачи $K_{\text{тр}}(q)$. Зависимость $K = f(V)$ аппроксимирована линейной функцией методом наименьших квадратов, ориентируясь на рекомендации И.С.Шахова.

$$K_{\text{в}} = a \cdot V + b$$

$$D = \sum_{i=1}^n (a \cdot V_i + b - K_i)^2 \rightarrow \min :$$

$$\begin{cases}
 \frac{\partial D}{\partial a} = 0 \\
 \frac{\partial D}{\partial b} = 0
 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n V_i^2 + b \sum_{i=1}^n V_i - \sum_{i=1}^n K_i V_i = 0 \\ a \sum_{i=1}^n V_i + b \cdot n - \sum_{i=1}^n K_i = 0 \end{cases}$$

где K_i , V_i – соответственно капитальные вложения и полные объемы по рассматриваемой группе водохранилищ.

$$K_g = 0.0476 \cdot V + 7.567$$

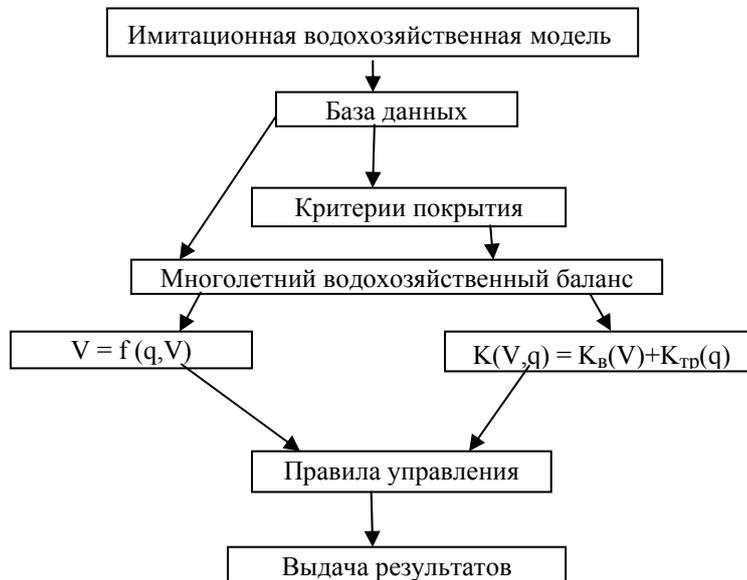


Рис. 2. Блок-схема имитационной модели

Стоимость подводящего тракта напрямую связана с его пропускной способностью и зависит, в общем, от тех же факторов, что и стоимость водохранилищ. Кроме этого влияет само конструктивное решение - канал, туннель, трубопровод. Как уже отмечено, в диссертации использованы рекомендации по определению капитальных затрат в случае территориального перераспределения стока (И.С.Шахова «Водные ресурсы и их рациональное использование» Екатеринбург, 2000г.) В частности капитальные затраты на один километр трассы составляют:

$$K = 57 \cdot q^{1.27} - \text{для напорного водовода, тыс. руб} \quad (13).$$

$$K = 8.26 \cdot q^{1.27} - \text{для канала}$$

$$\text{Для трубопровода: } K_{\Sigma} = K_g + K_{mp} = 0,0476 \cdot V + 7.567 + 57 \cdot L \cdot q^{1.27}$$

$$\text{Для канала: } K_{\Sigma} = K_g + K_{\kappa} = 0,0476 \cdot V + 7.567 + 8,26 \cdot L \cdot q^{1.27}$$

где L - длина подводящего тракта, км.

Технико-экономический расчет выполняется на основании кривой, все точки которой дают один и тот же водохозяйственный эффект при различных сочетаниях пропускной способности q и емкости V . В ряде случаев можно аппроксимировать функцию $q = f(V)$ с помощью гиперболической зависимости среднеквадратическим сглаживанием.

$$\frac{q_i}{q_{\max}} = \frac{m}{V_i / V_{\max}}$$

где m – произвольная константа, определяющаяся в результате аппроксимации; q_{\max} и V_{\max} – максимальные значения q и V из результатов эксперимента.

Среднеквадратическое сглаживание выполняется по серии экспериментальных точек.

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{q_i / q_{\max}}{V_i / V_{\max}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(V_i / V_{\max})^2}}$$

Таким образом, определяются зависимости, необходимые для решения оптимизационной задачи.

На основе большого объема имитационных расчетов и волевых решений проектировщика назначаются рациональные параметры водохозяйственной системы. Для выбранного варианта разрабатывается диспетчерский график, при построении которого рассматриваются годы с наибольшими дефицитами, после чего заново пересчитывается водохозяйственный баланс, но уже с учетом диспетчерского графика.

Структурная схема модели представлена на рис.3.

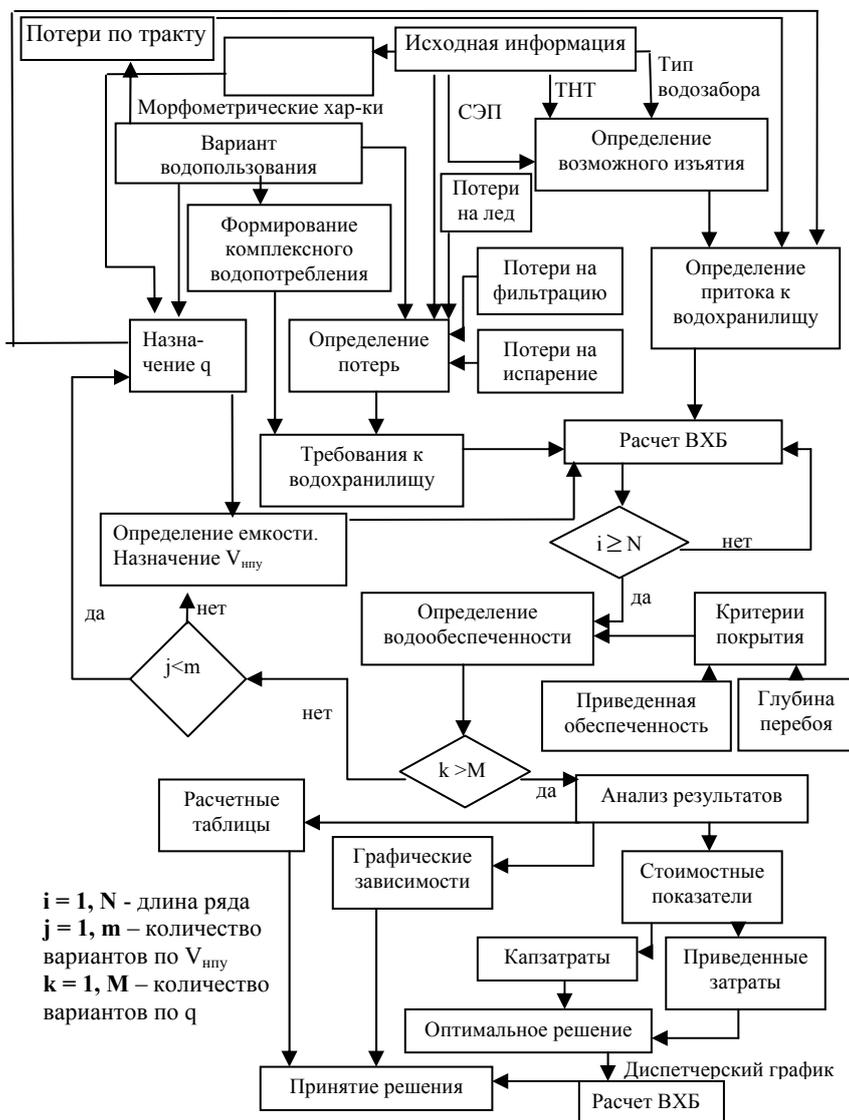


Рис. 3. Структурная схема имитационной модели

В программу имитационной модели наливного водохранилища вводятся следующие исходные данные:

1. Параметры стока: S_{cp} , C_v , C_s , r_a .
2. Гидрографы характерных по водности лет.

3. Объем и режим водопотребления потребителей, подкомандных наливному водохранилищу.
4. Санитарно-экологические попуски в реке ниже водозаборного гидроузла.
5. Пропускная способность тракта водоподачи к наливному водохранилищу.
6. Слой потерь видимого испарения.
7. Фильтрационные потери на момент стабилизации гидравлического режима в виде кривых интенсивности фильтрации в зависимости от отметки наполнения водохранилища.
8. Потери на льдообразование.
9. Батиграфические кривые водохранилища.
10. Мертвый объем V_{UMO} , полезный объем $V_{ПЛЗ}$ (вариантно).
11. Многолетний расчетный ряд месячных объемов стока реки.
12. Среднегодовое стока.
13. Обеспеченность покрытия потребителей водой и приведенная обеспеченность.
14. Длина магистрального водовода.
15. Надежность подачи, reliability.

Результаты расчетов с применением имитационных моделей помимо полной статистической обработки должны иметь одну - две сводных таблицы, позволяющих быстрый анализ вариантов имитационного эксперимента для массовых расчетов. Наличие сводной таблицы результатов необходимо также при автоматизированном построении диспетчерского графика. Ниже приводятся макеты основной сводной таблицы и водохозяйственного баланса модельного эксперимента.

В основе имитационных моделей лежит постворный водохозяйственный баланс. Поскольку в данном случае рассматривается один створ, баланс выполняется в привязке к створу водохранилища. В разработанной модели версия водохозяйственного баланса представлена в таблице 1.

Таблица 1

		Располагаемые водные ресурсы		
1	2	3	4	5
ГОДЫ	МЕСЯЦЫ	Приток к створу водозабора	Сан.-эколог. попуски	Возможный объем водозабора
		$S_0(t)$, млн.м ³	$S_3(t)$, млн.м ³	$S(t)$, млн.м ³

Продолжение

наливного водохранилища				
6	7	8	9	10
Объем водозабора с учетом пропуск. способности тракта	Объем водозабора с учетом потерь по длине водовода	Проектный объем с учетом предотвращения сбросов	Регулирование речного стока: «-» - сработка, «+» - аккумуляция	Располагаемые водные ресурсы
$S_1(t)$, млн.м ³	$S_{1L}(t)$, млн.м ³	$S_{1L}'(t)$, млн.м ³	ΔV , млн.м ³	$(S_{1L}' - \Delta V)$, млн.м ³

Продолжение

Расчетные требования к водным ресурсам				Результаты ВХБ		
11	12	13	14	15	16	17
Водоснабжение	Орошение	Общие потери	Итого	Дефицит	Хар-ка наполнения наливного вод-ща	
$W_{всн}$, млн.м ³	$W_{ор}$, млн.м ³	$L_{общ}$, млн.м ³	W , млн.м ³	D , млн.м ³	V_0 , млн.м ³	$V_{кон}$, млн.м ³

Сводная таблица результатов эксперимента представлена в таблице 2.

Таблица 2

$V_{\text{нпу}},$ млн.м ³	$q=$ м ³ /с	$P_{\text{пр}},\%$				
	$P, \%$					

Помимо таблиц результирующая выдача содержит набор кривых обеспеченности и анализирующих зависимостей, необходимых для принятия решений. Графический материал указанного свойства показан в 4 и 5 главах.

Одна из версий модели ориентирована на учет переменного водопотребления путем введения поправочных коэффициентов, учитывающих уровень естественного увлажнения почвы по многолетнему ряду осадков, свойственного такой отрасли как орошение. При этом водопотребление по годам многолетнего ряда устанавливается в зависимости от дефицита водного баланса растений (рис. 4). В разработанной модели принята следующая методика: весь ряд разбивается на группы лет, близких по обеспеченности осадков, и для каждой из групп вводятся коэффициенты водопотребления, которые и задают его изменчивость в многолетнем разрезе.

Апробация версии также выполнена на рассматриваемых примерах в 4 и 5 главах. Принята упрощенная методика учета переменного водопотребления.

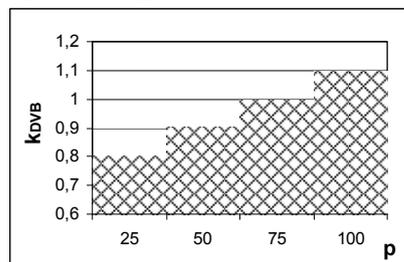


Рис. 4. Зависимость коэффициента водопотребления от обеспеченности групп лет по осадкам (учитывает дефицит водного баланса растений по величине естественного увлажнения почвы)

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований для варианта наливного водохранилища в нижней части бассейна реки Самур, рассказано о природно-климатических условиях данного бассейна, об экологических проблемах бассейна реки, рассмотрена водохозяйственная обстановка региона.

В бассейновой схеме Самура (1982 года) один из вариантов водообеспечения региона предполагает создание регулирующей емкости в одном из естественных понижений междуречья рек Самур и Гюльгерычай. Этот вариант не является существенным с точки зрения ВХС Самура, но достаточно удобен в качестве примера использования модели.

Климат территории заметно меняется в зависимости от ее высотного положения. Бассейн характеризуется развитым орошением и значительными затратами стока на промышленно-коммунальное водоснабжение (Апшеронский полуостров).

В имитационной модели на реке Самур сравниваем и рассчитываем два варианта водопропускного тракта: канал и чугунный трубопровод, и выбираем наилучший вариант по капитальным затратам.

Отраслевые требования водоснабжения и регулярного орошения приняты в примере намеренно высокими, поскольку соответствуют уровню проектного запроса субъектов вододелия, а с другой стороны позволяют апробировать модель для условий глубокого многолетнего регулирования стока.

Вводятся следующие исходные данные:

- параметры стока: $S_{\text{ср}} = 2190$ млн. м³, $C_v = 0,17$, $r_a = 0,3$.
- объем и режим водопотребления: $W_{\text{всн}} = 780$ млн.м³; $W_{\text{ор}} = 540$ млн.м³
- санитарно-экологические попуски в реке: $S_{\text{сэп}} = 699,20$ млн.м³

- слой потерь видимого испарения: $h_{\text{вид}} = 0,509$ м
- фильтрационные потери: задаются графиком зависимости $Q_s=f(\nabla)$
- батиграфические кривые водохранилища
- мертвый объем $V_{\text{УМО}} = 30$ млн.м³
- многолетний расчетный ряд месячных объемов стока реки по месяцам
- среднееголетний сток: $Q_{\text{ср}} = 2245$ млн.м³
- обеспеченность покрытия: $P_{\text{ор}} = 75$ %; $P_{\text{всн}} = 95$ %. $P_{\text{пр}} = 86$ %.
- длина подводящего тракта: $L = 5$ км.

Результаты эксперимента включают:

1. Кривые обеспеченности проектной гарантированной отдачи при различной пропускной способности тракта q .

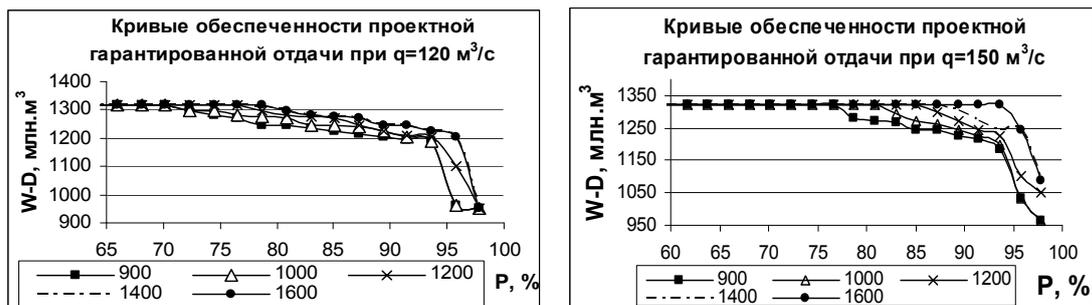


Рис. 5. Кривые обеспеченности проектной гарантированной отдачи при пропускной способности тракта $q = 120$ и 150 м³/с.

Из диапазона кривых обеспеченностей выбраны две номограммы для 120 и 150 м³/с (рис.5). Из графиков видно, что имея приведенную обеспеченность равную 86% даже при $V_{\text{нпу}} = 1600$ млн.м³ и пропускной способности тракта 120 м³/с мы не можем полностью обеспечить потребителей водой, а при пропускной способности тракта $q = 150$ м³/с и емкости $V_{\text{нпу}} = 1200$ млн.м³ будут удовлетворяться требования водопотребителей.

2. Кривые максимальных дефицитов при различных q (рис.6).

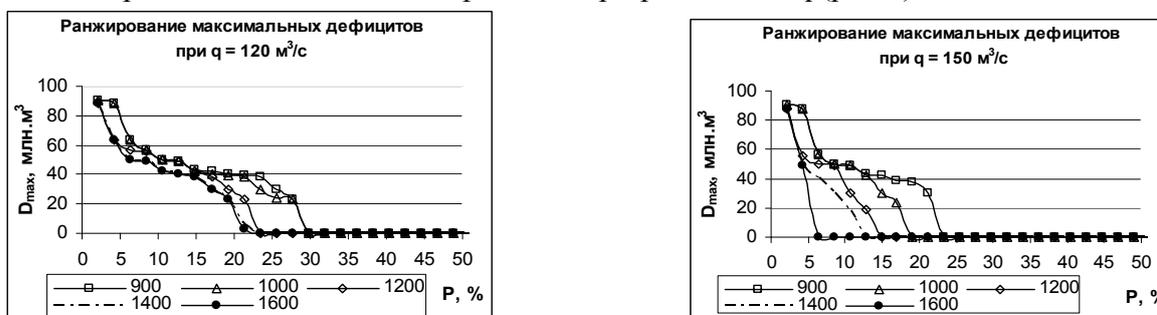


Рис. 6. Графики, показывающие кривые максимальных дефицитов при $q = 120$ и 150 м³/с.

Приведенные данные позволяют судить о глубине перебоев за пределами расчетной обеспеченности в наиболее маловодные периоды многолетнего ряда.

3. Ведомость (таблица 3) изменения значений емкости наливного водохранилища в зависимости от пропускной способности тракта q и обеспеченности потребителей водой. Так как приведенная обеспеченность $P_{\text{пр}} = 86\%$, то видно, что пропускная способность тракта при $q = 120$ м³/с не удовлетворяет требования потребителей, а при $130, 140, 150$ и 160 м³/с требования удовлетворяются (рис.7). По экономическим соображениям понятно, что чем меньше пропускная способность тракта и наливного водохранилища, тем дешевле обойдется их строительство и эксплуатация. Т.е. оптимальный вариант q будет в диапазоне от 140 до 150 м³/с, т.к. при таких значениях обеспеченность потребителей водой уже не зависит от емкости водохранилища.

$V_{\text{нпу}}, \text{млн.м}^3$	$q=120 \text{ м}^3/\text{с}$	$q=130 \text{ м}^3/\text{с}$	$q=140 \text{ м}^3/\text{с}$	$q=150 \text{ м}^3/\text{с}$	$q=160 \text{ м}^3/\text{с}$	$P_{\text{пр}}, \%$
	$P, \%$					
900	70,21	74,47	76,60	76,60	76,60	86,82
1000	70,21	76,60	80,85	80,85	80,85	86,82
1200	76,60	82,98	85,11	85,11	85,11	86,82
1400	76,60	85,11	87,23	87,23	87,23	86,82
1600	76,60	87,23	91,49	93,62	93,62	86,82

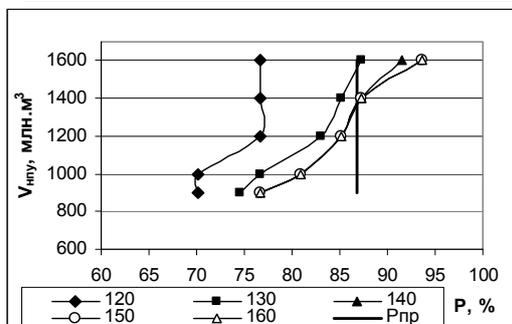


Рис. 7. График изменений емкости водохранилища в зависимости от обеспеченности потребителей водой

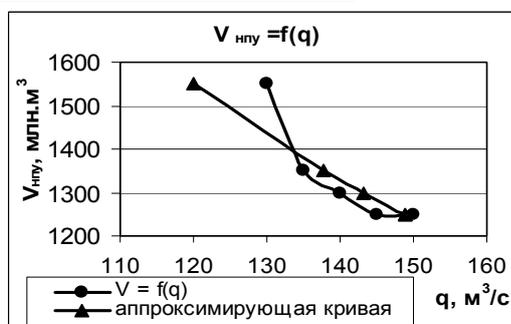


Рис.8. График зависимости емкости водохранилища от пропускной способности тракта при $P_{\text{пр}} = 86\%$

4. По данным эксперимента построен график зависимости емкости водохранилища от пропускной способности тракта уже при заданной обеспеченности 86 % (рис.8). На данном графике построена также аппроксимирующая кривая $q = m/V$, где m – произвольная константа, определяющаяся в результате аппроксимации. С помощью этой кривой ($q = m/V$) определены капитальные затраты по водохранилищу и подводящему тракту.

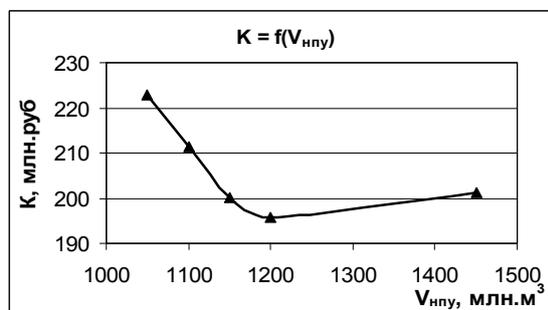
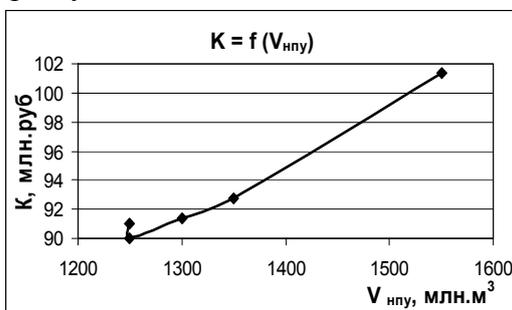


Рис. 9. Графики зависимости капитальных вложений от емкости водохранилища, если подводящий тракт канал и трубопровод соответственно

Область оптимальных значений может быть найдена посредством дифференцирования аппроксимированных зависимостей или графически (рис.9). Так формальный оптимум по каналу соответствует 918,7 млн.м³ емкости, что выходит за пределы исследуемых значений. В этом случае оптимальное решение соответствует емкости водохранилища $V_{\text{полн}} = 1250$ млн.м³. Соответственно значение $q = 145 \text{ м}^3/\text{с}$. Формальный оптимум по трубопроводу 1945 млн.м³. В этом случае оптимальное решение $V_{\text{полн}} = 1200$ млн.м³. Соответственно значение $q = 120 \text{ м}^3/\text{с}$. Формальный оптимум обычно не принимается в качестве проектного решения. Рассматривается вся область значений параметра, близких к оптимальному.

5. Диспетчерский график построен из условий максимальной урезки орошения на 30 %. Двухзональный график представлен на рис. 10.

Для оценки эффективности диспетчерского регулирования на рис.11 представлены совмещенные кривые обеспеченности, полученные в результате многолетнего водохозяйственного баланса для варианта без правил управления и с учетом диспетчерского графика.

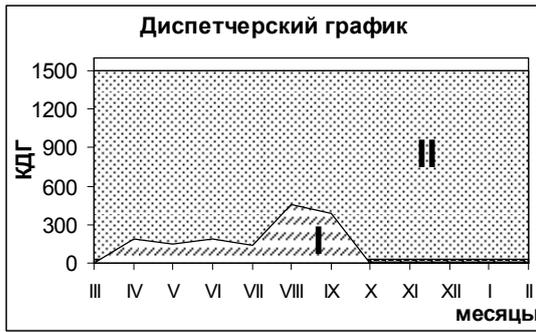


Рис. 10. Диспетчерский график для обеспечения наливного водохранилища на реке Самур:

I – зона пониженной отдачи; II – зона гарантированной отдачи

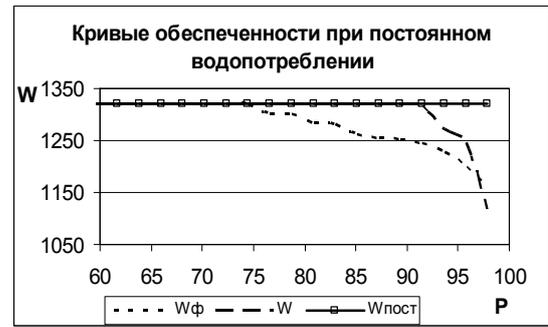


Рис. 11. График кривых до и после диспетчерского графика

В пятой главе показан пример использования имитационной модели для варианта наливного водохранилища Полиатис в проекте «Северный конвейер» в республике Кипр, изложены природно-климатические условия рассматриваемого бассейна, экологические и водохозяйственные проблемы и даны результаты имитационного эксперимента.

Проект «Северного конвейера» - использования четырех малых рек, избытки стока которых объединяются в коллекторе для водоподачи в водохранилище Полиатис, которое перерегулирует забраный сток в график водопотребления г.Никосии и ее окрестностей.

Расчетная схема имитационной модели включает 4 реки, из которых забирается вода, которая поступает в водохранилище по трубопроводу, а затем в зарегулированном объеме подается потребителю (рис.12).

Вводятся следующие исходные данные:

- параметры стока по четырем рекам.
- $W_{всн} = 6,96$ млн.м³; $W_{ор} = 5,44$ млн.м³
- санитарно-экологические попуски по четырем рекам: $S_{сэп} = 3,038$ млн.м³; $S_{сэп} = 1,558$ млн.м³; $S_{сэп} = 3,942$ млн.м³; водохранилище $S_{сэп} = 0,24$ млн.м³
- $h_{вид} = 0,95$ м
- фильтрационные потери: задаются графиком зависимости $Q_s=f(\nabla)$
- батиграфические кривые водохранилища
- мертвый объем $V_{умо} = 0,01$ млн.м³
- многолетний расчетный ряд месячных объемов стока реки по месяцам
- отметка дна водохранилища $\nabla_{дна} = 241$ м.
- среднееголетний сток за расчетный ряд: $Q_{ср} = 34,72$ млн.м³
- обеспеченность покрытия: $P_{ор} = 75\%$; $P_{всн} = 95\%$. $P_{пр} = 86\%$.
- длина подводящего тракта: $L = 25$ км.

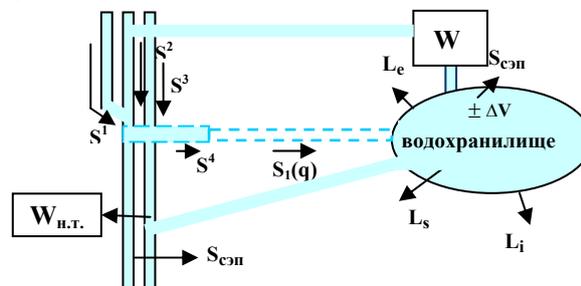


Рис. 12. Расчетная схема для наливного водохранилища Полиатис

где $S_{сэп}$ – санитарно-экологические попуски; q – пропускная способность тракта; $W_{нт}$ – водопотребление в нижнем течении; S^1, S^2, S^3 – стоки рек; S^4 – приток к створу изъятия; S_1 – объем притока к водохранилищу с учетом возможного изъятия и пропускной способности тракта водоподачи; W – комплексное водопотребление; L_e, L_s, L_i – потери на испарение, фильтрацию, льдообразование.

Результаты эксперимента включают:

1. Кривые обеспеченности проектной гарантированной отдачи при различной пропускной способности тракта q (рис.13).

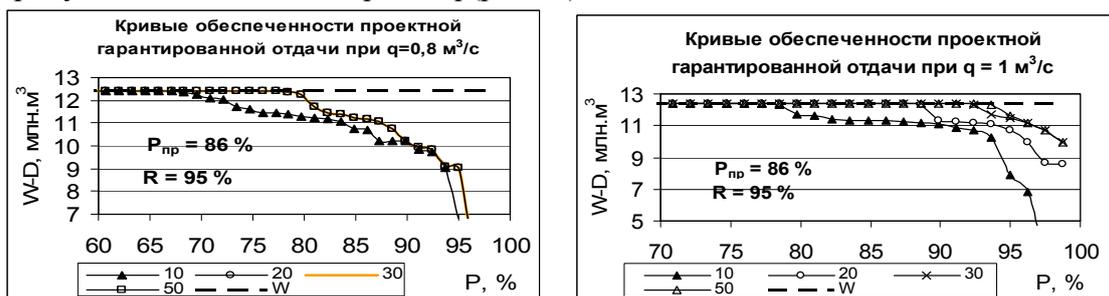


Рис. 13. Кривые обеспеченности проектной гарантированной отдачи при пропускной способности тракта $q = 0,8$ и $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Из графиков видно, что даже при $V_{\text{нпу}} = 50 \text{ млн.м}^3$ и $q = 0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ мы не можем полностью обеспечить потребителей водой, а при пропускной способности тракта $q = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ обеспечение потребителей водой будет при емкости $V_{\text{нпу}} = 20 \text{ млн.м}^3$.

2. Кривые максимальных дефицитов при различных q .

Приведенные данные позволяют судить о глубине перебоев за пределами расчетной обеспеченности, в наиболее маловодные годы.

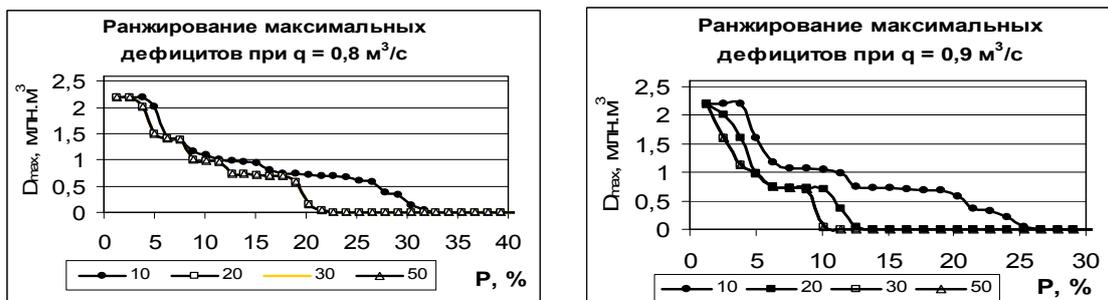


Рис. 14. Графики, показывающие кривые максимальных дефицитов при $q = 0,8$ и $0,9 \text{ м}^3/\text{с}$.

3. На рис. 15 показан график изменения значений емкости наливного водохранилища в зависимости от пропускной способности тракта q и обеспеченности потребителей водой.

Так как приведенная обеспеченность $P_{\text{пр}} = 86\%$, то видно по графику, что пропускная способность тракта при $q = 0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ не удовлетворяет требования потребителей, а при остальных значениях q требования удовлетворяются. Таким образом, оптимальный вариант значений q находится в окрестности $q = 0,9 \text{ м}^3/\text{с}$.

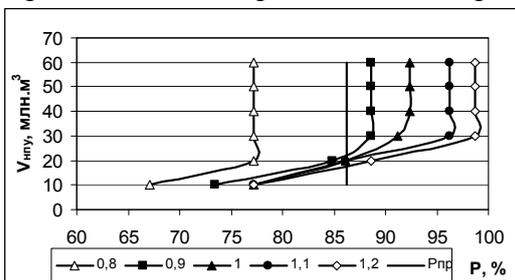


Рис. 15. График изменений емкости водохранилища в зависимости от обеспеченности потребителей водой

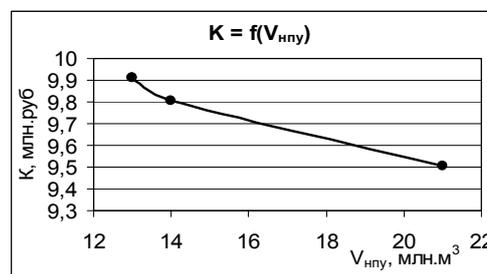


Рис. 16. График зависимости капитальных вложений от емкости

4. Для определения оптимального значения параметра строилась кривая $K = f(V)$ (рис.16). В этом случае оптимальное решение соответствует емкости водохранилища $V_{\text{нпу}} = 21 \text{ млн.м}^3$. Соответственно $q = 0,9 \text{ м}^3/\text{с}$.

Диспетчерский график (рис.17) построен из условий максимальной урезки орошения на 50 % и водоснабжения на 20%. Для оценки эффективности диспетчерского

регулирования на рис.18 представлены совмещенные кривые обеспеченности для варианта без правил управления и с учетом диспетчерского графика.

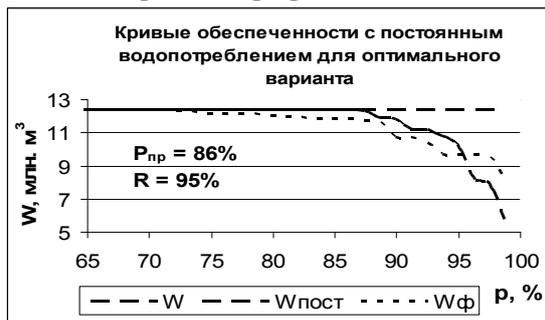


Рис. 17. Диспетчерский график для наливного водохранилища Полиатис

7. При переменном водоснабжении имеем следующие результаты (рис.19).

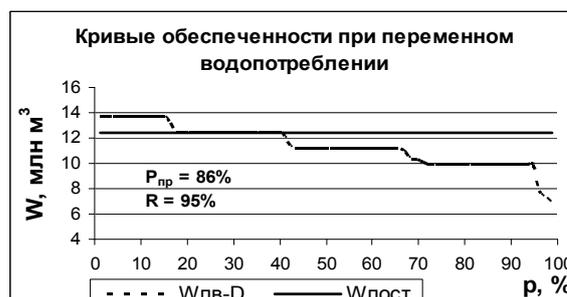
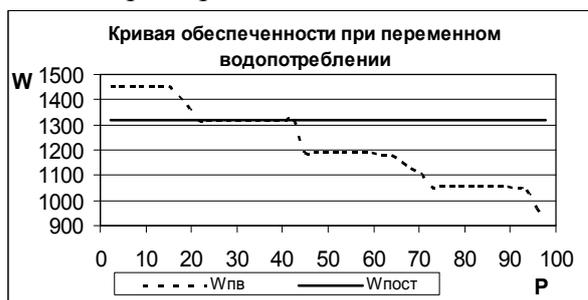


Рис. 19. Кривые обеспеченности при переменном водопотреблении для водохранилища на реке Самур и в республике Кипр соответственно

Версия переменного водопотребления заканчивается на этапе выполнения водохозяйственного баланса, поэтому анализ и оценка экономической эффективности в данном случае методически не отработана.

Анализ выполненных нами исследований показал, что с помощью имитационной модели проще и быстрее увидеть результаты при различных изменениях параметров.

Заключение

В нашей стране и за рубежом построены и функционируют водохозяйственные системы, осуществляющие регулирование стока в наливных водохранилищах. Это особый класс сооружений со своими задачами как проектного, так и научного характера. Диссертационная работа касается водохозяйственных аспектов проблемы, в частности определения регулирующей емкости и режима регулирования стока.

1. В диссертации предложена новая обобщенная методика расчета параметров и режима регулирования стока в наливных водохранилищах с определением области оптимальных решений.

2. По предлагаемой методике разработана имитационная модель расчета емкости наливных водохранилищ, которая существенно снижает область поиска решений, повышает надежность результатов расчета и позволяет сократить затраты времени при проектировании.

3. Для имитационной модели разработан алгоритм многолетнего водохозяйственного баланса водохозяйственной системы с наливным водохранилищем применительно к условиям многолетнего (сезонного) регулирования стока с учетом установленных критериев покрытия водопотребления.

4. В составе модели предусмотрена система ввода исходной информации и вывода результатов обосновывающих расчетов, включая графический интерфейс.

5. В модели выполняется построение и аппроксимация результирующей зависимости «емкость водохранилища – пропускная способность тракта водоподачи» путем среднеквадратического сглаживания экспериментальных точек по гиперболе.

6. На основании полученных анализирующих зависимостей в модели определяется область оптимальных решений в соответствии с принятыми критериями.

7. В завершающей части алгоритма модели разработан частично автоматизированный режим построения двухзонного диспетчерского графика, включающего зоны нормальной гарантированной отдачи и пониженной водоотдачи.

8. Отдельная версия модели предназначена для учета переменного водопотребления орошения в многолетнем разрезе.

9. Использование разработанной имитационной модели позволяет провести более углубленное водохозяйственное обоснование комплекса мероприятий.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Раткович Л.Д., Никифорова Д.А. Имитационная модель для расчета емкости наливных водохранилищ. // Мелиорация и водное хозяйство, М., №5, 2006, с. 58-60.
2. Никифорова Д.А. Методические особенности водохозяйственного расчета наливных водохранилищ. ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ» // Вопросы мелиорации. №7–8, 2005, с.72–80.
3. Никифорова Д.А. Автоматизированный расчет емкости наливных водохранилищ. // Проблемы экологической безопасности и природопользования, под ред. д.т.н., проф. Прягина В.Н. – М.: «Норма» МАЭБП, вып. № 7, 2006, с.282-286.
4. Никифорова Д.А. Водохозяйственные аспекты проектирования и управления наливными водохранилищами. // Материалы международной научно-практической конференции «Роль природообустройства в обеспечении устойчивого функционирования и развития экосистем». Часть II. М.: МГУП, 2006, с.138 – 142.
5. Никифорова Д.А. Методика преподавания разделов дисциплины «Комплексное использование и охрана водных ресурсов», связанных с вопросами регулирования стока. // Природообустройство. №1. М.: МГУП, 2007. в печати.



Московский государственный университет
природообустройства (МГУП)

Зак. №

Тираж