

На правах рукописи

Фан Вьен Фыонг

**Режимы ГЭС при регулировании стока реки гидроузлами,
распределенными в ее бассейне**

Специальность 05.14.08

« Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии »

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2003

Работа выполнена на кафедре возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

Научный руководитель - доктор технических наук, с.н.с.
Масликов Владимир Иванович

Официальные оппоненты - доктор технических наук, с.н.с.
Шарьгин Владислав Самуилович
- кандидат технических наук, доцент
Чусов Александр Николаевич

Ведущая организация – ОАО “Ленгидропроект”

Защита состоится « 20 » мая 2003г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д212.229.17 при Санкт-Петербургском государственном политехническом университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, гидрокорпус II, аудитория 411.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

Автореферат разослан “ 16 ” апреля 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

Орлов В.Т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

К началу XXI века в мировой энергетике сложилась ситуация, благоприятная для возрастания роли гидроэнергетики в устойчивом развитии народного хозяйства за счет стабильного и доступного обеспечения энергией потребителей при минимальном загрязнении окружающей среды. Не вызывает сомнений определяющее значение гидроэнергетики для надежного функционирования водного хозяйства, особенно в условиях нарастания дефицита пресноводных ресурсов во многих регионах планеты.

Положительная стабилизирующая роль гидроэнергетики ярко проявилась в России в сложной экономической ситуации последнего десятилетия и во Вьетнаме в условиях интенсивного экономического роста. Следует особенно отметить значение гидроэнергетики для снижения неблагоприятных последствий природных и природно-техногенных процессов, и в первую очередь, наводнений.

Наблюдаемое изменение климата привело к резкому увеличению частоты крупных наводнений, а следовательно, и возрастанию экономического ущерба, числа пострадавших. Темпы роста экономических потерь в мире соизмеримы с приростом валового продукта, что препятствует обеспечению устойчивого развития.

По числу наводнений, вызванных прежде всего, ливневыми паводками, наиболее тяжелыми по своим последствиям, за прошедшее десятилетие на первое место вышла Азия. Крупные наводнения, вызванные сильными муссонными дождями, неоднократно происходили во Вьетнаме, принося с собой огромный материальный ущерб и многочисленные человеческие жертвы.

Традиционным средством борьбы с паводками является регулирование максимального стока крупными водохранилищами ГЭС. Однако, такие водохранилища не обеспечивают защиту земель в обширной зоне верховья и боковых притоков речного бассейна.

В последнее время определилась тенденция строительства низконапорных гидроузлов с малой площадью затопления земель, а следовательно, с пониженной возможностью регулирования стока.

В этих условиях целесообразно снижение риска от наводнений осуществлять путем регулирования паводковых расходов всего речного бассейна распределенной системой водохранилищ при минимальном воздействии на природную среду. Такая система включает комплексный гидроузел с гидроэлектростанцией (каскад ГЭС) на основной реке, с минимальной емкостью регулирования максимального стока и противопаводковые гидроузлы с временно-заполняемыми водохранилищами на боковых притоках, в которые перераспределяется противопаводковая емкость.

Схему регулирования паводков распределенной на водосборе системой водохранилищ можно рассматривать в качестве весьма перспективной для речных бассейнов Вьетнама.

Методологические основы регулирования максимальных расходов водохранилищами ГЭС заложены исследованиями, выполненными в

институтах Гидропроект, Энергосетьпроект, ВНИИГ, ЛПИ, МЭИ, МИСИ, МГМИ, НЭТИ, ЭНИН, ИВП, ГГИ и др. Большой вклад в разработку гидрологических, гидравлических, водохозяйственных и экологических аспектов регулирования стока водохранилищами и управления паводками внесли Авакян А.Б., Александровский А.Ю., Арефьев Н.В., Арсеньев Г.С., Асарин А.Е, Бахтиаров В.А., Бефани А.Н., Васильев Ю.С., Воробьев Б.В., Елистратов В.В., Железняк И.А., Картвелишвили Н.А., Крицкий С.Н., Малинин Н.К., Менкель М.Ф., Нежиховский Р.А., Обрезков В.И., Плешков Я.Ф., Потапов М.В., Резниковский А.Ш., Федоров М.П., Хрисанов Н.И., Шарыгин В.С., Цингер В.Н., Нэш Ж., Зоч Р., Овертон Д., Нгуэн Д. и др.

Обострение проблемы управления паводками требует поиска новых более эффективных подходов с участием ГЭС в организации борьбы с наводнениями, разработки моделей регулирования паводков речного бассейна системой распределенных на водосборе водохранилищ, учитывающих многообразие условий их функционирования.

Актуальность темы диссертационной работы определяется необходимостью совершенствования методики комплексного использования гидроэнергетических ресурсов в зонах риска наводнений, разработки математических моделей режимов работы системы гидроузлов в составе руслового с ГЭС на основной реке и дополнительных на боковых притоках с временно-затапливаемым ложем водохранилища, обеспечивающих регулирование паводков на водосборе при выполнении требований охраны окружающей среды.

Это потребовало анализа имеющихся разработок и системного подхода к отбору схем функционирования противопаводковых гидроузлов.

Цель диссертационной работы – разработка методики математического моделирования регулирования ливневых паводковых расходов, наиболее характерных для Вьетнама, системой гидроузлов на основной реке и боковых притоках для обоснования их параметров и режимов работы.

В соответствии с поставленной целью решаются следующие задачи:

- анализ практики использования гидроэнергетических ресурсов при возрастании риска наводнений и обоснование принципов управления паводковыми расходами водохранилищами ГЭС в современных условиях;
- разработка математических моделей регулирования речного стока системой распределенных на водосборе гидроузлов в составе руслового с ГЭС на основной реке и дополнительных на боковых притоках;
- программная реализация модели режимов работы русловой ГЭС при совместном регулировании паводков на водосборе с гидроузлами на боковых притоках с учетом требований охраны окружающей среды и апробация на конкретном объекте.

Новые научные результаты:

1. Систематизирован опыт использования гидроэнергетических ресурсов в зонах риска наводнений.

2. Разработана и программно реализована математическая модель регулирования паводковых расходов русловым водохранилищем с ГЭС на основной реке.
3. Разработана и программно реализована математическая модель регулирования паводковых расходов гидроузлами с временно-затапливаемым ложем водохранилища.
4. Исследованы режимы работы русловой ГЭС и дополнительных гидроузлов на боковых притоках при регулировании паводков на водосборе.

Методологическую базу исследований составили системный анализ, фундаментальные положения гидроэнергетики, методы эколого- и экономико-математического моделирования, вычислительной математики, компьютерных расчетов.

Практическая значимость. Разработанные методики и модели могут применяться в научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных организациях при решении задач использования гидроэнергетических ресурсов в зонах риска наводнений, управления паводками речного бассейна.

На защиту выносятся:

1. Математические модели регулирования паводков на водосборе русловым гидроузлом с ГЭС и системой временно заполняемых гидроузлов на боковых притоках с учетом требований охраны окружающей среды.
2. Результаты в исследованиях совместной работы русловой ГЭС с гидроузлами на боковых притоках.

Достоверность научных положений и выводов обусловлена корректным использованием теоретических основ гидроэнергетики, применением научно апробированных методов при проведении исследований и математического моделирования режимов работы ГЭС и подтверждается практическими результатами.

Личный вклад автора заключается в анализе участия ГЭС в борьбе с наводнениями, разработке алгоритмов и математических моделей регулирования паводков в речном бассейне системой распределенных на водосборе гидроузлов с учетом охраны окружающей среды, проведении компьютерных расчетов режимов работы русловой ГЭС и дополнительных гидроузлов на боковых притоках.

Апробация работы проведена на российских и международных научно-технических конференциях, симпозиумах.

Материалы работы докладывались на международной научно-технической конференции «Научные проблемы энергетики возобновляемых источников» (Самара, 2000), международной конференции и выставке «Вода и экология: проблемы и решения» (Санкт-Петербург, 2001), международной научно-технической конференции «Гидротехника и гидроэнергетика: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов» (Самара, 2002), международном симпозиуме «Гидравлические и гидрологические

аспекты надежности и безопасности гидротехнических сооружений» (Санкт-Петербург, 2002), научном семинаре кафедры возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики СПбГПУ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста, включает 18 таблиц и 35 рисунков. Библиография содержит 119 наименований.

Краткое содержание работы

Глава 1. Анализируя состояние гидроэнергетики в начале XXI века, можно отметить, что используется небольшая часть огромного потенциала речного стока нашей планеты, составляющего около 5500 ТВт. Так освоено не более 25% экономического гидропотенциала. Ряд стран: Парагвай, Норвегия, Замбия, Уругвай, Бразилия практически полностью обеспечивают свои потребности в электроэнергии за счет работы ГЭС. Высока доля ГЭС в производстве электроэнергии во Вьетнаме (83%), в Венесуэле (75,6%), в Австрии (67,9%) и других странах.

Значительные темпы наращивания мощности наблюдаются в развивающихся странах с большими запасами гидроэнергии, прежде всего, в Бразилии, КНР, Индии и др. Ввод новых мощностей в этих странах составляет примерно 3/4 мирового. По ряду показателей следует выделить Азиатский регион в качестве перспективного района гидроэнергетического строительства. Экономический гидроэнергетический потенциал стран Азии (без России и СНГ) оценивается примерно в 28% мирового потенциала, при этом неосвоенный гидропотенциал составляет более 90% .

Россия относится к лидирующей группе стран по своему гидроэнергетическому потенциалу. Экономический потенциал гидроресурсов определен в размере 850 млрд. кВт·ч. Общее использование экономического гидропотенциала страны в настоящее время достигает 19%. Как показал анализ функционирования электроэнергетики, с переходом России к рыночной экономике необходимость дальнейшего увеличения использования гидропотенциала становится очевидной.

Вьетнам относится к группе стран с динамично развивающейся электроэнергетикой. В производстве электроэнергии существенную долю составляет электроэнергия, выработанная ГЭС, так как Вьетнам обладает значительным гидропотенциалом, который оценивается в размере 300 млрд.кВт·ч. Следует отметить, что Вьетнам по годовому объему местного и транзитного стока относится к числу наиболее водообеспеченных стран Азии. Характерной особенностью речного стока является его резкая сезонная неравномерность (в период муссонных дождей за 4-6 месяцев формируется 80% общего объема). Основу гидроэнергетики страны составляют построенные за последние 30 лет (при участии СССР, затем России) ряд средних и крупных ГЭС: Тхакмо, Чиан, Хоабинь, Яли .К концу 2001 г. суммарная установленная мощность ГЭС составила 4100 МВт.

Как в мировой гидроэнергетике, так и в энергетике России и Вьетнама все более важное значение приобретают проблемы охраны окружающей среды, порой выходя на приоритетные позиции.

Одна из крупнейших проблем, связанных с окружающей средой – защита от наводнений. Задача становится еще более актуальной в условиях наблюдающейся тенденции глобального изменения климата, а следовательно, и водности рек.

Согласно мировой статистике среди наиболее опасных природных явлений наводнения по суммарному годовому ущербу занимают первое место (32% от общего числа особо опасных природных явлений). Особенно тяжелые последствия вызывают ливневые наводнения. Главная опасность заключается в их внезапности и резком увеличении объема речного стока многократно превышающего объем весеннего половодья. В районах с муссонным климатом, характерным для Вьетнама, а также Приморья Дальнего Востока России, ливневые наводнения охватывают огромные территории.

В диссертации выполнен анализ наводнений в мире за последнее десятилетие. Во всем мире, включая Россию и Вьетнам, наблюдается тенденция значительного роста ущербов от наводнений.

За последние три года стихийные бедствия чаще обычного обрушивались на страны Азии. Крупнейшее за последние 40 лет наводнение произошло в 2000 г. во Вьетнаме. В результате пострадало более 5 миллионов человек.

Проблема паводков постоянно существует в России. Множество городов и населенных пунктов периодически подвергаются наводнениям, а наводнения на реках Дальнего Востока, вызванные ливневыми дождями (Амуре, Зее, Селемдже, Бурее и др.), подчас носят характер национального бедствия.

В России, США, Франции, Китае, Вьетнаме и других странах мира наиболее распространенным средством борьбы с паводками остается регулирование максимального стока крупными водохранилищами. Традиционно водохранилища ГЭС используются для борьбы с наводнениями в основном на низовых речных участках. В этом случае незащищенными оказываются обширные верховые зоны речного бассейна.

Наводнения, вызванные ливневыми дождями в бассейнах боковых притоков, и последующее значительное затопление земель наблюдаются в различных регионах России (Северный Кавказ, Приморье Дальнего Востока). Анализ статистических данных наводнений позволяет предположить, что доля боковых притоков в общей площади затопления земель может составить около 50%.

Не менее остро проблема наводнений в бассейнах боковых притоков стоит и во Вьетнаме.

В диссертационной работе поставлена задача разработки методики математического моделирования режимов работы ГЭС при регулировании ливневых паводковых расходов, наиболее характерных для Вьетнама, системой распределенных на водосборе гидроузлов с учетом требований охраны

окружающей среды. Отсутствие необходимой информации не позволяет провести апробацию методики и математических моделей на конкретных гидроузлах в речных бассейнах Вьетнама. В этих условиях целесообразно в качестве объектов моделирования выбрать гидроузлы, расположенные в Приморье Дальневосточного региона, так как условия формирования ливневых паводков рек Приморья и Вьетнама во многом схожи.

Глава 2. Регулирование речного стока осуществляется системой распределенных на водосборе гидроузлов в составе руслового водохранилища с ГЭС в нижнем течении основной реки и противопаводковых гидроузлов на боковых притоках, расположенных выше створа ГЭС.

Для выбранной схемы управления паводками на водосборе были разработаны алгоритмы и программно реализованы математические модели режимов работы русловой ГЭС и противопаводковых гидроузлов на боковых притоках. В частности, созданы следующие математические модели режимов работы :

1. Руслового гидроузла с водосбросной плотиной с донными отверстиями или поверхностным водосбросом (рис.1). На начало паводка водохранилище заполнено до отметки НПУ, часть расходов пропускается через агрегаты ГЭС, а часть, например, через донные отверстия, которые работают в режиме "полного открытия" или "полного закрытия". Количество работающих отверстий определяется диспетчерскими правилами; предусматривается выполнение требований неперевышения максимальных расходов воды в нижнем бьефе $Q_{НБ}^{ГЭС}(t) \leq Q_{\max \text{ доп}}$, а также неперевышения отметки форсированного уровня верхнего бьефа $Z_{ВБ} \leq Z_{ФПУ}$.

Расход воды в нижнем бьефе русловой ГЭС определяется из уравнения водного баланса:

$$Q_{НБ}^{ГЭС}(t) = Q_{пр}(t) - Q_{исп}(t) - Q_{х.н}(t) + Q_{вхр}(t) \leq Q_{\max \text{ доп}} \quad , \quad (1)$$

где $Q_{НБ}^{ГЭС}(t)$ – расход воды в нижнем бьефе ГЭС, м³/с;

$Q_{пр}(t)$ – расход воды, поступающей в водохранилище, м³/с;

$Q_{исп}(t)$ – потери воды на испарение с поверхности водохранилища, м³/с;

$Q_{х.н}(t)$ – расход воды, забираемой из верхнего бьефа гидроузла на хозяйственные нужды, м³/с;

$Q_{вхр}(t)$ – расход воды при наполнении или сработке водохранилища, м³/с;

$Q_{\max \text{ доп}}$ – максимально допустимый расход воды в НБ ГЭС, м³/с;

t – текущее время.

Соответственно,

$$Q_{НБ}^{ГЭС}(t) = Q_{Т}^{ГЭС}(t) + Q_{ВС}^{ГЭС}(t) + Q_{фил}(t) \quad , \quad (2)$$

где $Q_{Т}^{ГЭС}(t)$ – расход воды через турбины ГЭС, м³/с;

$Q_{ВС}^{ГЭС}(t)$ – расход воды через водосбросные сооружения, м³/с;

$Q_{фил}(t)$ – фильтрационный расход воды, м³.

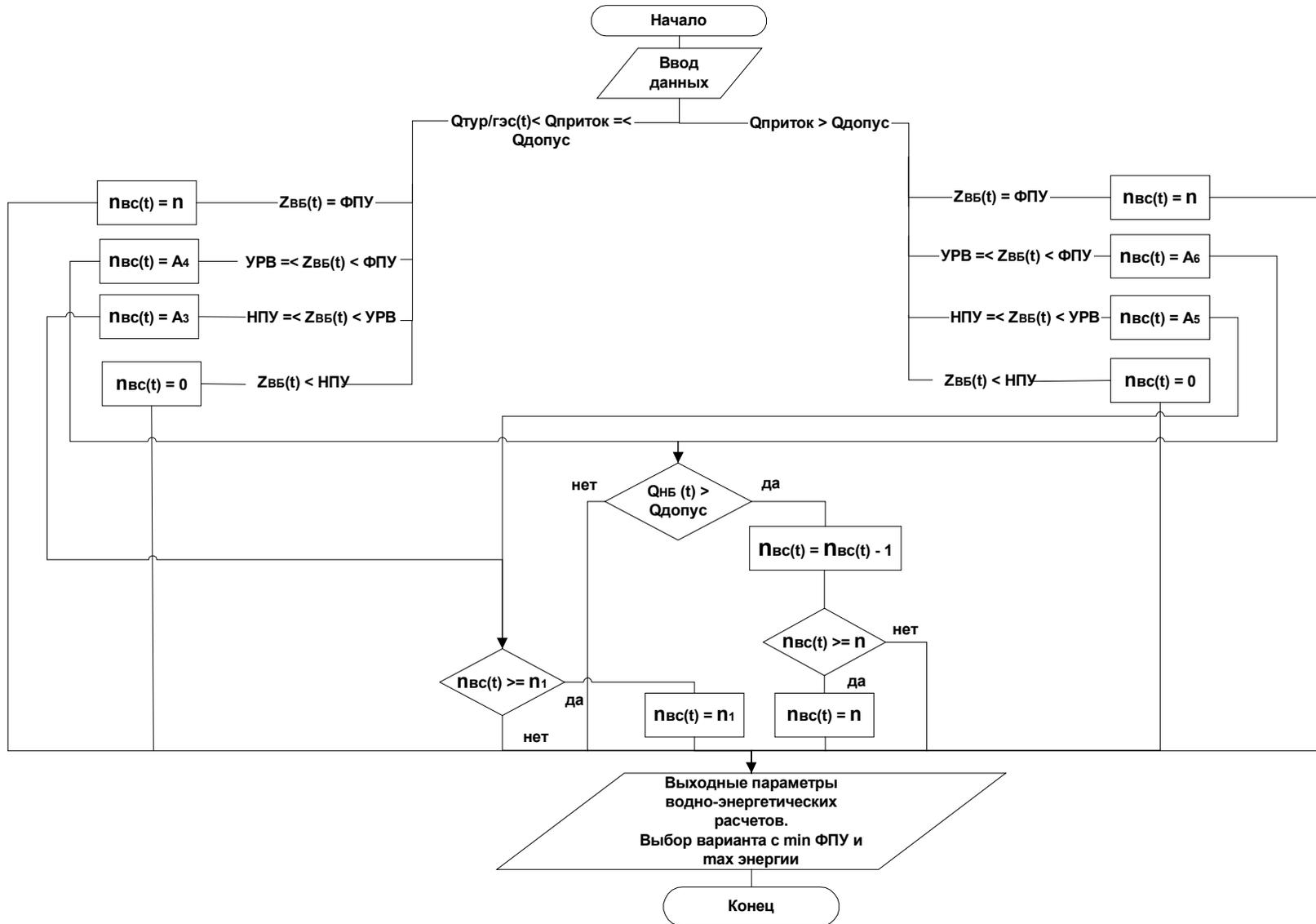


Рис. 1. Алгоритм расчета режимов работы русловой ГЭС при пропуске паводковых расходов

Расход воды через турбины ГЭС $Q_T^{\text{ГЭС}}(t)$ определяется с использованием эксплуатационной характеристики в виде зависимости:

$$Q_T^{\text{ГЭС}}(t) = f_1(H(t)) , \quad (3)$$

где $H(t)$ – напор ГЭС .

Мощность ГЭС:

$$N^{\text{ГЭС}}(t) = a \cdot H(t) \cdot Q_T^{\text{ГЭС}}(t) , \quad (4)$$

где a – коэффициент мощности.

Соответственно, выработка электроэнергии ГЭС определяется

$$\mathcal{E}^{\text{ГЭС}}(t) = \int_0^t N^{\text{ГЭС}}(t) \cdot dt . \quad (5)$$

В качестве критерия оптимального режима работы ГЭС принимается максимальная выработка электроэнергии

$$\mathcal{E}^{\text{ГЭС}}(t) \rightarrow \max .$$

Расход воды через водосбросные сооружения ГЭС определяется с использованием зависимости пропускной способности от уровня верхнего бьефа:

$$Q_{\text{ВС}}^{\text{ГЭС}}(t) = n_{\text{ВС}}(t) \cdot Q_0(t) , \quad (6)$$

где $n_{\text{ВС}}(t)$ – количество работающих водосбросных сооружений (задается в зависимости от уровня воды в водохранилище);

$Q_0(t)$ – расход воды через одно водопропускное сооружение, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$Q_0(t) = f_2(Z_{\text{ВБ}}^{\text{ГЭС}}(t)) , \quad (7)$$

где $Z_{\text{ВБ}}^{\text{ГЭС}}(t)$ – уровень верхнего бьефа ГЭС.

2. Противопаводкового гидроузла на боковом притоке с временно заполняемым ложем водохранилища (рис.2). Пропуск паводковых расходов осуществляется через нерегулируемые донные отверстия и нерегулируемые поверхностные водосливы с широким порогом.

Для гидроузлов на боковых притоках предусматривается выполнение требований поддержания зарегулированных сбросных расходов в НБ гидроузла, обеспечивающих снижение максимальных расходов в основной реке с учетом требований охраны окружающей среды $Q_{\text{зарег}}^{\text{бп}}(t) \geq Q_{\text{оос}}$, и непревышение максимально допустимой отметки верхнего бьефа с целью минимизации затопления земель $F_{\text{затоп}} \rightarrow \min$. по условию сохранения природной среды $Z_{\text{ВБ}}^{\text{бп}}(t) \leq Z_{\text{макс доп.}}$.

Расчет объема паводковых вод, аккумулирующихся в водохранилище в момент времени t , производится балансовым методом

$$V_{\text{ак}}^{\text{бп}}(t) = V_{\text{ак}}^{\text{бп}}(t-1) + \left[Q_{\text{пр}}^{\text{бп}}(t) - \left(Q_{\text{зарег}}^{\text{бп}}(t) + Q_{\text{исп}}^{\text{бп}}(t) + Q_{\text{фил}}^{\text{бп}}(t) \right) \right] \cdot 10^{-9} , \text{ км}^3 \quad (8)$$

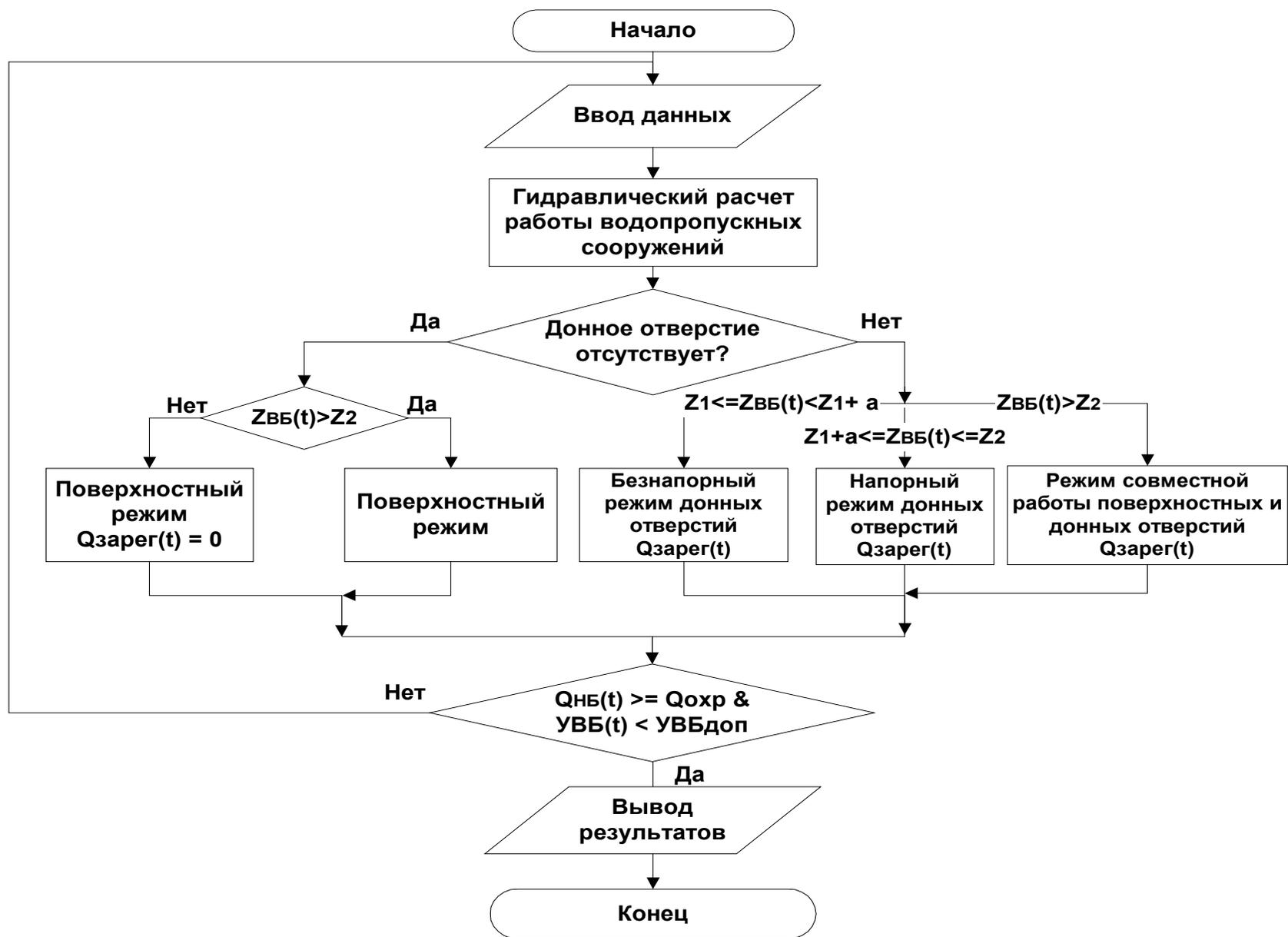


Рис. 2. Алгоритм расчета режимов работы противопаводковых гидроузлов на боковых притоках при пропуске паводковых расходов

где: $V_{ак}^{бп}(t)$ – объем воды в водохранилище в момент времени t , км³;

$Q_{пр}^{бп}(t)$ – расход воды, поступающей в водохранилище, м³/с;

$Q_{зарег}^{бп}(t)$ – расход воды в нижнем бьефе, м³/с;

$Q_{исп}^{бп}(t)$ – потери воды на испарение с поверхности водохранилища, м³/с;

$Q_{фил}^{бп}(t)$ – фильтрационный расход воды, м³/с;

t – текущее время.

3. Руслевой ГЭС при совместном регулировании паводковых расходов с гидроузлами на боковых притоках производится по следующему алгоритму (рис.3).

Определяется дополнительная емкость, размещаемая на боковых притоках, в рамках природоохранных требований по мере превышения максимальных расходов в НБ русловой ГЭС. Критерием достижения необходимой суммарной противопаводковой емкости является превышение максимальных расходов в НБ ГЭС $Q_{НБ}^{ГЭС}(t) \leq Q_{\max. доп.}$.

Расход в НБ русловой ГЭС при совместной работе с противопаводковыми гидроузлами на боковых притоках определяется по формуле:

$$Q_{НБ}^{ГЭС}(t) = Q_{пр}^{ис}(t) - Q_{исп}(t) - Q_{х.н}(t) \pm Q_{вхр}(t) \leq Q_{\max. доп.}, \quad (9)$$

где $Q_{пр}^{ис}(t)$ – исправленный расход воды, поступающей в водохранилище русловой ГЭС с учетом зарегулированных расходов на боковых притоках при работе противопаводковых гидроузлов;

$$Q_{пр}^{ис}(t) = Q_{пр}(t) \pm \sum_1^n \Delta Q_i^{бп}(t), \quad (10)$$

где $Q_{пр}(t)$ – естественный расход воды, поступающей в водохранилище, м³/с;

$\Delta Q_i^{бп}(t)$ – разность между естественными и зарегулированными расходами в НБ i -го противопаводкового гидроузла на боковом притоке.

$$\Delta Q_i^{бп}(t) = Q_{пр..i}^{бп}(t) - Q_{зарег..i}^{бп}(t). \quad (11)$$

Расчет производится с учетом времени добегания воды от противопаводковых гидроузлов в русловое водохранилище.

4. Руслевой ГЭС при годичном регулировании стока с использованием диспетчерского графика (рис 4).

Регулирование годичного стока условно можно разделить на 3 этапа:

1) период наполнения водохранилища

$$УМО \leq Z_{ВБ}^{ГЭС}(t) \leq НПУ;$$

а) работа ГЭС с $N^{ГЭС}(t) = N_{уст}^{ГЭС}$;

б) работа ГЭС с $N^{ГЭС}(t) \leq N_{уст}^{ГЭС}$ и $Z_{ВБ}^{ГЭС}(t) \leq НПУ$;

2) период аккумуляции паводковых расходов

$$\text{НПУ} \leq Z_{\text{ББ}}^{\text{ГЭС}}(t) \leq \text{ФПУ};$$

режим работы ГЭС осуществляется в соответствии с разработанным ранее алгоритмом управления паводковыми расходами;

3) режим сработки водохранилища

а) работа ГЭС осуществляется на гарантированную отдачу

$$N^{\text{ГЭС}}(t) = N_{\text{гар}}^{\text{ГЭС}}(t);$$

$$\text{УМО} \leq Z_{\text{ББ}}^{\text{ГЭС}}(t) \leq \text{НПУ};$$

б) работа ГЭС осуществляется на сниженную отдачу

$$N^{\text{ГЭС}}(t) < 0.8 * N_{\text{гар}}^{\text{ГЭС}}(t) .$$

Глава 3. Рассмотрены мероприятия по решению проблем паводков в бассейне р.Селемджи в Дальневосточном регионе, где наиболее часто в России наблюдаются катастрофические наводнения. В проектом варианте регулирование паводков предусмотрено путем создания на р.Селемдже русловой ГЭС с крупной противопаводковой аккумулирующей емкостью. С использованием разработанной в диссертации компьютерной программы Phap Version 1.0 были проведены исследования режимов работы Селемджинской ГЭС при пропуске паводковых расходов обеспеченностью 1%. Пропуск паводка продолжительностью 60 дней осуществляется одновременно через агрегаты ГЭС и 10 донных отверстий. Во время пропуска паводка все агрегаты ГЭС работают в базисном режиме установленной мощностью. Донные отверстия работают в двух режимах «полного открытия» и «полного закрытия», их количество определяется проектным диспетчерским графиком. Анализ режимов регулирования паводковых расходов русловым водохранилищем Селемджинской ГЭС показал, что при достижении отметки ФПУ-221 м не удается обеспечить безопасный допустимый расход воды в нижнем бьефе (максимальный расход воды в нижнем бьефе составляет $5063 \text{ м}^3/\text{с} > Q_{\text{max доп}} = 4550 \text{ м}^3/\text{с}$). В период регулирования паводковых расходов водохранилищем Селемджинской ГЭС ее мощность в среднем составляет 96000 кВт. Выработка электроэнергии определилась в размере 138 млн. кВт ч.

В диссертационной работе были рассмотрены варианты уменьшения аккумулирующей емкости за счет её рассредоточения в системе водохранилищ с кратковременно затопливаемым ложем на боковых притоках р.Селемджи – реках Норе, Быссе, Альдиконе. С использованием компьютерной программы математической модели обоснования параметров и режимов работы противопаводкового гидроузла с нерегулируемыми донными и поверхностными водопропускными сооружениями по каждому гидроузлу были выполнены гидравлические расчеты, определялись зарегулированные расходы в нижнем бьефе, отметки уровня воды в верхнем бьефе, объем воды при аккумуляции противопаводкового стока, площади и продолжительность затопления земель. На рис.5 показаны изменения расходов воды в нижнем бьефе Норского гидроузла - самого крупного из противопаводковых гидроузлов.

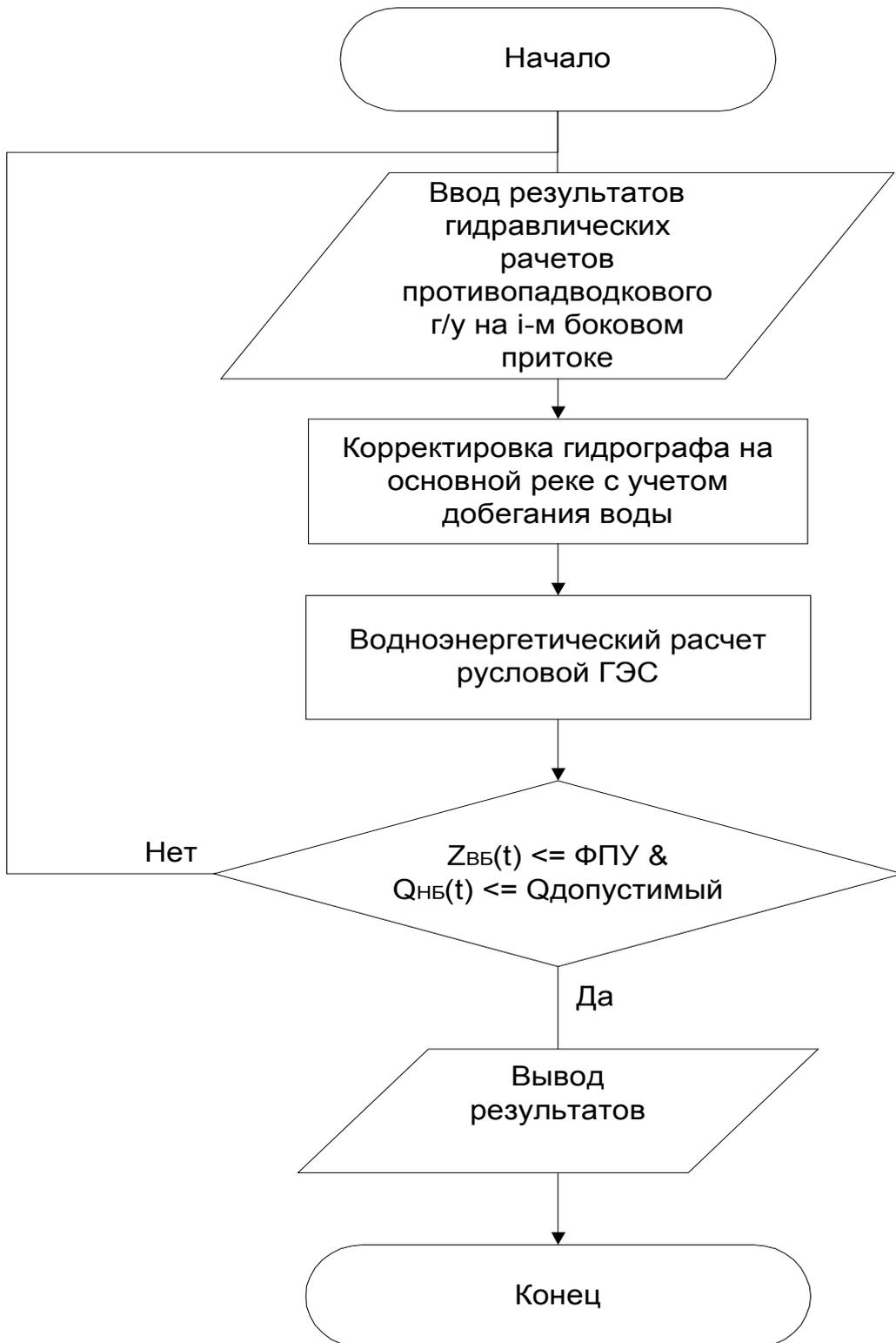


Рис. 3. Алгоритм расчета режимов регулирования падводковых расходов системой распределенных на водосборе гидроузлов

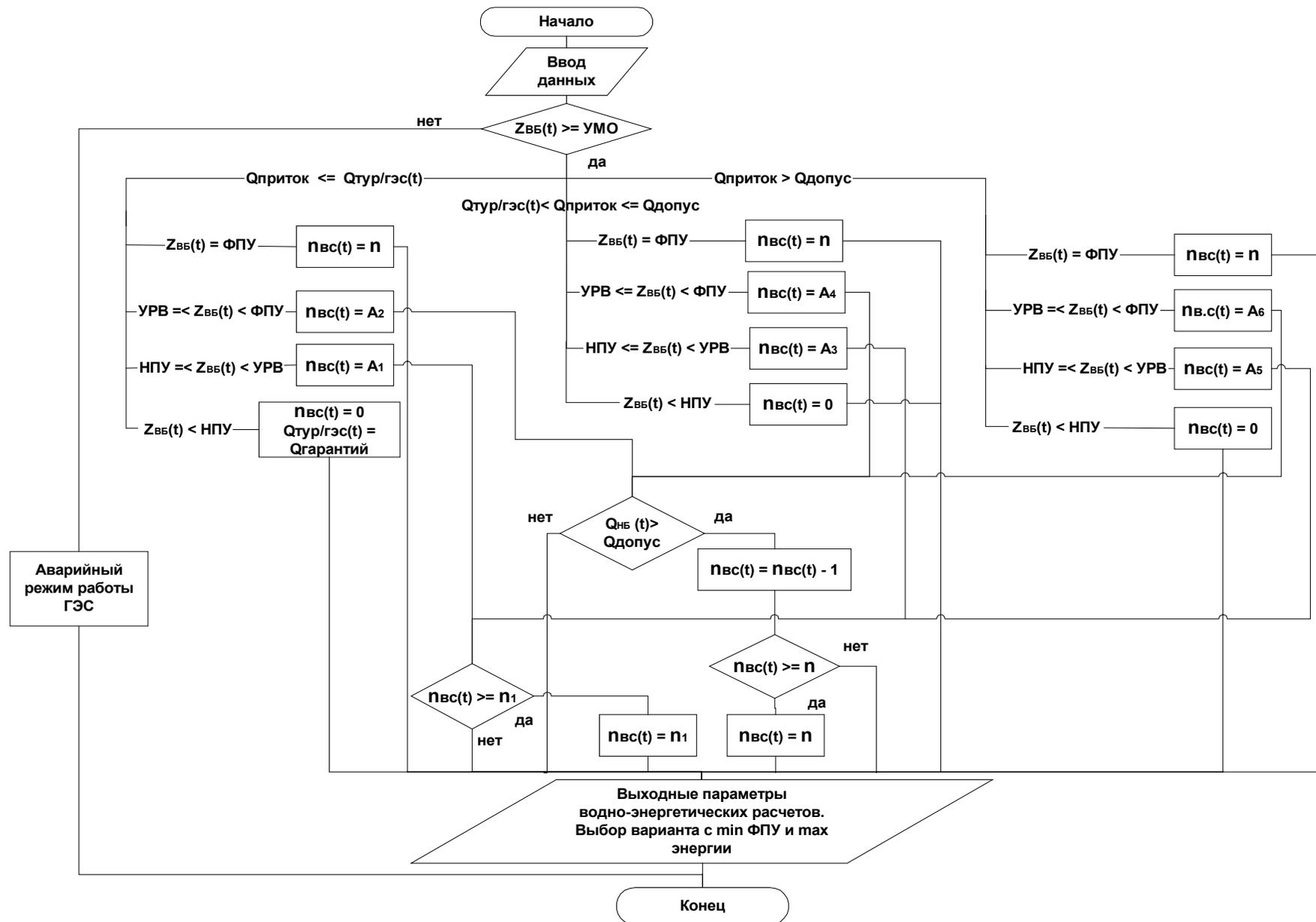
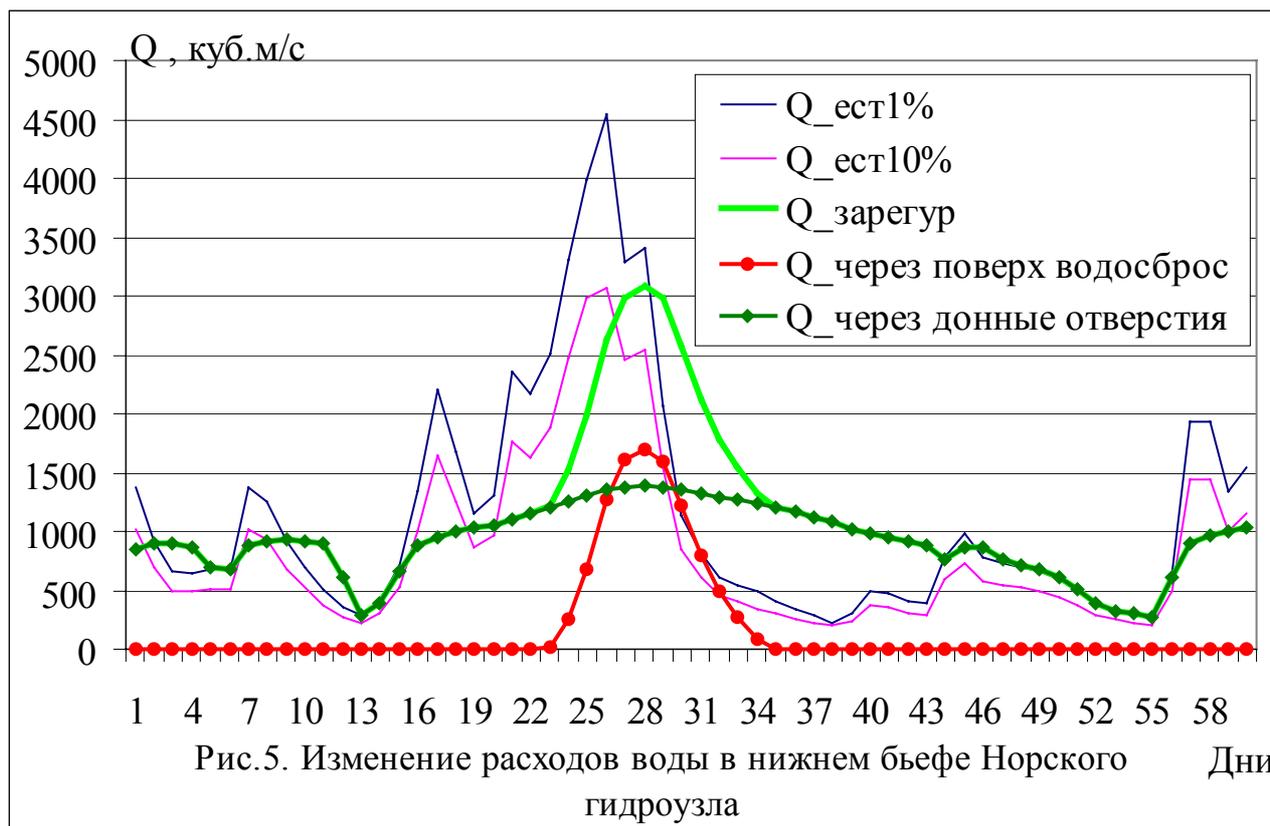


Рис. 4. Алгоритм расчета режимов работы русловой ГЭС при годичном регулировании стока



Анализ результатов расчетов показал, что максимальный расход снижается с $4450 \text{ м}^3/\text{с}$ до $3080 \text{ м}^3/\text{с}$ (на 32%). Данный расход примерно равен естественному расходу 10% обеспеченности, что позволяет сохранить паводковый режим в пойме реки.

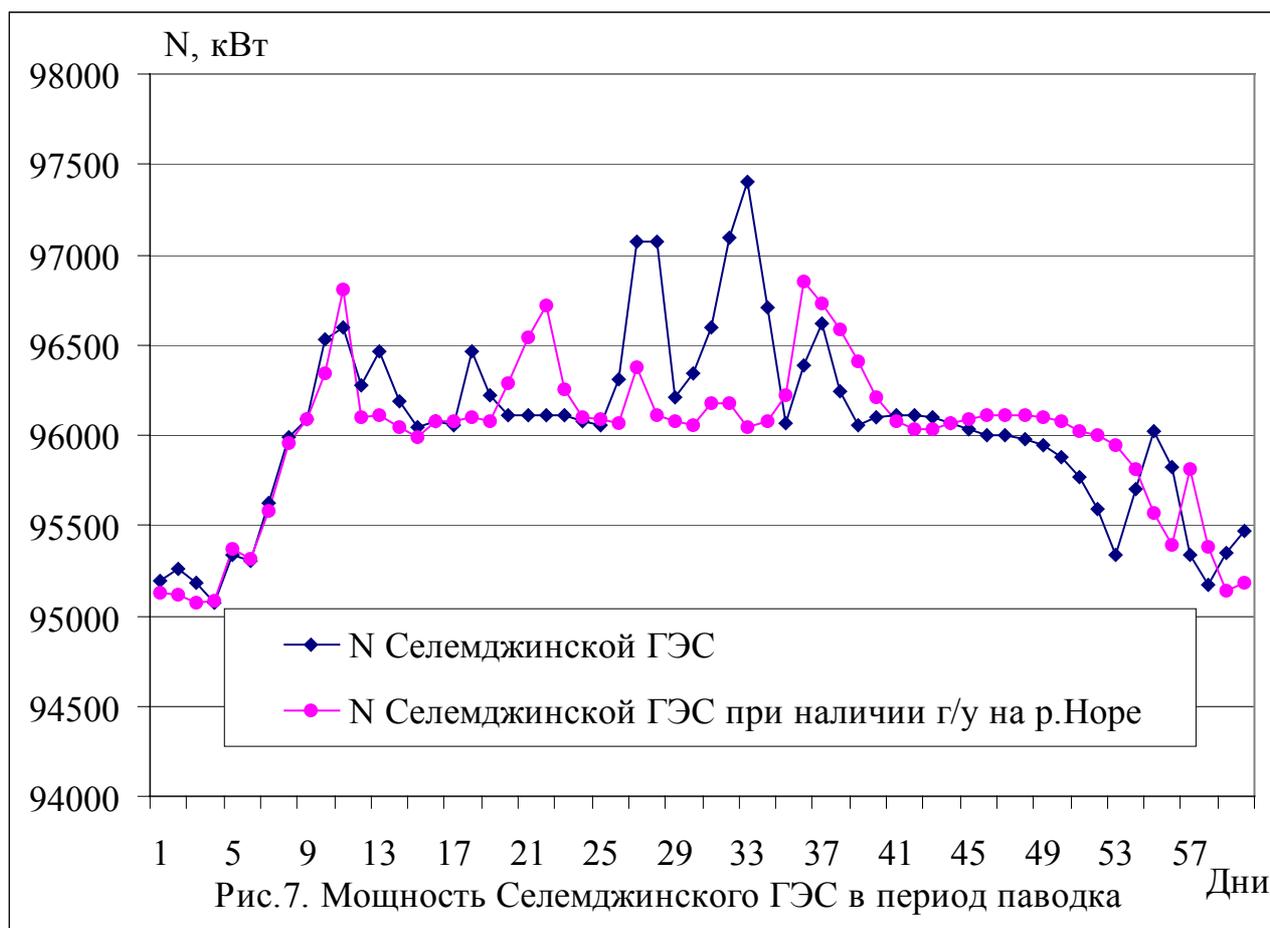
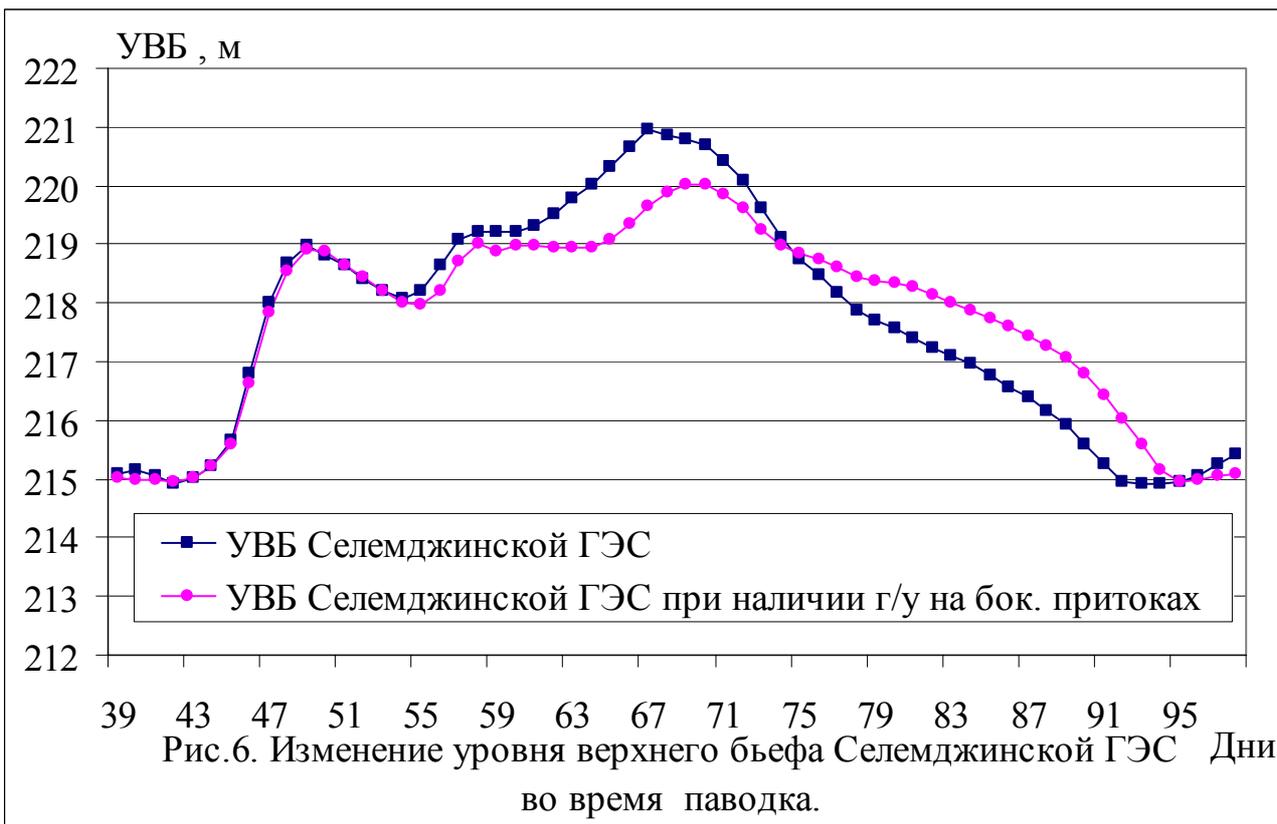
Исследование эффективности совместного регулирования паводковых расходов системой распределенных на водосборе гидроузлов выполнялось для двух основных вариантов:

- совместная работа Селемджинского гидроузла и каждого из гидроузлов на боковых притоках;
- совместная работа Селемджинского гидроузла и нескольких гидроузлов на боковых притоках

При этом учитывалась возможная различная обеспеченность паводковых расходов на боковых притоках бассейна р.Селемджи.

Выполненный анализ режимов регулирования стока показал, что требования удовлетворяются, если совместно с Селемджинским гидроузлом будет работать Норский гидроузел. Этот состав гидроузлов принимается в качестве основного.

При работе Норского гидроузла, поступающий в русловое водохранилище максимальный расход 1% обеспеченности уменьшается с $9010 \text{ м}^3/\text{с}$ до $8660 \text{ м}^3/\text{с}$. Для поддержания максимально допустимого расхода воды в нижнем бьефе ГЭС $4550 \text{ м}^3/\text{с}$ заполнение водохранилища необходимо производить лишь до отметки 220 м (рис.6).



При этом площадь затопления земель уменьшается на 60,2 км² (11,7%). Снижается также продолжительность затопления земель.

Показатели энергоотдачи Селемджинской ГЭС в период трансформации паводка 1% обеспеченности Норским гидроузлом составят: средняя мощность 96050 кВт; выработка электроэнергии 138 млн.кВт·ч.(рис.7).

При соответствии проектной энергоотдаче вариант регулирования стока системой распределенных на водосборе гидроузлов имеет ряд преимуществ:

- снижается на 11% площадь затопления земель в верхнем бьефе Селемджинского гидроузла;

- расширяется зона уменьшения паводкового риска за счет защиты верховых участков р.Селемджи;

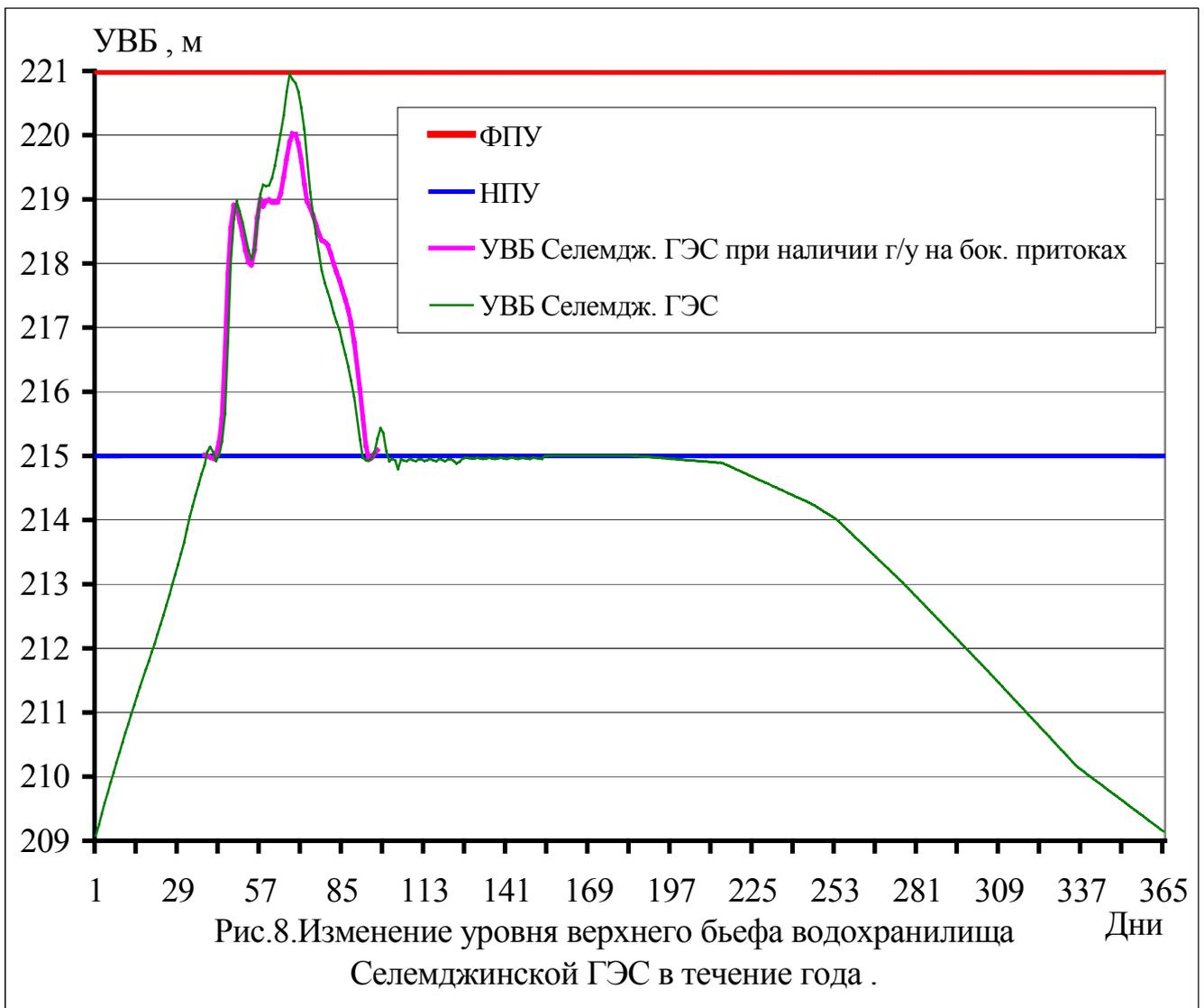
- снижается удельная антропогенная нагрузка за счет ее рассредоточения в пределах речного бассейна;

- снижаются затраты в русловой гидроузел.

При регулировании паводковых расходов только одним русловым водохранилищем Селемджинской ГЭС, чтобы при его заполнении отметка уровня воды не превысила 220 м, необходимо проводить предпаводковую сработку водохранилища в размере около 38% полезного объема. В результате уменьшения напора снизятся показатели энергоотдачи ГЭС.

В варианте сооружения противопаводковых гидроузлов на боковых притоках предпаводковая сработка руслового водохранилища не потребуется. Таким образом, работа неэнергетического гидроузла на боковом притоке приводит к энергетическому эффекту на русловой ГЭС, выражающемуся в увеличении выработки электроэнергии в период паводков. Рассмотрен вариант, когда одно донное отверстие Норского гидроузла не функционирует, установлено, что в этом случае обеспечивается безопасный режим работы Селемджинской ГЭС.

Произведена оценка годичного режима работы Селемджинской ГЭС при совместном регулировании паводковых расходов с Норским гидроузлом. Водно-энергетические расчеты выполнялись с использованием проектного диспетчерского графика режимов работы Селемджинского водохранилища. На рис.8 показано изменение уровня воды в верхнем бьефе Селемджинского гидроузла в течение года.



Глава 4. В диссертации была поставлена задача рассмотреть ситуацию кратковременного затопления болот и заболоченных лесов. Эта задача имеет важное значение для регионов с муссонным типом климата (Дальний Восток, Юго-Восточная Азия), так как здесь часто встречаются заболоченные ландшафты.

Несмотря на имеющиеся различия болот и заболоченных лесов в Приморье и Вьетнаме, общим для них является наличие торфов, способных к всплыванию, а также большая хвойно-лиственная фитомасса древостоев.

Оценка воздействия кратковременного затопления болот и заболоченных лесов на природную среду требует анализа многих параметров. В данной работе рассматриваются два важнейших из них – состояние торфяной залежи, являющееся критерием сохранности болот, и кислородный режим водохранилища противопаводкового гидроузла как показатель качества воды.

Анализ результатов расчетов режимов работы Норского гидроузла позволил определить площади затопления болот, уровень слоя воды и продолжительность затопления, а также площадь всплывания торфов. При

кратковременном затоплении болот в ложе водохранилища Норского гидроузла площадь всплывания торфов небольшая и составляет около 3%.

В диссертации для оценки дефицита кислорода при кратковременном затоплении леса используется модель ЛТА самоочищения воды и изменения её качества в контакте с хвойно-лиственной фитомассой.

Расчет дефицита кислорода при затоплении лесов выполнялся для вариантов: с максимальной плотностью древостоев и объемом хвойно-лиственной фитомассы (что в большей степени соответствует условиям Вьетнама); с частичной лесосводкой (например на площади, составляющей 15% от площади затопленного леса). Оценивая дефицит кислорода в водохранилище Норского гидроузла в зависимости от площади затопленных древостоев, можно определить необходимую минимальную площадь частичной лесосводки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Выделена стабилизирующая роль гидроэнергетики в развитии энергетического хозяйства. Аргументировано возрастание риска наводнений, вызванных ливневыми осадками на фоне наблюдающейся тенденции изменения климата. Подтверждена определяющая роль использования водохранилищ ГЭС в качестве основного метода борьбы с наводнениями. Обосновано использование для речных бассейнов Вьетнама метода борьбы с наводнениями путем сооружения на основной реке гидроузла с ГЭС и размещения на боковых притоках дополнительных противопаводковых водохранилищ.
2. Разработаны и программно реализованы математические модели:
 - режимов работы руслового гидроузла с ГЭС при регулировании паводковых расходов водопропускным сооружением с донными отверстиями с учетом обеспечения максимальной выработки электроэнергии ГЭС и требований надежного и безопасного функционирования гидроэнергетического объекта;
 - режимов работы противопаводкового гидроузла на боковом притоке с нерегулируемым водопропускным сооружением с учетом требований охраны окружающей среды;
 - регулирования паводковых расходов на водосборе русловым гидроузлом с ГЭС на основной реке и системой временно заполняемых водохранилищ противопаводковых гидроузлов на боковых притоках;
 - режимов работы русловой ГЭС с водохранилищем годичного регулирования стока на основе диспетчерского графика с учетом функционирования противопаводковых гидроузлов на боковых притоках;
3. С использованием разработанных моделей выполнены исследования режимов работы руслового гидроузла с ГЭС при самостоятельном регулировании паводковых расходов, а также при совместном

регулировании с дополнительными противопаводковыми гидроузлами на боковых притоках. Определены параметры и режимы работы противопаводковых гидроузлов с учетом требований охраны окружающей среды. Обоснован базовый вариант регулирования паводковых расходов в речном бассейне и определен состав системы гидроузлов и эффективность совместного регулирования.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Елистратов В.В., Масликов В.И., Фан Вьен Фыонг. Моделирование режимов регулирования паводковых расходов системой распределенных водохранилищ.// Сб. трудов Международной научно-технической конференции «Научные проблемы энергетики возобновляемых источников». Самара.- 2000.- С.62.

2. Елистратов В.В., Масликов В.И., Фан Вьен Фыонг. Комплексное управление паводками речного бассейна с учетом требований экологической безопасности.// Сб. материалов IV Международной конференции «AQUATERRA». СПб.- 2001.- С.72-73.

3. Елистратов В.В., Масликов В.И., Фан Вьен Фыонг. Регулирование стока речного бассейна системой распределения на водосборе гидроузлов.// Сб. трудов Международной научно-технической конференции «Гидротехника и гидроэнергетика: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов». Самара.- 2002.- С.63-68.

4. Yu.S.Vasiliev, V.V.Elistratov, V.I.Maslikov, Fan Vien Fuong. Ecological safety of flood management within a river basin.// International symposium Hydraulic and Hydrological Aspects of Reliability Safety Assessment of Hydraulic Structures. Proceeding. St.Petersburg.-2002.-pp.285.

