

Г.С. Арсеньев

ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области гидрометеорологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Гидрология»



Санкт-Петербург
2003

УДК 556.18:627.8

Арсеньев Г.С. Основы управления водными ресурсами водохранилищ. Учебное пособие. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003 – 78 с.

ISBN 5-86813-054-5

Рецензент: А.В. Рождественский, д-р техн. наук, проф. ГГИ; кафедра гидрологии суши СПбГУ.

Учебное пособие написано по одному из разделов дисциплины «Основы управления гидрологическими процессами».

Рассмотрены общие положения современной методологии разработки Правил управления водными ресурсами водохранилищ с целью повышения эффективности их использования. Основное внимание уделено эколого-гидрологическому обоснованию режимов работы водохранилищ и основным направлениям по снижению их земельноемкости. Приведены примеры разработки Правил управления работой некоторых водохранилищ.

Предназначено для студентов старших курсов в рамках инженерной и магистровской подготовки по специальности «Гидрология».

Arseniyev, G.S. Fundamentals of Water Resources Management of Reservoirs. A manual. – St. Petersburg: RSHU Publishers, 2003. – 78 pp.

The general statements of the modern methodology of developing the guidelines for water resources management of reservoirs are reviewed aiming at improvement in the efficiency of their utilization. The basic attention is given to the eco-hydrological substantiation of the reservoirs operation regimes and major techniques used in order to reduce the land areas covered by them. Examples of developing the guidelines for operation control of certain reservoirs are cited.

The manual is intended for senior students specializing in continental hydrology within the framework of the Engineer and Master's degree training courses.

ISBN 5-86813-054-5

© Арсеньев Г.С., 2003

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

С переходом университета на новую подготовку специалистов-гидрологов: бакалавр, инженер или магистр, в учебный процесс введена новая дисциплина – «Основы управления гидрологическими процессами».

Учитывая важность дисциплины для подготовки гидрологов к трудовой и научной деятельности в реальных хозяйственных сферах, отсутствие учебника, разбросанность публикаций по множеству журналов и сборников, назрела необходимость в опубликовании учебного пособия.

Настоящее пособие посвящено третьему основному разделу дисциплины.

Пособие состоит из четырех разделов.

В первом разделе рассматривается методология разработки водохозяйственных балансов как основы для проведения регулирования стока. Целесообразно особое внимание обратить на проблему установления экологического стока ниже регулирующих сооружений. Эта проблема является отправной для разработки правил управления водными ресурсами водохранилищ.

Второй раздел включает мероприятия по снижению затопления земель при создании водохранилищ на примере озер-водохранилищ Карелии и Кольского полуострова, Волжско-Камского каскада водохранилищ, расположенного на равнинных реках и Ангара-Енисейского каскада водохранилищ, расположенного в горных и предгорных районах России.

Третий раздел посвящен методам и практическим приемам разработки правил управления водными ресурсами водохранилищ, основным содержанием которых являются диспетчерские графики. Особое внимание следует обратить на разработанные автором основные положения правил управления работой первоочередных водохранилищ, осуществляющих с различной степенью регулирования стока. Здесь же дан пример разработки правил управления водными ресурсами системы водохранилищ, гидравлически связанной и работающей в режиме компенсирующего регулирования стока.

Отдельной главой выделена противопаводковая функция водохранилищ, направленная на снижение максимальных паводочных и паводковых расходов воды. Учитывая, что методология расчетов

пропуска высоких паводий и паводков через одиночные гидроузлы изложена в литературе достаточно подробно [2], глава посвящена проблеме пропуска паводий и паводков через каскад гидроузлов. Методы решения указанной проблемы показаны на примерах пропуска паводий и паводков через каскад Енисейских ГЭС, разработанных автором.

Определенную угрозу безопасности гидротехническим сооружениям представляет изменение параметров максимального стока во времени. Решение данного вопроса рассмотрено также на авторском примере пропуска паводья через Велюйский гидроузел.

В четвертом разделе дана оценка влияния водохранилищ на режим расходов (уровней воды) на протяжении нижнего бьефа. Здесь важно знать не только степень воздействия, но и протяженность участка, на котором эти воздействия имеют место. Излагаются результаты расчетов, проведенных автором, по оценке влияния регулирования стока Красноярским водохранилищем неглубокого многолетнего регулирования стока, Новосибирским водохранилищем сезонного регулирования стока, Велюйским водохранилищем глубокого многолетнего регулирования стока на водный режим реки.

Для лучшего освоения теоретического материала и примеров расчетов в пособии после каждой главы помещены контрольные вопросы охватывающие основные положения изложенного материала.

Автор благодарит проф., д-ра техн. наук А.В. Рождественского и коллектив кафедры гидрологии суши факультета географии и геоэкологии СПбГУ за ценные советы и замечания по рукописи, а также инженера кафедры гидрологии суши РГГМУ Н.Г. Малышеву за подготовку рукописи к изданию.

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ, ПРИНЯТЫХ В УЧЕБНОМ ПОСОБИИ

ГГИ – Государственный гидрологический институт

ЭВХК – энерговодохозяйственный комплекс

ГЭС – гидроэлектростанция

ПЭС – приливная электростанция

АЭС – атомная электростанция

ИВП РАН – институт водных проблем Российской Академии наук

ФПУ – форсированный подпорный уровень

НПУ – нормальный подпорный уровень

УМО – уровень мертвого объема

ВВЕДЕНИЕ

Мировой опыт, включая Россию, показывает, что наиболее распространенным и эффективным средством управления водными ресурсами и решения многих водных проблем является регулирование стока водохранилищами. Доказательством этого является создание каскадов водохранилищ и ГЭС многоцелевого назначения (ЭВХК) в бассейнах рек Енисея и Ангары, Волги и Камы, Днепра, Сулака и др. Водоохранилища, перераспределяя воду из многоводных сезонов и периодов в маловодные, существенно увеличивают доступные к использованию водные ресурсы и тем самым гарантируют все виды водоснабжения, создают условия для эффективного использования гидроэнергопотенциала рек, улучшают санитарное состояние рек. Каскадное использование рек позволяет перейти на единые транспортные глубоководные пути. Водоохранилища как мощные аккумуляторы воды и энергии в недалеком будущем могут способствовать созданию «энергетических ансамблей» – ГЭС и ПЭС; ГЭС, ПЭС и АЭС и др.

Наряду с большой пользой создание водохранилищ сопровождается известными негативными последствиями. Многие из них вызваны безнравственным отношением к новым, весьма чувствительным географическим образованиям. Так, например, обрушению берегов водохранилищ способствует распахка земель вплоть до уреза, строительство дачных поселков, отсутствие действенной водохранной зоны по периметру водохранилищ. Цветение воды, и как следствие, ухудшение ее качества есть результат выпуска в водохранилища неочищенных и слабо очищенных сточных вод и вод с сельхозугодий, а также грубая подготовка ложа водохранилища к затоплению. Возможные негативные явления на протяжении нижних бьефов в настоящее время смягчаются или ликвидируются путем диспетчерского ограничения режима попусков из водохранилища в соответствии со складывающейся гидрометеорологической и социальной обстановкой.

Для разрешения многочисленных противоречий при подготовке к эксплуатации водохранилищ и повсеместного превращения их в хранилища чистой воды и производителей биопродукции наряду с осуществлением хорошо известных организационных, технологических, экономических и экологических мероприятий специалистами

ИВП РАН предлагается к разработке оригинальная концепция, состоящая из трех взаимосвязанных элементов:

1. Обоснование необходимости утверждения статуса водохранилища как биогеосистемы, основной задачей которой является производство воды надлежащего качества для обеспечения нормального функционирования как водных, так и наземных экосистем. Это в первую очередь относится к равнинным водохранилищам, расположенным в освоенных районах с высокой плотностью населения;

2. Обоснование необходимости осуществления всех видов хозяйственного использования водохранилищ, в том числе и регулирование ими стока лишь в пределах, не нарушающих нормального функционирования экосистем;

3. Обоснование необходимости улучшения использования и охраны природных ресурсов акваторий и береговых зон водохранилищ на основе организации их пространственной и функциональной структуры путем районирования, планировки и обустройства.

Основой управления водноресурсными системами служат водохозяйственные балансы – сопоставление располагаемых водных ресурсов с потребностями в воде. Методология составления водохозяйственных балансов разработана достаточно давно. Однако ряд положений требует уточнения или даже решения. К ним относятся, в частности, годовое водопотребление, которое на конкретную дату обычно оценивается однозначно. Однако оно подвержено значительным колебаниям как по величине, так и в течение года. Так, например, в зоне неустойчивого увлажнения различие в испарении влажных и сухих лет достигает 2–3-х раз, а максимальная ордината гидрографа может изменять свое календарное положение до 2 месяцев. Учесть изложенное, по-видимому, возможно только путем дифференцирования водопотребления по его видам для различных физико-географических зон и т. п.

На большинстве крупных речных систем основная доля расходной части водохозяйственного баланса обычно приходится на осуществление специальных пусков воды, необходимых для обеспечения работы гидроэлектростанций и водного транспорта, для обводнения пойменных угодий, сохранения должного по санитарным требованиям качества вод речных и около речных экоси-

стем, создающих приток к устьевому створу для поддержания заданного водно-солевого режима водоемов, принимающих реку.

В настоящее время каких-либо однозначных приемов установления попусков, кроме судоходных и сельскохозяйственных, отвечающих требованиям охраны окружающей среды, пока нет. Сложившаяся практика назначения экологических, в том числе и санитарных, попусков воды по величине естественного минимума летне-осенней или зимней межени не имеет научной основы и может приводить к искусственному занижению дефицитов водных ресурсов при расчетах водохозяйственных балансов на перспективу. Данный вопрос требует безотлагательного решения с учетом обоснованных критериев допустимости воздействия на природные комплексы.

Все попуски подвержены межгодовым и внутригодовым колебаниям, что требует разработки водохозяйственных балансов по многолетнему стоковому периоду или большому количеству моделей межгодового и внутригодового распределения.

Сведение водохозяйственных балансов возможно за счет строительства гидроузлов с водохранилищами, регулирующими речной сток в соответствии с заданным режимом водопотребления, более интенсивного вовлечения в хозяйственное использование подземных вод, привлечения сюда части стока из районов, богатых водными ресурсами.

На территории России находится свыше 2000 водохранилищ, из них прошли паспортизацию 1162 водохранилища. Площадь водного зеркала последних составляет 115400 км², в том числе подпертых озер – 52600 км², их полный объем равен 924,5 км³, полезный – 433,5 км³. Наиболее крупные водохранилища созданы при гидроэлектростанциях. В пределах России таких водохранилищ (с полным объемом более 1 км³) насчитывается 49. На их долю приходится 92,8 % суммарной площади водной поверхности всех водохранилищ, 96,4 % полного и 95,4 % полезного объемов водохранилищ.

В соответствии с Водным кодексом Российской Федерации использование и охрана водных ресурсов водохранилищ осуществляется в соответствии с требованиями, согласованными с заинтересованными органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, со специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей природной среды, государственным органом санитарно-эпидемиологического надзора, государст-

венным органом управления использованием и охраной рыбных ресурсов и другими заинтересованными органами управления.

Основным документом, регламентирующим принципы и методы управления стоком рек с максимально возможным учетом интересов водопользователей и безопасности подпорных сооружений гидроузла, населения и хозяйства в его нижнем бьефе, является «Основные правила или основные положения правил использования водных ресурсов водохранилищ».

«Правила» являются средством обеспечения оптимального использования водных ресурсов в интересах всех водопользователей в условиях неопределенности исходной гидрологической информации и представляются в виде собственно диспетчерских правил и диспетчерских графиков. Последние разрабатываются в строгом соответствии с «Методическими указаниями по составлению правил использования водных ресурсов водохранилищ гидроузлов электростанций», М.: 2000 г.

1. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС КАК ОСНОВА НЕОБХОДИМОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

1.1 Методика составления водохозяйственных балансов

Водохозяйственные балансы представляют собой расчетные материалы, сопоставляющие потребность в воде с имеющимися на данной территории водными ресурсами при определенном уровне развития хозяйства.

Баланс выясняет доступные к использованию водные ресурсы; подтверждает возможность удовлетворить ими намечаемое развитие хозяйства или указывает на исчерпание (дефицит) водных ресурсов; устанавливает принципиальный состав водохозяйственных мероприятий по покрытию (сведению) дефицитов воды при различных вариантах размещения водоемких потребителей: регулировании стока водохранилищами, привлечение вод из других бассейнов и др.; определяет, в некоторых случаях, свободный объем воды, оставшийся в реке для использования его за пределами рассматриваемой территории.

Водохозяйственный баланс состоит из приходной и расходной частей.

Приходная часть баланса включает следующие элементы.

- Естественный поверхностный сток (Q_e).
- Доля эксплуатационных расходов подземных вод, которая гидравлически не связана с поверхностными (Q_n).
- Возвратные, дренажные, шахтные и сточные воды, поступающие в реку в пределах бассейна или его участка (Q_c).
- Воды, перебрасываемые из других бассейнов ($Q_{пер}$).
- Объемы сработки водохранилищ за расчетные интервалы времени ($Q_{в-ш}$). Эти объемы включаются затем в расходную часть баланса в период наполнения водохранилища или в приходную часть со знаком минус.

Расходная часть баланса обычно включает следующие элементы.

- Воды, забираемые из реки выше створа на орошение, подпитку озер, а также на коммунально-бытовое и промышленное водоснабжение (за вычетом возвратного расхода, если водоотведение производится выше створа) ($Q_{заб}$).
- Воды, перебрасываемые в другие бассейны ($Q_{прб}$).

- Потери воды на дополнительное испарение с поверхности водохранилищ и прудов ($Q_{и}$).
- Потери речного стока, вызванные забором дренируемых подземных вод ($Q_{подз}$).
- Расходы попусков воды ниже расчетного створа ($Q_{поп}$). Попуски необходимы для нормальной работы водозаборов, поддержания санитарного состояния реки, обеспечения судоходства, а в некоторых случаях – обводнения пойм и нерестилищ.

Таким образом, уравнение водохозяйственного баланса в общем виде можно представить выражением:

$$Q_{с} + Q_{п} + Q_{с} + Q_{пер} \pm Q_{в-ш} - Q_{заб} - Q_{прб} - Q_{и} - Q_{подз} - Q_{поп} \begin{matrix} < \\ \approx \end{matrix} 0.$$

Большая часть расходной составляющей формируется специальными попусками (расходами) воды ниже створа разработки баланса. Значения этих расходов воды устанавливаются в соответствии с выявленными требованиями различных водопользователей к водным ресурсам реки ниже расчетного створа.

В настоящее время достаточно четкие требования к расходам попусков установлены только для судоходства и сельского хозяйства. В то же время каких-либо однозначных приемов установления экологических (природоохранных) попусков пока нет. Следует отметить, что при составлении балансов нет единого подхода к статьям приходной и расходной его частей. Здесь необходимо учесть все объемы забора воды выше рассматриваемого створа, а также объемы необходимых попусков ниже створа.

Расчет водохозяйственных балансов производится в удобной табличной форме в условиях стока разной водности, как правило, обеспеченностью (по стоку) 50, 75, 90 и 95%.

Колебания стока внутри года и сезонная неравномерность водопользования обуславливает необходимость составления балансов по интервалам времени, в пределах которых этими изменениями можно пренебречь. Как правило, можно ограничиваться декадными интервалами в период половодья и месячными – в период межени.

Для сохранения в расчетах реальных соотношений водности в различных частях бассейна рекомендуется составлять балансы для годового и сезонного стока в замыкающем створе и в устьях крупных притоков. Баланс составляется для конкретных лет, близких по вод-

ности к году расчетной обеспеченности. При таком подходе, позволяющем автоматически учесть распределение стока между реками и участками рек бассейна, может оказаться необходимым предварительно рассмотреть 5 – 8 характерных по водности лет с различным внутригодовым и внутрибассейновым распределением стока и выбрать наиболее неблагоприятные (с наибольшими дефицитами воды).

Во избежание занижения доступных к использованию водных ресурсов, сток рек за характерные годы, принятые в качестве расчетных, следует приводить к естественным условиям, увеличивая его на объем безвозвратного водопотребления выше рассматриваемого створа, имевшего место в этот год.

Водохозяйственные балансы составляются чаще всего для условий водохозяйственного года (с начала половодья до конца зимней межени) в млн. м³.

В качестве примера в табл. 1.1 составлен водохозяйственный баланс р. Днепра в условиях маловодного года.

По итогам водохозяйственных балансов для некоторого расчетного уровня можно выделить следующие случаи.

1. Положительный баланс, когда для всех расчетных интервалов времени объем приходной части баланса больше расходной части и дополнительных водохозяйственных мероприятий на данном уровне не требуется. При этом складывающийся избыток водных ресурсов в регионе позволяет осваивать новые виды водопользования, не ущемляя существующие.

2. Увязанный баланс, при котором наблюдается динамическое равновесие между приходной и расходной частями баланса. В этом случае для развития водозабора необходимо проведение специальных водохозяйственных мероприятий по изысканию дополнительных водных ресурсов внутри региона или осуществление переброски вод извне.

3. Отрицательный баланс, когда наличные водные ресурсы региона недостаточны для удовлетворения потребности в воде с необходимой степенью обеспеченности, включая требования к расходам воды ниже створа разработки баланса. В этом случае необходимы следующие мероприятия.

- При дефиците воды в отдельные расчетные интервалы времени и отсутствии его в годовом балансе маловодного года возникает необходимость проведения сезонного регулирования стока водохранилищем, т.е. перераспределения стока из многоводного сезона (половодье) на межень.

Таблица 1.1

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС Р. ДНЕПРА В УСЛОВИЯХ МАЛОВОДНОГО ГОДА
ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ 95%, млн. м³**

Элемент баланса	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Год
Приходная часть													
естественно-бытовой сток	4718	9121	5533	2372	1924	1529	1433	1271	1560	765	1271	1080	32577
перевоска стока из других бассейнов	22	22	22	60	60	60	60	22	22	22	22	21	415
добавка за счет регулирования водохранилищами	-2863	-6769	-1759	1859	2990	2887	159	-71	-42	1627	1122	1314	454
подземные и шахтные воды	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	1884
итого:	2034	2531	3953	4448	5131	4633	1809	1379	1697	2571	2572	2572	35330

Таблица 1.1. (продолжение)

Элемент баланса	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Год
Расходная часть													
Безвозвратные заборы воды:													
промышленностью	240	240	300	300	311	300	300	300	240	240	240	240	3251
коммунальным хозяйством	110	120	130	130	130	130	130	118	100	100	100	100	1398
сельскохозяйственным водоснаб- жением	60	60	60	75	71	71	71	71	60	60	60	60	1398
на увлажнение полей	-	-	-	230	230	230	230	230	-	-	-	-	1 150
на орошение	-	480	900	1100	1100	1100	900	900	208	-	-	-	6688
рыбным хозяйством	-	-	-	180	200	200	200	82	-	-	-	-	862
Потери на испарение	-	210	450	420	550	480	420	270	210	190	-	-	3200
Переброски стока в Крым	110	600	600	600	600	600	600	600	506	110	110	110	5146
Санитарные попуски в лиман	1315	1315	1315	1315	1315	1315	1315	1315	1315	1315	1315	1315	15780
Итого:	1845	3025	3710	4350	4507	4426	4116	3886	2639	2015	1825	1825	38254
Избыток или дефицит	189	-494	243	98	614	207	-2357	-2507	-942	556	747	747	- 2924
Сезонный дефицит								- 5806					

- Отсутствие дефицита стока лишь в балансе среднего по водности года ведет к необходимости проведения многолетнего регулирования стока или привлечения дополнительных источников.
- Дефицит в балансе среднего по водности года может быть устранен только путем привлечения в рассматриваемый бассейн вод извне.

Для ликвидации выявленных дефицитов стока намечают водохозяйственные мероприятия (регулирование стока, подача его из смежных бассейнов), достаточность которых проверяют повторным воднобалансовым расчетом. На основании отрицательного водохозяйственного баланса может быть сделан вывод о необходимости ограничения роста водопотребления, т.е. об отказе от развития в бассейне той или иной водоемкой отрасли.

В настоящее время практически все бассейны южной зоны характеризуются напряженным или отрицательным водохозяйственным балансом (Волга, Урал, Дон, Днепр, Днестр, Кура, Кубань, Амурь, Сырдарья и др.).

Сведение водохозяйственных балансов бассейнов южной зоны в обозримой и особенно отдаленной перспективах возможно за счет форсирования следующих основных мероприятий:

- экономного использования водных ресурсов и научно обоснованного снижения норм водопотребления;
- строительства гидроузлов с крупными водохранилищами, регулирующими речной сток в соответствии с заданным режимом водопотребления;
- более интенсивного вовлечения в хозяйственное использование подземных вод;
- привлечения сюда части стока из районов, богатых водными ресурсами.

1.2 Современная методология установления экологических (природоохранных) попусков

В современных условиях, исходя из охраны природы, необходимо в реках резервировать остаточный экологический сток. Величина остаточного экологического стока зависит от типа реки, водной и околоречной флоры и фауны. Чем выше экологический сток, особенно в период половодья, тем ниже регулирующая возможность создаваемых и эксплуатируемых водохранилищ ГЭС. Поэто-

му одним из основных вопросов рационального регулирования стока водохранилищ ГЭС и оптимального распределения водных ресурсов между участниками энергovoдoхoзяйствeннoгo кoмплeкca (ЭВХК) является вопрос установления экологических (природоохраннoх), в том числе и санитарных, попусков в нижние бьефы гидроузлов. Под экологическими попусками подразумеваются минимальные попуски по условиям охраны речных экосистем ниже створов регулирования стока. Санитарные попуски как элемент экологических должны обеспечивать разбавление поступающих в источники загрязнений от сточных, дренажных, ливневых, а также термальных вод. При минимально допустимых расходах воды не должно быть обратных, под влиянием ветра, течений, а также должна гарантироваться такая проточность, которая исключает промерзание рек зимой (кроме тех, которые промерзают в естественных условиях). Последнее достигается при средних скоростях течения не менее 0,3 м/с.

В настоящее время документами, регламентирующими величину минимальных расходов воды в реках, являются [4, 5, 6]. Анализу установления экологического стока посвящены публикации многих авторов: Авакяна А.Б., Владимирова А.М., Черняева А.М., Ратковича Д.Я., Шахова И.С. и др.

В соответствии с рекомендациями Минводхоза [4] санитарный попуск обычно назначается не меньше минимального среднемесячного расхода воды маловодного года обеспеченностью (по стоку) 95 %. Такое нормирование не корректно, поскольку не учитывает наличия внутригодового распределения стока, что может вызвать разницу в установленных минимальных расходах. В дальнейшем в типовых правилах эксплуатации водохранилищ того же ведомства объем природоохранного (экологического) попуска рекомендовано принимать в размере 75 % от объема половодья года 95 %-ной обеспеченности в течение половодного периода; в остальные месяцы объем попуска должен обеспечивать сохранение минимального среднемесячного расхода 95 %-ной обеспеченности.

Ведомственный документ МПР России № Нм-53/163 1997 г. требует, чтобы для промывки и обводнения поймы в весенний период в нижний бьеф гидроузла поступило не менее 20 % объема стока половодья года 75–95 % обеспеченности.

Сложившаяся практика назначения экологических (санитарных) попусков воды по величине естественного минимума летне-осенней или зимней межени, формально обоснованная вышеприведенными нормативами, может привести к серьезным просчетам.

По мнению А.Е. Асарина более правильно назначать в период межени минимальные расходы воды равные среднемесячным минимумам 95 %-ной обеспеченности отдельно для летне-осенней и для зимней межени или равные среднесезонным расходам воды той же обеспеченности. В период половодья, при этом, следует предусматривать ежегодный попуск для промывки русла и на некоторых реках для обводнения поймы. Этот попуск должен даваться в течение 10 или 5 дней с расходом не ниже среднего декадного или (на малых реках) среднего пентадного максимального расхода воды обеспеченностью 50–75 %. Один раз в 2–3 года расход весеннего попуска должен обеспечивать затопление поймы.

Учитывая, что экосистема водного потока складывается в период половодья и межени, правильнее следует говорить о не нарушаемом экологически безопасном гидрографе как неприкосновенной части каждого водного объекта. Он должен быть динамичным и изменяться в зависимости от водности года.

Каких-либо научно-обоснованных методов и критериев установления подобных экологических гидрографов нет. Есть только предложения Б.Е. Фашевского, которые сводятся к следующему:

- в год 25 % обеспеченности экологический гидрограф стока приравнивается к естественному обеспеченностью 50 %. В такой год наблюдается максимум воспроизводства живой природы (луга, рыба);
- в год 50 % обеспеченности экологический сток приравнивается к естественному гидрографу обеспеченностью 75 %, а в год 75 % обеспеченности – соответственно 95 % обеспеченности;
- в год 95 % обеспеченности экологический сток описывается гидрографом естественного стока 99 % обеспеченности.

Из изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Природоохранные требования со стороны нижнего бьефа водохранилищ гидроузлов обеспечиваются экологическими (санитарными), попусками. Указанные попуски не могут приниматься постоянной величиной, тем более равными величине меженного стока 95 % обес-

печенности. Более приемлемые по условиям охраны природы, рекомендуемые различными авторами, попуски, изменяющиеся по величине в периоды половодья и межени, не имеют надежного научного и эколого-экономического обоснования.

2. Принятие того или иного варианта формирования экологически безопасного гидрографа попусков осложняется отсутствием в настоящее время методологии и жестко нормированных требований к режиму водных объектов, критериев допустимости того или иного воздействия на природные комплексы, а также методов научно-обоснованной экономической оценки ущерба от недодачи воды отдельным участникам энергетического хозяйства комплексов.

1.3 Оценка воздействия экологических попусков на водо- и энерготдачу комплексных гидроузлов

Режим работы водохранилищ гидроэнергетических установок, особенно в половодный период, определяется объемом экологических попусков. Рекомендации по их установлению подробно изложены в предыдущем параграфе. К сожалению, все предлагаемые варианты установления экологических попусков носят формальный характер и не имеют эколого-экономического обоснования. Как первый шаг на пути их обоснования, автором впервые проведено исследование по оценке воздействий экологических попусков на энерготдачу комплексных гидроузлов, расположенных в различных регионах России.

Изучению были подвергнуты три гидроузла: Ирганайский гидроузел, расположенный на р. Аварское Койсу (Дагестан), Вилюйский гидроузел, расположенный на р. Вилюй (Якутия) и Саяно-Шушенский, расположенный на р. Енисей.

Ирганайский гидроузел имеет чисто энергетическое назначение, требования неэнергетических водопользователей (водоснабжение, водный транспорт, рыбное и сельское хозяйство) ничтожно малы. Обеспечение этих водопользователей – задача всего каскада водохранилищ, в состав которого кроме Ирганайского гидроузла входят Чиркейский, Миатлинский и Чирюртские гидроузлы.

Основное назначение Вилюйского гидроузла также в основном энергетическое. Неэнергетические водопользователи: водоснабжение и водный транспорт. Требования экспедиционного судоходства

сводятся к обеспечению нормируемых судоходных глубин в течение первых 4-х декад навигации (июнь и 1-ая декада июля).

Назначение Саяно-Шушенского гидроузла – выработка электроэнергии и обеспечение водного транспорта и других водопользователей. Требования водного транспорта сводятся к обеспечению судоходных попусков в течение всего периода навигации.

Основные параметры гидроузлов даны в табл. 1.2.

Таблица 1.2

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГИДРОУЗЛОВ
1 – Ирганайский, 2– Вилюйский, 3– Саяно-Шушенский

Параметры	Гидроузлы		
	1	2	3
Площадь водосбора, км ²	7320	141200	180000
Контролируемый расход воды, м ³ /с	103	632	1480
Параметры водохранилища:			
– площадь водного зеркала, км ²	18,0	2360	621
– полный объем, млн. м ³	705	40410	31330
– полезный объем, млн. м ³	397	22360	15340
Вид регулирования стока	годовое	много- летнее	годовое
Коэффициент регулирования стока	0,50	0,85	0,80
Коэффициент использования стока	0,997	0,93	0,96
Максимальный напор, м	198,7	70	221,0
Энергетические показатели:			
– установленная мощность, млн. МВт	800	648	6400
– среднесезонная годовая, выработка энергии, кВт·ч	1300	2500	23200

Было рассмотрено четыре варианта экологических попусков, а именно:

1. Нормируемые попуски (в половодье как 0,75 от объема весеннего половодья года обеспеченностью 95 %, в остальные месяцы – соответствующие минимальному среднесезонному расходу года 95 %-ной обеспеченности).

2. Рекомендуемые попуски как среднесезонные расходы воды обеспеченностью 95 % за периоды летней и зимней межени (в половодье то же, что и в п.1).

3. Рекомендуемые попуски как среднесезонные обеспеченностью 95 % (в половодье то же, что и в п.1).

4. Рекомендованные Б.В.Фашевским дифференцированные в зависимости от водности года попуски, а именно в год 50 %-ной

обеспеченности расходы соответствуют естественному гидрографу 75 %-ной обеспеченности, в год 75 % и 95 %-ной обеспеченности соответственно гидрографам 95 и 99 %-ной обеспеченности.

Таблица 1.3

ИРГАНАЙСКИЙ ГИДРОУЗЕЛ НА р. АВАРСКОЕ КОЙСУ

Параметр	Вариант пуска		
	проект	3	4
Половодье (май – август):			
– приток, млн. м ³	1700	1700	1700
– зарегулированный сток, млн. м ³	1289	1275	1446
– максимальный уровень водохранилища, м	547	547	539,6
Зимняя межень (декабрь – март):			
– естественный объем, млн. м ³	232	232	232
– зарегулированный объем, млн. м ³	523	523	437
– минимальный расход воды, м ³ /с:			
– естественный	20	20	20
– зарегулированный	47	47	44
Гарантированная мощность (ср. за межень), МВт	75,4	75,4	62,0
Снижение гарантии по отношению к проекту, МВт		0	13,4
%			18
Годовая выработка энергии, млн. кВт·ч	1023	1023	996

Таблица 1.4

ВИЛЮЙСКИЙ ГИДРОУЗЕЛ НА р. ВИЛЮЙ

Параметр	Вариант пуска		
	проект	3	4
Половодье (май – июнь):			
– приток, км ³	12,4	12,4	12,4
– зарегулированный сток, км ³	3,42	6,71	7,87
– максимальный уровень водохранилища, м	246,0	244,4	244,1
Зимняя межень (ноябрь – апрель):			
– естественный объем, км ³	0,12	0,12	0,12
– зарегулированный объем, км ³	9,58	7,15	6,11
– минимальный расход воды, м ³ /с:			
– естественный	3	3	3
– зарегулированный	555	439	325
Гарантированная мощность (средняя за маловодный период), МВт	301	229	194
Снижение гарантии по отношению к проекту, МВт.		72	107
%		24	36
Годовая выработка энергии, млн. кВт·ч	2273	2273	2263

САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ГИДРОУЗЕЛ НА р. ЕНИСЕЕ

Параметр	Вариант пуска		
	проект	3	4
Половодье (май – июль):			
– приток, км ³	17,7	17,7	17,7
– зарегулированный сток, км ³	9,45	12,5	15,8
– максимальный уровень водохранилища, м	533	526,7	511,6
Зимняя межень (ноябрь – апрель):			
– естественный объем, км ³	6,28	6,28	6,28
– зарегулированный объем, км ³	16,6	13,6	8,39
– минимальный расход воды, м ³ /с:			
– естественный	260	260	260
– зарегулированный	1053	862	504
Гарантированный расход (средний за межень), м ³ /с	1053	862	532
Снижение гарантии по отношению к проекту,			
м ³ /с		91	521
%		18,1	49,5
Годовая выработка энергии, млн. кВт·ч	2273	2273	2263

Для исследования степени воздействия вариантно установленных экологических попусков на энергоотдачу комплексных гидроузлов проведены расчеты регулирования стока по средневодным и маловодным годам обеспеченностью (по стоку) 95 %, а для Вилюйского гидроузла – по соответствующим периодам. В табл. 1.3 – 1.5 даны результаты расчетов для третьего и четвертого вариантов экологических попусков.

Анализ результатов расчетов в целом и по приведенным таблицам показал следующее:

- в периоды летне-осенней и зимней межени все варианты экологического стока перекрываются зарегулированными расходами воды;
- в период половодья фактический объем экологических попусков значительно превышает ожидаемый по проекту. Так в варианте 3 это превышение составляет 32% на Саяно-Шушенском гидроузле и почти вдвое увеличивается на Вилюйском гидроузле. В варианте 4 (по Фашевскому Б.В.) объем стока в половодье увеличивается по отношению к проектному до 12%, 67% и в 2,3 раза соответственно на Ирганайском, Саяно-Шушенском и Вилюйском гидроузлах.

Повышение попусков весной (против проектных) вызывает уменьшение зимних расходов воды и сокращение энергоотдачи ГЭС в самые напряженные по топливно-энергетическому балансу месяцы. Особенно значительное снижение зимней гарантированной отдачи наблюдается в варианте 4: до 18% – на Ирганайском, до 36% – на Вилюйском и до 50% – на Саяно-Шушенском гидроузлах. Это говорит о том, что принятие попусков по варианту 4 противоречит самой сути регулирования стока. При этом, из-за ненадежности гидрологических прогнозов дифференцированный по водности режим экологических попусков практически пока маловероятен. Годовая выработка энергии во всех вариантах попусков практически не меняется.

Следует прокомментировать и последние по времени рекомендации по установлению экологических расходов воды [*Носаль А.П., Черняев А.М.*, «Нормирование антропогенной нагрузки на водные объекты в свете концепции устойчивого развития». Инженерная экология, 2001, № 5. – С. 2–14.], которые сводятся к следующим:

- для меженных сезонов экологические расходы принимаются равными минимальному среднемесячному расходу воды года 95%-ной обеспеченности для лимитирующих сезонов года на незарегулированных реках (это соответствует рассмотренному варианту 2 для межени), а на зарегулированных участках – установленным на лимитирующий период гарантированным попуском в нижний бьеф, что не противоречит принимаемым в настоящее время;
- для весеннего половодья экологический сток принимается равным среднему за период половодья 50% обеспеченности расходу воды на незарегулированных участках рек и среднему сбросному расходу за тот же период на зарегулированных участках, что примерно соответствует объему естественного половодья обеспеченностью 97–99% (вариант Фашевского Б.В.).

Очевидно, что такой подход к установлению экологического стока в период половодья также противоречит самой сути регулирования речного стока.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Объем экологического стока в период половодья должен устанавливаться с учетом складывающейся гидролого-экологической

обстановки, так как влагозарядка русла и поймы определяется как попусками в створе гидроузла, так и объемом незарегулированной боковой приточности на протяжении нижнего бьефа.

2. Нормируемые и рекомендуемые в настоящее время экологические расходы в период половодья приводят к значительному снижению гарантированной отдачи и противоречат самой сути регулирования речного стока. Требуется дальнейшее обоснование с учетом критериев допустимости воздействия на природные комплексы и оценки ущерба от недодачи воды участникам ЭВХК.

3. Предпочтительнее в плане сохранения экосистемы речных пойм является пропуск транзитом первой или раз в два-три года первой и второй декадной волны, обеспечивающей затопление поймы, но это также требует дальнейших проработок.

4. Что касается периода летне-осенней и зимней межени, то здесь экологические попуски не должны быть ниже среднесезонных расходов обеспеченностью 95%. При этом расходы воды в реке будут соответствовать сформированным за тысячелетие характеристикам русла и поймы.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение водохозяйственных балансов?
2. Назовите основные статьи приходной и расходной частей баланса.
3. В чем состоят трудности определения экономических (природоохранных) попусков?
4. Какие Вы знаете рекомендации по установлению экологических попусков и в чем их недостатки?
5. Как влияют экологические попуски на режим водо- и энергоотдачи комплексных гидроузлов?

2. МИНИМИЗАЦИЯ УТРАТЫ ЛАНДШАФТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ЗЕМЛИ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ

2.1 Обзор существующего положения

Водохранилища – наиболее распространенный вид гидротехнических сооружений. Это очень сложные объекты, позволяющие перераспределять сток рек во времени, а совместно с каналами и другими водопроводящими сооружениями – и по территории. Водохранилища стали основой разностороннего и комплексного использования водных ресурсов, удовлетворяя при этом разнообразные требования, предъявляемые к ним различными отраслями хозяйства.

Что же является причиной возражения общественности против создания природно-технических водоемов-водохранилищ? Это прежде всего затопление и подтопление земли; переработка берегов; насильственное в ряде случаев переселение людей из зон будущих водохранилищ; ряд побочных и нежелательных изменений на протяжении нижних бьефов и т.п. Здесь уместно привести слова французского философа-гуманиста М. Монтеня: «Нет такой выгоды, которая не была бы связана с ущербом для других» (М. Монтень. Опыты. Гл. XXII. XV век).

По данным ИВП РАН общая площадь затопленных водохранилищами земель в России достигла 4,3 млн. га или около 0,30% общего земельного фонда. Эти проценты в Канаде и США составляют соответственно 0,60 и 0,80%, что в два-три раза выше, т.е. какой-то катастрофы здесь нет. Однако проблема сокращения земельного фонда страны существует и требует особого внимания при проектировании и расположении водохранилищ в плане сокращения их земельноёмкости.

2.2 Основные направления по снижению затопления земель при создании водохранилищ

Практика показывает, что в целях сокращения или мягкого воздействия на природные ландшафты водохранилища целесообразно создавать путем разумного подъема естественных уровней озер, так называемые озера-водохранилища или озерные водохранилища.

Водохранилища озерного гидроэкологического типа – это естественные озера, уровень воды в которых поднят плотиной, распо-

ложенной в истоке озерной реки или на некотором удалении от него. При создании озерного водохранилища затоплению подвергается, как правило, сравнительно узкая полоса прибрежной территории озерной котловины, площадь которой намного меньше акватории самого озера. В преобразованном таким образом озере затопленная наземная экосистема трансформируется в прибрежную, что в большинстве случаев не оказывает заметного влияния на жизнь озерной экосистемы в целом.

Русловые водохранилища лучше создавать на горных и предгорных реках. При этом за счет значительного подъема уровней реки и малой площади затопления можно иметь полезные объемы, осуществляющие глубокое регулирование речного стока.

Показателем, характеризующим утрату ландшафтов в результате затопления земель, может служить коэффициент K , характеризующий отношение полезного объема водохранилища ($V_{плз}$) к площади его водного зеркала (F) при наивысшем подпорном уровне [3]. Физически он представляет возможную величину создаваемого полезного объема водохранилища на единицу затопляемой при этом площади земель, т.е.

$$K = \frac{V_{плз}}{F} (\text{млн.м}^3/\text{км}^2).$$

Рассмотрим величину этого коэффициента на примере озерных и русловых водохранилищ.

а) озера-водохранилища

Более емкие по полезному объему водохранилища при наименьшей площади затоплений можно создать на базе естественных водоемов (озер), так называемые, озера-водохранилища. При значительной естественной водной поверхности озера за счет незначительного подъема его уровней (в пределах максимально наблюдаемой амплитуды колебаний) можно создать объемы водохранилищ, способные осуществлять глубокое регулирование стока. При этом площади затоплений (разность между площадями водной поверхности водохранилища при наивысшем подпорном уровне – F и естественного водоема – $F_{ос}$) будут изменяться незначительно.

Для озер-водохранилищ коэффициент K равен отношению $V_{плз}$ к $\Delta F = F - F_{оз}$, т.е.

$$K = \frac{V_{плз}}{\Delta F}.$$

Анализ коэффициентов K для озер-водохранилищ проведен на примере Карелии и Кольского п-ва. Исследуемый регион включает Мурманскую область и республику Карелию.

Главное назначение водохранилищ в Карелии и Мурманской области, особенно крупных, обеспечить работу ГЭС. Некоторые водохранилища, например Выгозерское, имеют большое значение для судоходства. Многие небольшие и средние водохранилища важны для лесосплава. Чаще всего водохранилища используются в нескольких целях.

Наиболее крупные водохранилища расположены в составе действующих и строящихся гидроэлектростанций.

По опубликованным данным на территории Севера и Северо-Запада действуют и строятся 91 водохранилище суммарным объемом 106,6 км³ и полезным объемом 58,3 км³. Площадь водного зеркала всех водохранилищ составляет 25,8 тыс. км², в том числе без учета озер только 6,2 тыс. км². Площади водохранилищ изменяются от 1–2 до 9700 км² (Онежское озеро), а длина их от 3–5 до 160 (Ловозерское) – 280 км (Онежское). Глубина большинства водохранилищ за счет естественной глубины озер довольно значительна и составляет для некоторых 60–130 м (Имандровское, Инари, Онежское).

Всего рассмотрено 11 достаточно крупных водохранилищ, созданных в озерных котлованах. Характеристика параметров их дана в табл. 2.1.

Все они, кроме Ковдозера, Выгозера, Палеозера и Куйто, осуществляют многолетнее регулирование стока.

Анализируя приведенные в таблице коэффициенты ландшафтности (K), можно сделать вывод, что более емкими по полезному объему на единицу затопляемой площади оказались Сегозерское и Имандровское водохранилища (64,5 и 43,5 млн. м³/км²). При этом площадь озер увеличилась соответственно на 8,2 и 8 %. Для остальных озер коэффициенты находятся в пределах 10, за исключением Пяозерского и Пальеозерского водохранилищ (17,3 и 17,6) и Ковдозерского водохранилища (2,0). Приращение площадей водной поверхности озер колеблется от 10% (Ковдозеро) и в пределах 50 %

(Пяозеро, Пиренга) до 8–17 % – все остальные озера, кроме Топозера, площадь которого не изменилась. Полезный объем Топозера создан за счет выполнения расчисток в истоке р. Сафьянги из Топозера. Это позволило при сохранении площади водного зеркала озера создать регулирующий (полезный) объем в 3,19 км³.

Таблица 2.1

ОЗЕРА-ВОДОХРАНИЛИЩА КАРЕЛИИ И КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА
 (ΔZ – величина подпора озера, м; $V_{\text{оз}}$ – объем водной массы озера, км³; V – полный объем, а $V_{\text{пл}}$ – полезный объем водохранилища, км³; $F_{\text{оз}}$ и F – площади водной поверхности озера и водохранилища, км²; $K = V_{\text{пл}} / (F - F_{\text{оз}})$, млн. м³/км²)

Название водной системы и озера-водохранилища	Год	ΔZ	$\frac{V_{\text{пл}}}{V}$	$V_{\text{пл}}$	$\frac{F_{\text{оз}}}{F}$	K
р. Ковда Топозеро	1958	0,0	<u>15,0</u> 15,0	3,19	<u>986</u> 986	0,0
Пяозеро	1958	9,0	<u>10,0</u> 15,4	5,44	<u>659</u> 973	17,3
Ковдозеро	1955	7,2	<u>—</u> 3,43	1,92	<u>294</u> 610	6,1
р. Выг Сегозеро	1957	6,3	<u>17,6</u> 21,6	4,0	<u>753</u> 815	64,5
Выгозеро	1933	6,3	<u>3,38</u> 6,44	1,4	<u>1143</u> 1250	13,0
р. Суна Сандал	1929	2,8	<u>1,83</u> 19,0	0,30	<u>157</u> 184	11,0
Пальеозеро	1936	2,7	<u>—</u> 2,0	0,16	<u>100</u> 109	17,6
р. Кемь Ср. и Ниж. Куйто	1956	2,0	<u>—</u> 1,27	0,67	<u>398</u> 465	9,96
р. Нива Пиренга	1936	5,0	<u>—</u> 3,0	0,87	<u>152</u> 227	11,6
Имандра	1936	1,0	<u>—</u> 11,2	2,83	<u>876</u> 941	43,5
р. Воронья Ловозеро	1970	1,1	<u>1,15</u> 1,18	0,20	<u>200</u> 223	8,7

Для справки: коэффициент K в среднем для водохранилищ России составляет 3,76, а США – 9,26.

б) русловые водохранилища

Русловые водохранилища создаются в результате подпора воды в реке перегораживающей ее плотиной.

Количественная оценка последствий создания подобных водохранилищ по экологическим параметрам (утрата ландшафтов, водообмен и др.) дана на примере водохранилищ ГЭС Волжско-Камского каскада, расположенного на равнинных реках и Ангаро-Енисейского каскада, расположенного в горных и предгорных районах России. Основные параметры водохранилищ даны в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2

ВОДОХРАНИЛИЩА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА

(H_m – максимальная глубина, м; L – длина, км; F – площадь, км²; V – полный, а $V_{пл}$ – полезный объемы, км³; K_n – коэффициент водообмена $K = V_{пл}/F$, млн. м³/км²)

Название водной системы и водохранилища	Год	$\frac{H_m}{L}$	F	$\frac{V}{V_{пл}}$	K_n	K
р. Волга						
Иваньковское	1937	$\frac{19}{120}$	327	$\frac{1,10}{0,81}$	7,9	2,48
Угличское	1940	$\frac{19}{145}$	249	$\frac{1,20}{0,80}$	9,8	3,22
Рыбинское	1941	$\frac{28}{112}$	4550	$\frac{25,4}{1,44}$	1,4	3,17
Горьковское	1955	$\frac{22}{430}$	1590	$\frac{8,80}{2,78}$	6,0	1,75
Чебоксарское	1981	$\frac{13}{340}$	1080	$\frac{4,60}{0,57}$	24,3	0,53
Волжское (Куйбышевское)	1957	$\frac{41}{510}$	5900	$\frac{57,3}{34,6}$	4,2	5,86
Саратовское	1969	$\frac{33}{336}$	1831	$\frac{12,9}{1,75}$	19,1	0,95
Волжское (Волгоградское)	1961	$\frac{41}{524}$	3117	$\frac{31,5}{8,65}$	8,0	2,76
р. Кама						
Камское	1954	$\frac{30}{300}$	1915	$\frac{12,2}{9,20}$	4,2	4,80
Воткинское	1966	$\frac{28}{365}$	1120	$\frac{9,36}{3,70}$	5,7	3,30
Нижне-Камское	1978	$\frac{14}{270}$	1000	$\frac{2,80}{0,90}$	6,6	0,90

Все они осуществляют глубокое сезонное регулирование стока.

Таблица 2.3

ВОДОХРАНИЛИЩА АНГАРО-ЕНИСЕЙСКОГО КАСКАДА

(H_m – максимальная глубина, м; L – длина, км; F – площадь, км²; V – полный, а $V_{пл}$ – полезный объемы, км³; K_b – коэффициент водообмена $K = V_{пл}/F$, млн. м³/км²)

Название водной системы и водохранилища	Год	$\frac{H_m}{L}$	F	$\frac{V}{V_{пл}}$	K_b	K
р. Ангара Иркутское	1958	–	32960	$\frac{=}{47,65}$	–	32,5
Братское	1967	$\frac{150}{1020}$	5467	$\frac{169,7}{48,2}$	0,5	8,80
Усть-Илимское	1977	$\frac{97}{290}$	1922	$\frac{58,9}{27,7}$	1,7	14,4
р. Енисей Саяно- Шушенское	1987	$\frac{217}{290}$	633	$\frac{29,13}{14,67}$	3,9	23,17
Красноярское	1971	$\frac{101}{390}$	2000	$\frac{73,3}{30,4}$	1,2	15,2

Все водохранилища, кроме Усть-Илимского, проводят многолетнее регулирование стока.

Иркутское водохранилище создано, в основном, за счет подпора уровней оз. Байкал. При этом площадь озера увеличилась, по отношению к естественной, на 1465 км² или в пределах 5 %.

Анализ речных водохранилищ показывает, что водохранилища, создаваемые на равнинных реках, являются менее емкими на единицу затопления. Если на Волжско-Камских водохранилищах на 1 км² затопленной площади приходится 1–3 млн. м³ регулирующего (полезного) объема, кроме Куйбышевского и Камского водохранилищ, на которых эта величина увеличивается до 5–6 млн. м³, то для Ангаро-Енисейских водохранилищ на 1 км² площади приходится уже до 10–20 млн. м³ полезного объема.

Таким образом, водохранилища, создаваемые на горных и предгорных реках, являются более емкими на единицу площади затоплений, а следовательно, и более эффективными в плане сокращения площадей затопления земель и увеличения располагаемых к использованию водных и энергетических ресурсов.

Коэффициенты водообмена для водохранилищ на Волге и Каме оказались значительно выше, чем на Ангаре и Енисее. Это объясняется разницей в объемах водохранилищ и годового (речного) стока на равнинных и горных реках.

Таким образом, в целях сокращения или мягкого воздействия на природные ландшафты водохранилища целесообразно создавать полезные объемы:

- путем разумного подъема естественных уровней озер. Незначительное увеличение при этом площадей водного зеркала озер для большинства озерных водохранилищ не может вызвать нарушений экологического равновесия озерных систем;
- на базе естественных водоемов можно создавать полезные объемы и без изменения площадей их водного зеркала, т.е. путем расчисток русла в истоке рек, вытекающих из них. Примером тому является водохранилище на Топозеро;
- на горных и предгорных реках.

Контрольные вопросы

1. Что является причиной возражения общественности против создания водохранилищ?
2. Назовите основные направления по снижению затопления земель при создании водохранилищ.

3. РАЗРАБОТКА ПРАВИЛ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ВОДОХРАНИЛИЩ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

3.1 Общие положения

Основной задачей теории и практики регулирования и использования речного стока является разработка «Правил управления водными ресурсами водохранилища (группы водохранилищ, каскада водохранилищ)» или «Правил использования водных ресурсов водохранилища», в дальнейшем называемые в тексте «Правила».

Основным содержанием «Правил» являются диспетчерские графики.

Диспетчерские графики разрабатываются таким образом, чтобы обеспечить.

- безопасность основных сооружений гидроузла и объектов хозяйства, расположенных в его бьефах;
- нормированную надежность гарантированной отдачи водопользователям;
- максимальное использование речного стока;
- постепенное уменьшение водо- или энергоотдачи по мере сокращения запасов воды в водохранилище для предотвращения глубоких перебоев в крайне маловодных условиях.

В аналитической записи диспетчерский график представит собой зависимость вида:

$$a_{i,t} = f(Z_{i,t-1}, Q_{i,t}), \quad (3.1)$$

которая показывает, какую водоотдачу $a_{i,t}$ (мощность ГЭС, расход воды в нижний бьеф и т.д.) нужно назначить при эксплуатации i -го сооружения в интервале времени t в зависимости от уровня воды $Z_{i,t-1}$ в водохранилище на начало этого интервала и прогноза притока $Q_{i,t}$ к водохранилищу i -го сооружения.

При построении диспетчерского графика на оси ординат откладываются объемы или соответствующие им уровни водохранилища, на оси абсцисс – время года. Координатное поле диспетчерского графика разделено на несколько зон, каждой из которых соответствует определенный режим работы водохранилища. Как правило, выделяют четыре режимные зоны:

- зона гарантированной отдачи;
- зона повышенной (по сравнению с гарантированной) отдачи;
- зона принудительной сработки водохранилища;
- зона сниженной (по сравнению с гарантированной) отдачи.

Теория и практические приемы разработки диспетчерских графиков, специфических для каждого водохранилища, подробно изложена в [2]. Следует отметить, что в настоящее время достаточно подробно разработаны способы построения диспетчерских графиков управления режимами работы первоочередных (одиночных) водохранилищ.

Вид диспетчерских графиков управления водными ресурсами водохранилищ неглубокого многолетнего и сезонного регулирования стока дан соответственно на рис. 3.1 и 3.2.

Границей между зоной гарантированной отдачи и зоной повышенной отдачи (между 1 и 2 в период работы водохранилища, 1 и 6 – в период его наполнения на рис 3.1) является так называемая противоперебойная линия. Линия, отделяющая зону гарантированной отдачи от зоны сниженной отдачи (между 1 и 3) называют линией урезанной отдачи.

Элементы диспетчерских графиков получаются построением огибающих соответствующих линий водохранилища, относящихся к ряду реальных лет (моделей), сток которых предварительно приведен к расчетным значениям.

Очертание всех линий диспетчерского графика подлежит уточнению и корректировке после проведения водохозяйственных и водноэнергетических расчетов по многолетнему ряду.

Разработка и построение диспетчерских графиков управления работой каскадами водохранилищ и ГЭС, гидравлически связанных и не связанных гидравлически, производится на базе расчетов оптимизации их длительных режимов. При этом схема управления режимом совместной работы некоторой системы гидроузлов может быть представлена следующим образом:

- компенсируемые гидроузлы управляются независимо по собственным правилам управления вида (3.1);
- гидроузлы-компенсаторы высшего уровня иерархии управления дополняют отдачу остальных гидроузлов до общей (совокупной) гарантированной отдачи гидроузлов. При этом их собственная отдача изменяется от минимально до максимально допустимого значения.

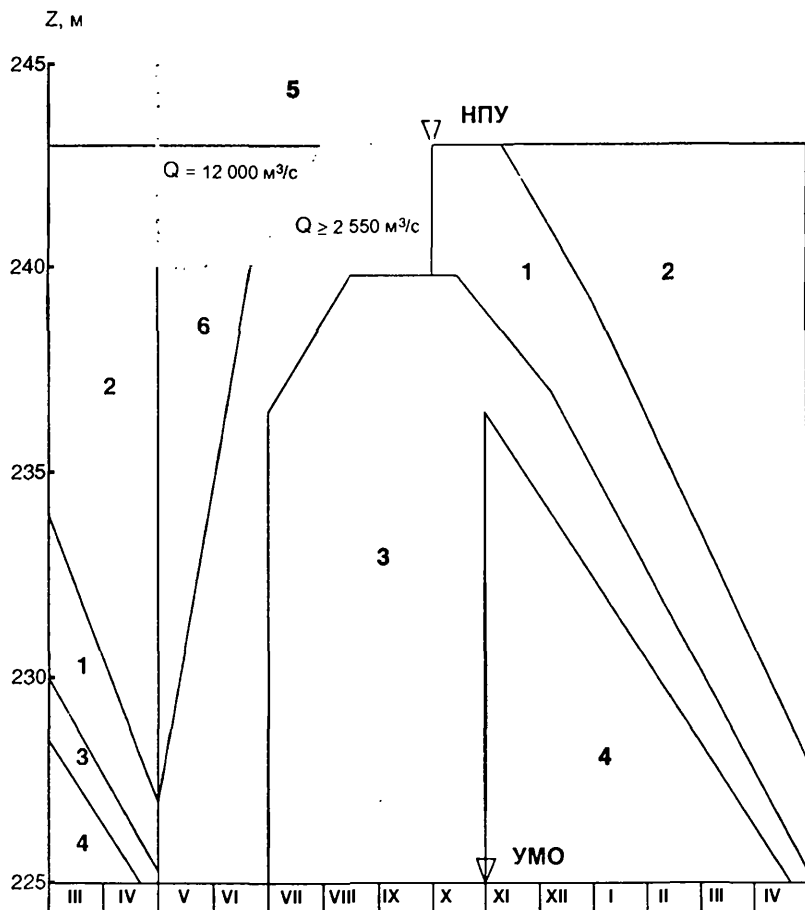


Рис.3.1 Диспетчерский график управления работой водохранилища Красноярской ГЭС

- 1 – зона работы ГЭС гарантированной отдачи ($N_{гр} = 1800 \text{ МВт}$);
- 2 – зона работы ГЭС повышенной отдачи ($1800 \leq N \leq 6000 \text{ МВт}$);
- 3 – зона работы ГЭС сниженной отдачи ($N_{сн} = 1500 \text{ МВт}$);
- 4 – зона работы ГЭС сниженной отдачи ($N_{сн} = 1300 \text{ МВт}$);
- 5 – зона работы водосброса и ГЭС (зона принудительной сработки водохранилища);
- 6 – зона работы ГЭС расходами $2550 < Q \leq 7200 \text{ м}^3/\text{с}$ в зависимости от прогнозируемого объема притока.

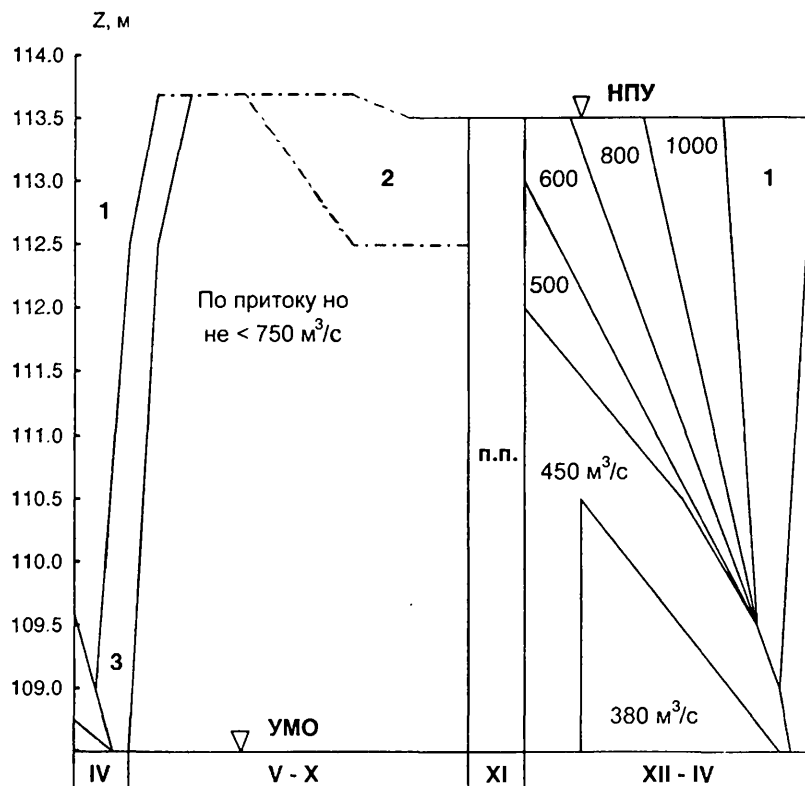


Рис. 3.2. Диспетчерский график управления работой водохранилища Новосибирской ГЭС.

- 1 – зона полной пропускной способности ГЭС;
- 2 – зона, в которой расходы воды изменяются от 1300 до 1100 $\text{м}^3/\text{с}$ в зависимости от прогноза притока и наполнения водохранилища;
- 3 – зона, в которой расходы воды равны 2000 $\text{м}^3/\text{с}$;
- п.п. – переходный период.

Водохранилища ГЭС-компенсаторы управляются диспетчерскими графиками в зависимости от достигнутого их наполнения и суммарной отдачи компенсируемых ГЭС. В аналитической записи диспетчерский график можно представить зависимостью вида

$$a_{i,t} = f\left(Z_{i,t-1} \sum_{k=1}^l a_{k,t}\right), \quad (3.2)$$

где $a_{i,t}$ – отдача i -ой ГЭС-компенсатора или i -ого водохранилища-компенсатора в интервале времени t , $a_{k,t}$ – отдача k -ой компенсируемой установки в интервале времени t , $Z_{i,t-1}$ – уровень водохранилища ГЭС-компенсатора на начало интервала времени t .

Приток в водохранилища глубокого регулирования стока играет второстепенную роль, так как в многолетнем разрезе достаточно устойчив.

Весьма сложной является задача оптимизации режимов работы каскадов водохранилищ и ГЭС комплексного использования стока. Здесь возникают сложности с учетом требований неэнергетических участников энергосистемных комплексов (водный транспорт, рыбное и сельское хозяйство). Учет их требований в настоящее время производится с помощью так называемой системы ограниченных режимов работы ГЭС с учетом природоохранных требований.

3.2 Интересы водопользователей и их учет в «Правилах управления водными ресурсами водохранилищ»

При многоцелевом использовании водохранилищ удовлетворение в полном объеме требований всех компонентов и отраслей хозяйства во все годы практически невозможно. Поэтому режимы использования водных ресурсов представляют собой, как правило, компромиссные решения, при которых неизбежны ущемления в тех или иных размерах интересов всех или части компонентов энергосистемного комплекса (ЭВХК) для достижения максимального эффекта в целом. В «Правилах» следует приводить только ту часть отраслевых или экологических требований, которая может быть удовлетворена с той или иной степенью надежности (обеспеченности). Ниже рассматриваются требования к режиму использования водных ресурсов водохранилищ со стороны основных отраслей хозяйства.

Гидроэнергетика:

- обеспечение гарантированной мощности ГЭС;
- снижение ее за пределами нормируемой обеспеченности не должно превышать 20–30 %;

- годовая выработка электроэнергии ГЭС должна быть максимально возможной в любых по водности условиях.

Водный транспорт и лесосплав:

- обеспечение в период навигации нормируемых глубин по всей трассе судового хода как в водохранилищах, так и на незарегулированных участках рек путем поддержания соответствующих расходов воды;
- поддержание в межнавигационный период заданных уровней воды в местах зимнего отстоя флота.

Рыбное хозяйство:

- обеспечение естественного воспроизводства рыб, т.е. системы условий, обеспечивающих естественный нерест и миграции в реке промысловых рыб;
- обеспечение зимовки рыбы в зоне водохранилища.

Водоснабжение:

- обеспечение регламентированных расходов воды для бесперебойной работы водозаборных сооружений, а также для поддержания высокого санитарного качества воды.

В настоящее время требования таких водопользователей, как водный транспорт и коммунальное хозяйство (водозаборы), сводится к обеспечению расчетных уровней по опорным водомерным постам путем специальных попусков из водохранилищ ГЭС. Величина попусков устанавливается сопоставлением эффекта и ущерба в целом по ЭВХК. При принятой величине попусков утверждаются параметры ГЭС и, в частности, гарантированная водо- и энергоотдача ГЭС в зимний период.

Однако в процессе эксплуатации системы из-за русловых преформирований в нижнем бьефе и активизации хозяйственной деятельности наблюдается увеличение, против проектных, водно-транспортных (навигационных) попусков в нижние бьефы гидроузлов. Это, в свою очередь, вызывает перераспределение водных ресурсов между водопользователями и снижение запланированного в проекте эффекта ЭВХК. Так, на Саяно-Шушенском гидроузле попуски увеличились с 1100 м³/с в проекте до 1800 (V–VI) и 1200 (VII–X) м³/с в настоящее время. Попуски из Красноярского водохранилища возросли, соответственно, с 2100 до 2550 м³/с, а из Новосибирского водохранилища – соответственно с 750 до 1300 м³/с.

Анализ режима навигационных попусков приведен в табл. 3.1.

**РЕЖИМ НАВИГАЦИОННЫХ ПОПУСКОВ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ
СИБИРСКИХ ГЭС**

$(Q_n$ – величина навигационного попуска, м³/с; p – обеспеченность ее в естественных условиях, %; ΔN – снижение гарантированной отдачи по отношению к проекту, %)

Гидроузел	Вариант	Q_n	p	ΔN
Новосибирский	проект	750	95	20
	н/время	1300	79	
Саяно-Шушенский	проект	1100	89	20
	н/время	1800 (V–VI) 1200 (VIII–X)	86	
Красноярский	проект	2100	91	11.3
	н/время	2550	84	
	прогноз	2750	82	

Обеспеченность попусков в зарегулированных условиях принята 95 % (по продолжительности навигации).

С целью ликвидации подобных ущербов на ЭВХК следует одновременно с обоснованием величины навигационного попуска определять и объем воднотранспортных попусков или объем навигационной сработки водохранилища. Это в условиях деформируемых русел ниже створов гидроузлов и возможного увеличения транспортных потоков сохранит разработанную в проекте систему распределения водных ресурсов между водопользователями.

3.3. Исходные данные для разработки «Правил управления водными ресурсами водохранилищ»

Исходная информация, необходимая как для составления или пересмотра «Правил», так и для выполнения проектных водохозяйственных и водноэнергетических расчетов, практически совпадает. Она подразделяется на следующие группы:

- гидрологическая информация – календарная последовательность средних за принятые расчетные интервалы времени (месяц, декада, сутки) естественных или зарегулированных вышележащими водохранилищами расходов воды в створах гидроузлов и боковой приточности на участке между гидроузлами за весь или часть периода наблюдений, а также расчетные гидрографы высокого половодного и паводочного стока расчетной вероятности превышения. По мере накопления данных наблюдений за сто-

ком, например через 10–12 лет, следует уточнять статистические параметры годового, сезонного и максимального стока. Используемая календарная последовательность стока должна быть однородной. При недостаточной длительности наблюдаемого гидрологического ряда целесообразно применять искусственные (смоделированные) гидрологические ряды;

- гидролого-гидравлическая информация в виде кривых связей расходов и уровней воды $Q = f(Z)$ в нижнем и верхнем бьефах гидроузла;
- морфометрическая информация в виде кривых статических зависимостей площадей зеркала и объемов водохранилища от уровней воды $F = f(Z)$ и $V = f(Z)$ или динамических объемов воды $V = f(Q, Z)$. Объемную характеристику водохранилища лучше давать в виде интерполяционной таблицы объемов;
- информация о потерях и затратах стока (на дополнительное испарение, на ледообразование, водоснабжение, орошение, шлюзование, фильтрацию);
- основные характеристики плана водохозяйственного использования (гарантированная водо- и энергоотдача и распределение ее на протяжении года; расход полной производительности гидроузла, величина полезного объема водохранилища и масштабы регулирования стока, состав и пропускная способность водосбросных сооружений, эксплуатационные характеристики гидроагрегатов и потерь напора).

3.4. Основные положения «Правил управления работой некоторых водохранилищ гидроэлектростанций» (на примере гидроэлектростанций)

Диспетчерский график управления работой водохранилища Красноярской ГЭС на р. Енисей (до ввода в эксплуатацию Саяно-Шушенской ГЭС)

Водные ресурсы водохранилища Красноярской ГЭС используются в целях обеспечения требований водного транспорта, коммунального хозяйства г. Красноярска, рыбного хозяйства, а также санитарного состояния водотока.

Ухудшение экологической обстановки в нижнем бьефе гидроузла, особенно в районе г. Красноярска, наблюдаемое с вводом и

эксплуатацией Красноярской ГЭС, вызвано прежде всего тем, что разработка режима ее эксплуатации проведена в условиях строительства нижней ступени каскада – Средне-Енисейского гидроузла с НПУ – 139 м. В настоящее время, исходя из требований охраны окружающей среды, такая подпорная отметка просто нереальна.

В проекте Красноярской ГЭС по условиям использования вывешенной установленной мощности, равной 6000 МВт, предусматривалось глубокое суточное регулирование стока с колебанием расходов воды от максимального 6000 м³/с до минимального 800 м³/с. Амплитуда суточных колебаний уровня составила при этом 3,8 м. у г. Красноярска, в 40 км ниже створа ГЭС, эти изменения несколько затухали и составляли соответственно 3500 и 1000 м³/с при суточной амплитуде колебаний уровней в 2 м. Натурные эксперименты, проведенные при участии автора зимой 1971 и 1972 гг., показали следующее:

- инфильтрационные водозаборы г. Красноярска, расположенные в русле р. Енисея на островах Сосновом, Посадном и Отдыха, способны работать в межнавигационный период только при суточной амплитуде колебаний уровней не более 1,2 м и кратковременном снижении расходов воды в течение суток до 1200 м³/с.
- в акватории Красноярского затона, где производится зимний отстой речного флота, ледяной покров не разрушается также при суточной амплитуде уровней, не превышающей 1,2 м.

Поэтому при разработке «Основных положений правил ...» было предусмотрено ограничение использования мощности Красноярской ГЭС.

Таблица 3.2

МОЩНОСТЬ УЧАСТИЯ В ПИКЕ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ, ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ И СУТОЧНЫЕ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЕЙ В СТВОРАХ ГЭС И г. КРАСНОЯРСКА

Параметр	По проекту	По «Основным положениям правил ...»
Мощность, МВт	5200	3700
Максимальный расход воды, м ³ /с	<u>6000</u> 3500	<u>4300</u> 2500
Минимальный расход воды, м ³ /с	<u>800</u> 1000	<u>1000</u> 1200
Суточная амплитуда уровней, м	<u>3.8</u> 3,0	<u>2.0</u> 1,2

Числитель – в створе ГЭС, знаменатель – у г. Красноярска

В табл. 3.2 приведены величины используемой мощности ГЭС и экстремальных расходов воды в течение суток по проекту и «Основным положениям правил ...».

Для обеспечения требований водного транспорта на участке Красноярск – устье р. Ангары из водохранилища производятся значительные по величине попуски (не ниже $2550 \text{ м}^3/\text{с}$). Поэтому при разработке диспетчерского графика управления работой водохранилища (рис. 3.1) возникла необходимость в выделении зоны навигационных расходов, равных $2550 \text{ м}^3/\text{с}$ необходимых для обеспечения судоходных глубин ниже гидроузла. Расчет и построение этой зоны технически прост и освещен в [2]. Водохранилище Красноярской ГЭС осуществляет годичное регулирование стока в диапазоне сработки уровней ($243,0\text{--}228,0$) м и незначительное многолетнее – в диапазоне сработки уровней ($228,0\text{--}225,0$) м. Достаточно сказать, что полный полезный объем водохранилища составляет $30,4 \text{ км}^3$ (от НПУ – $243,0$ м до УМО – $225,0$ м), а полезный объем (в диапазоне уровней $228,0\text{--}225,0$ м) всего $4,5 \text{ км}^3$. Для подобных водохранилищ методика расчета зоны гарантированной отдачи в литературе освещена слабо. Расчет этой зоны автором произведен не по году со стоком равным отдаче, как в случае многолетнего регулирования стока, а с некоторым запасом по маловодным годам расчетной обеспеченности $P = 95 \%$. Справедливость такого решения подтверждена периодом эксплуатации Красноярского гидроузла.

Сложнее было выполнить требования по условиям ограничения максимальных сбросных расходов воды величиной $12000\text{--}13000 \text{ м}^3/\text{с}$. Это связано с защитой от наводнений правобережной части г. Красноярска.

С целью непревышения форсированных подпорных уровней мы вынуждены были пойти на открытие водосброса при расходах притока, превышающих $12000 \text{ м}^3/\text{с}$, с отм. 242 м, а не с НПУ – 243 м, как предписано СНиПом.

При пропуске летне-осенних паводков необходимо использование прогнозов притока в водохранилище. С целью непревышения НПУ при прогнозируемых расходах притока более $10000 \text{ м}^3/\text{с}$ необходимо производить сработку водохранилища расходами $12000\text{--}13000 \text{ м}^3/\text{с}$ до отм. 242 м.

В первые годы эксплуатации Красноярской ГЭС наблюдаемые зимние уровни в районе Казачинских порогов (290 км от ГЭС) зна-

чительно превысили максимальные уровни, рассчитанные в проекте. Анализ данных измерений, выполненных в период экспериментов зимой 1971 и 1972 гг., а также последующего опыта эксплуатации ГЭС, показал, что значения зазорных зимних коэффициентов, принятых в проекте 1962 г., снизились с 0,30–0,35 до 0,20–0,18. Максимальные зимние уровни при этом повысились по сравнению с расчетными 1962 г. на 1–2 м. При выявленных зазорных коэффициентах и проектном режиме работы ГЭС (среднесуточном расходе воды от 3500 до 4000 м³/с) возможно подтопление 16 деревень и поселков. До проведения специальных защитных мероприятий, исключающих зимние подтопления и затопления населенных пунктов, «Основными положениями правил . . .» предусмотрено ограничение среднесуточных попусков ГЭС величиной 2500–2600 м³/с при расположении кромки ледостава в районе Казачинских порогов:

- до 15 дней – при устойчивых морозах;
- до месяца – при неустойчивой погоде и прогнозе повышения температуры.

Такой вынужденный режим работы приводит к недоиспользованию мощности ГЭС.

Диспетчерский график управления работой водохранилища Новосибирской ГЭС на р. Оби

Диспетчерский график приведен на рис. 3.2.

Для водохранилищ неглубокого сезонного регулирования стока, каким является Новосибирское водохранилище, с целью рационального использования его водных ресурсов в интересах всех водопользователей, включая и санитарное состояние водотока, необходимо выделить навигационный объем и уровень его сработки. Сработка навигационного объема Новосибирского водохранилища (зона 2 на рис 3.2) начинается с момента уменьшения в период летне-осенней межени (VIII–X) ежедневных расходов притока ниже навигационного попуска 1300 м³/с и заканчивается по исчерпанию объема 1,28 км³, т.е. при достижении отметки верхнего бьефа 112,47 м. В целях исключения глубоких перебоев в навигационных попусках в результате преждевременной сработки навигационного объема 1,28 км³ в период (VIII–X), величина навигационного попуска устанавливается с учетом прогнозируемой приточности с августа по октябрь включительно. В случае низкого объема прогнозируемого

притока величина навигационного попуска на остающуюся часть навигационного периода снижается до 1200–1100 м³/с. Например, при обеспеченности притока в период (IX–X) 95 % сработка навигационного объема произойдет при 1300 м³/с – в пятой пятидневке сентября, при 1200 м³/с – на пятидневку позже, а при 1100 м³/с – во второй пятидневке октября.

Основные положения правил использования водных ресурсов водохранилищ бассейна р. Нижний Выг

Схема водохранилищ ГЭС представлена на рис. 3.3.

Таблица 3.3

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДОХРАНИЛИЩ-КОМПЕНСАТОРОВ ОТДАЧИ ВЫГСКОГО КАСКАДА

1 – Сегозерское водохранилище, 2 – Выгозерское водохранилище

Параметры	1	2
Площадь зеркала при НПУ, км ²	815	1250
Полезный объем, млн. м ³	4000	1400
Отношение полезного объема к среднему годовому стоку	1,86	0,32*

* – к стоку боковой приточности

Таблица 3.4

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГЭС ВЫГСКОГО КАСКАДА (сверху вниз)

1 – Ондская ГЭС, 2 – Палокорская ГЭС, 3 – Маткоженская ГЭС,

4 – Выгостровская ГЭС, 5 – Беломорская ГЭС

Наименование параметров	1	2	3	4	5
Средневзвешенный напор, м	26,0	9,4	20,6	12,3	6,9
Установленная мощность, МВт	80,0	30,0	63,0	40,0	27,0
Гарантированная мощность, МВт	38,2	16,9	35,4	21,9	12,6
Годовая выработка энергии, млн. кВт·ч	398	156	364	220	127
Коэффициент использования стока	0,975	0,958	0,957	0,955	0,984

Основные характеристики водохранилищ и ГЭС даны в табл. 3.3 и 3.4.

Назначением ГЭС Выгского каскада является выработка электроэнергии и участие в покрытии электрической нагрузки энергосистемы. При этом должны быть соблюдены условия, обеспечивающие требования навигации, лесосплава, сохранение и воспроизводство рыбных запасов, а также санитарные условия.

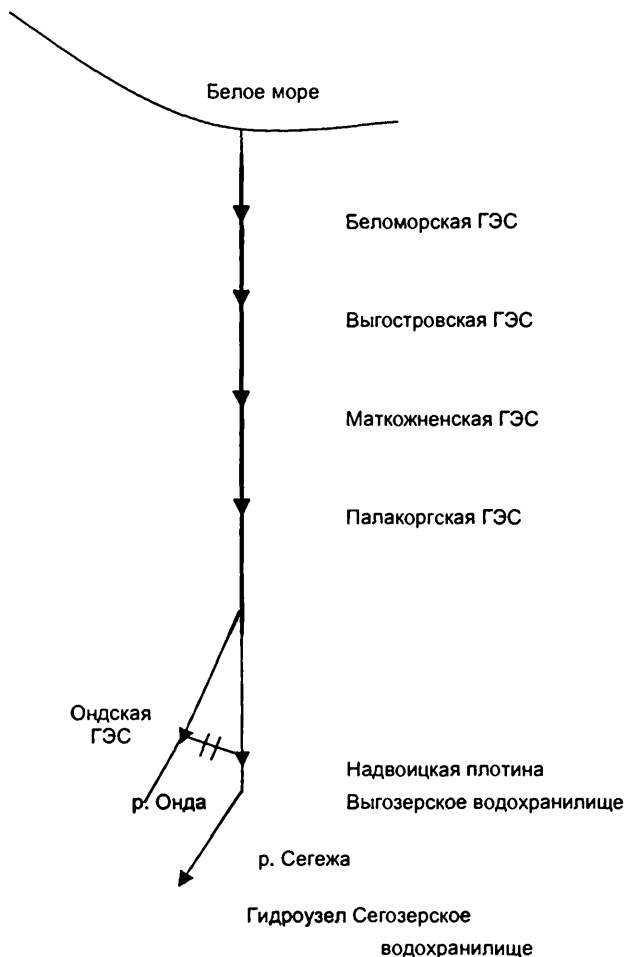


Рис. 3.3. Схема водохранилищ Выгского каскада ГЭС на р. Нижний Выг.

Регулирующие объемы Сегозерского и Выгозерско-Ондского водохранилищ позволяют производить, соответственно, многолетнее и годичное регулирование стока. Полезные объемы остальных водохранилищ каскада незначительны и используются только для суточного регулирования мощности ГЭС.

При поступлении к створам Палокоргской, Маткожненской, Выгостровской и Беломорской гидроэлектростанций незарегулированного стока с частного водосбора с целью выравнивания суммарной отдачи каскада регулирующими объемами Сегозерского и Выгозерско-Ондского водохранилищ осуществлено компенсирующее многолетнее регулирование стока.

Первоначально расчет суммарной гарантированной отдачи ГЭС Выгского каскада произведен по совмещенным кривым зависимости гарантированной отдачи ($a \bar{W}_i$) от объемов водохранилищ, приведенных на рис. 3.4. По этим кривым графическим подбором, исходя из одинакового периода сработки водохранилищ, определена суммарная гарантированная отдача из Сегозерского и Выгозерского водохранилищ, равная 172 м³/с, а с учетом нерегулируемой боковой приточности на участке Надвойцы-Маткожня (87 % суммарной боковой приточности) гарантированная отдача каскада увеличится до 205 м³/с.

Суммарная гарантированная мощность каскада определена с учетом средневзвешенных напоров ГЭС по формуле

$$\sum N_{\text{гар.95\%}} = \left[(a\bar{W}_{\text{сег}} + a\bar{W}_{\text{выг}}) \cdot 10^9 / 31,56 \cdot 10^6 \right] \cdot 8,5 \cdot \sum H_{\text{ср.взв}} + \left[(a\bar{W}_{\text{б.пр.н-м}} \cdot 10^9 / 31,56 \cdot 10^6) \cdot 8,5 \cdot (\sum H_{\text{ср.взв}} - H_0) \right], \quad (3.3)$$

где $\sum N_{\text{гар.95\%}}$ – суммарная гарантированная отдача каскада обеспеченностью 95 %; $a\bar{W}_{\text{сег}}$ – гарантированная отдача из Сегозерского водохранилища, км³; $a\bar{W}_{\text{выг}}$ – то же из Выгозерского водохранилища, км³; $a\bar{W}_{\text{б.пр.н-м}}$ – гарантированная отдача за счет боковой приточности Надвойцы-Маткожня, км³; $\sum H_{\text{ср.взв}}$ – суммарный напор ГЭС каскада, м; H_0 – напор Ондской ГЭС, м; 8,5 – коэффициент мощности.

Подставляя величины, снятые с кривых $a\bar{W} = f(V_{\text{нагл}})$ на рис 3.4, и напоры, получим $\sum N_{\text{гар.95\%}} = 125$ МВт.

Для реализации полученного эффекта компенсирующего регулирования в каскаде разработаны следующие диспетчерские условия.

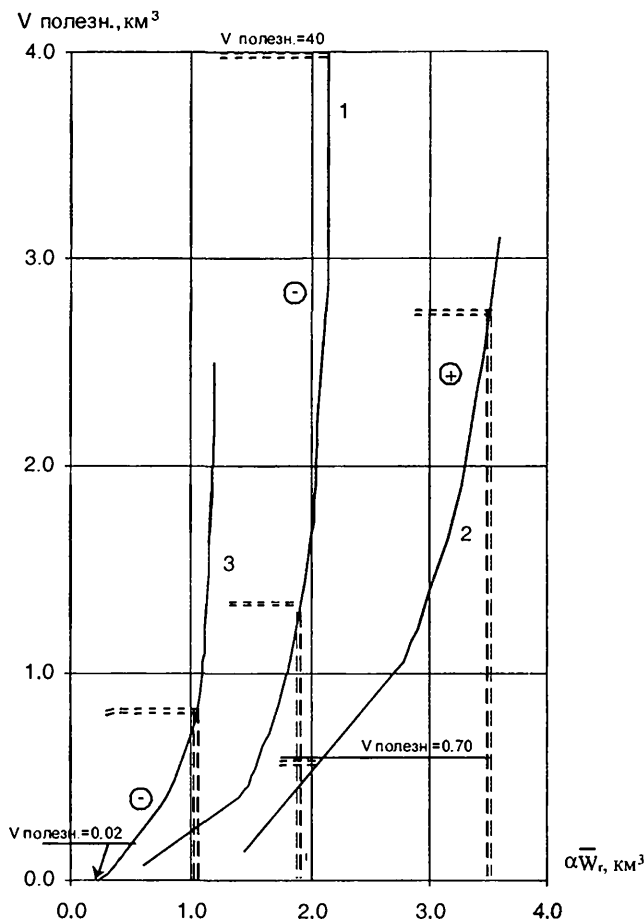


Рис.3.4. Кривые зависимости гарантированной водоотдачи ($a\bar{W}_r$) от полезного объема водохранилища (V)

1 – Сегозерское, 2 – Выгозерское, 3 – боковой приточности
Надвойцы-Маткожня

Исходя из величин стока с частных водосборов р. Н. Выг, замыкаемых створами Палокоргской, Маткожненской, Выгостровской и Беломорской ГЭС (табл. 3.5), поступающего к последним в незарегулированном состоянии, устанавливается расход Ондской ГЭС – Q_0 , требующийся для обеспечения суммарной отдачи каскада 125 МВт.

ПЛОЩАДИ ВОДОСБОРА, ЗАМЫКАЕМЫЕ СТВОРАМИ ГЭС

Наименование ГЭС	Площадь водосбора, контролируемая створами ГЭС, км ²		Частный водосбор р. Н. Выг в створе ГЭС в % от частного водосбора в створе Маткожненской ГЭС
	Общая	Частный водосбор р. Н. Выг	
Ондская	23362	—	—
Палокоргская	26886	3524	0,78
Маткожненская	27828	4466	1,00
Выгостровская	28060	4698	1,05
Беломорская	28460	5098	1,14

Величина Q_0 определяется подбором по формуле

$$Q_0 = \left(\sum N_{\text{зар}} - \sum N_{\text{б.пр.}} \right) / [8,5 (\sum H + H_0)] \quad (3.4)$$

где $\sum N_{\text{зар}}$ – отдача каскада, равная 125 МВт; $\sum N_{\text{б.пр.}}$ – суммарная гарантированная мощность за счет боковой приточности с частных водосборов:

$$\sum N_{\text{б.пр.}} = 8,5 q_{\text{ч.б.н-м}} (0,78 H_{\text{П}} + H_{\text{М}} + 1,05 H_{\text{В}} + 1,14 H_{\text{Б}}),$$

где $q_{\text{ч.б.н-м}}$ – боковая приточность на участке Надвойцы-Маткожня, определяемая службой эксплуатации каскада; $H_{\text{П}}$, $H_{\text{М}}$, $H_{\text{В}}$, $H_{\text{Б}}$ – средневзвешенные напоры Палокоргской, Маткожненской, Выгостровской и Беломорской ГЭС.

Задаваясь H_0 , определяем в первом приближении Q_0 . Затем по фактическим кривым зависимости уровней от расходов воды в системе Выгозеро – соединительный канал – бьефы Ондской ГЭС рассчитываем H'_0 . При неравенстве H'_0 и H_0 расчет повторяем до их полного выравнивания.

Величина попусков воды из Сегозерского водохранилища определяется разностью Q_0 и расходами боковой приточности в Выгозерско-Ондское водохранилище. Последние принимаются по данным службы эксплуатации каскада.

Диспетчеризация режимов работы каскада производится в условиях полного сохранения требований неэнергетических водопользователей.

Регулирование стока, проведенное по стоковому 36-летнему периоду, подтвердило результаты, полученные обобщенным графиче-

ческим способом с использованием зависимостей $a\overline{W}_r = f(V_{\text{полез}})$, что подтверждает их применимость для решения подобных задач.

Таким образом, правила использования водных ресурсов водохранилищ ГЭС носят частный индивидуальный характер, исходя из складывающихся природно-хозяйственных комплексов.

Выводы

1. Оптимальное распределение водных ресурсов между участниками ЭВХК должно проводиться с учетом охраны окружающей среды, т.е. рационального природопользования. Практически учет этих требований в действующих и разрабатываемых «Правилах использования водных ресурсов водохранилищ ГЭС» усложняется отсутствием или несовершенством критериев допустимости того или иного воздействия на природные комплексы. Несовершенна и сама схема распределения водных ресурсов между участниками ЭВХК из-за отсутствия научно-обоснованных отраслевых методов экономической оценки ущерба от недодачи воды отдельным участникам ЭВХК. Все это вызывает определенные трудности в разработке «Правил использования водных ресурсов водохранилищ».

2. Для проектируемых и строящихся ЭВХК следует одновременно с обоснованием величины навигационного попуска устанавливать и объем навигационной сработки водохранилища.

3.5 Противопаводковая функция водохранилищ и расчеты пропуска высоких половодий и паводков

Проблема определения противопаводковой роли водохранилищ РФ и необходимость ее специального рассмотрения при разработке «Правил . . .» связана со значительными ущербами от наводнений в нижних бьефах гидроузлов, на протяжении которых находятся такие крупные города, как Ярославль, Н. Новгород, Саратов, Волгоград, Красноярск, Иркутск, Новосибирск и др. В связи с этим особого внимания требуют вопросы надежности подпорных сооружений и режима пропуска через гидроузлы высоких половодий и паводков. Рассматриваемый раздел «Правил . . .» должен быть увязан с соответствующим разделом декларации безопасности гидротехнических сооружений гидроузла, составляемой в соответствии с

требованиями Федерального закона Российской Федерации «О безопасности гидротехнических сооружений».

Основной задачей пропуска высоких половодий через гидроузел или каскад гидроузлов является определение максимальных уровней водохранилища и расходов, сбрасываемых в нижние бьефы гидроузлов.

Методология расчетов пропуска высоких половодий и паводков через одиночные (первоочередные) гидроузлы изложена в [2]. Остановимся подробнее на каскаде гидроузлов.

При пропуске расчетного половодья через каскад гидроузлов имеют место следующие проблемы, оказывающие влияние на его безопасность и безопасность хозяйства и населения нижних бьефов:

- гидрологические, связанные с неопределенностью в распределении расчетной обеспеченности (вероятности превышения) между составляющими нормируемого притока к замыкающей ступени каскада, а также изменением, против проектных, параметров максимального стока во времени;
- социальные, которые сводятся к ограничению максимальных сбросных расходов воды по условиям не затопления сооружений ГЭС и прибрежных районов ниже створов регулирования стока.

Решение выявленных проблем рассмотрим на примере пропуска расчетного половодья через каскад гидроузлов на р. Енисей и Вилюйского гидроузла на р. Вилюй. В состав Енисейского каскада входят (сверху вниз) Саяно-Шушенский гидроузел с водохранилищем годичного регулирования стока; Майнский, осуществляющий суточное регулирование и Красноярский – с водохранилищем многолетнего регулирования стока. Регулирование половодий на р. Енисей производится Саяно-Шушенским и Красноярским водохранилищами. Ниже, в табл. 3.6, дана гидрографическая характеристика участка р. Енисей от створа Саяно-Шушенского гидроузла (в дальнейшем СШГЭС) до створа Красноярского гидроузла (в дальнейшем КГЭС).

Из таблицы видно, что приток к створу КГЭС складывается из суммы сбросных расходов в створе СШГЭС и бокового притока с участка между ними. Гидроузлы на р. Енисей отнесены к I классу сооружений, поэтому вероятность превышения максимальных расходов и объемов половодья для поверочного случая принята 0,01 % с гарантийной поправкой (г. п.) (см. СНиП 2.06.01-86, Москва, 1989).

Остается неясной вероятность превышения расходов и объемов половодья боковой приточности, которая в сумме со сбросными расходами СШГЭС обеспеченностью 0,01 % с г. п. давала бы расходы и объемы половодья в створе КГЭС той же обеспеченности.

Таблица 3.6

**ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКА
р. ЕНИСЕЙ ОТ СТОРА СШГЭС ДО СТОРА КГЭС**

(*L* – расстояние от стоора СШГЭС до устья бокового притока в км,
F – площадь водосбора, впадающей в Енисей реки, км², ΣF – нарастание
площади водосбора на рассматриваемом участке, км²)

Створ	<i>L</i>	Берег	<i>F</i>	ΣF
СШГЭС	0	–	181000	181000
Устье р. Оя	65	П.б.	5300	186300
Устье р. Абакан	126	Л.б.	32000	218300
Устье р. Туба	159	П.б.	36700	255000
Устье р. Сыда	218	П.б.	4650	259560
Устье р. Сисим	318	П.б.	3600	263250
Устье р. Дербена	441	П.б.	2150	265400
КГЭС	520	–	289000	289000

Математически, исходя из теории вероятности, казалось бы, что, если при определении притока ко второй ступени каскада принять одинаковую вероятность превышения притока к верхнему гидроузлу и боковой приточности между первым и вторым гидроузлами, например 0,01 %, то вероятность превышения суммарного притока ко второму гидроузлу может составить 0,00001 %. Это справедливо при отсутствии корреляционной связи между составляющими суммарного притока к замыкающему створу.

Однако, исходя из природных условий формирования половодного стока в створе верхнего гидроузла и боковой приточности между верхним и нижним гидроузлами, а также при относительно высоких коэффициентах корреляции между ними вполне возможен случай одинаковой вероятности превышений стока в рассматриваемом каскаде из двух гидроузлов.

В настоящее время в проектной практике используются два способа определения проектного притока к створам проектируемых и эксплуатируемых гидроузлов в каскаде:

- метод «остаточного объема», используемый в каскаде из двух гидроузлов и боковой приточности между ними. При этом сооружения гидроузлов отнесены к одному и тому же классу;

- построение гидрографов для всех участков каскада выполняется по моделям многоводных половодий реальных лет – общих для всех ступеней с приведением к объему стока расчетной обеспеченности в замыкающем створе.

Для реализации методов по полному ряду наблюдений за стоком р. Енисей были рассчитаны статистические параметры (среднее значение, C_v , C_s/C_v) объемов стока за весенне-дождевой период (май–сентябрь) в створах СШГЭС и КГЭС, а также боковой приточности между ними. Результаты расчетов сведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

**ОСНОВНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕМОВ
СТОКА ЗА ВЕСЕННЕ-ДОЖДЕВОЙ ПЕРИОД**

(n – период наблюдений; W – средний за период объем стока, км³;
 W_p – максимальный объем вероятностью превышения, км³)

Створ	n	W	C_v	C_s/C_v	W_p		
					0,01 % г. п.	0,01 %	0,1 %
СШГЭС	1903/04– 1999/00	37,9	0,16	2	67,6	65,2	59,5
Боковая приточ- ность	1903/04– 1999/91	32,1	0,17	2	59,06	56,8	51,7
КГЭС	1903/04– 1999/91	69,2	0,16	2	124,4	119,7	108,6

По разности объемов стока вероятностью превышения 0,01 % с г. п. в створах КГЭС и СШГЭС определился остаточный объем (боковой приточности), равный 56,8 км³.

По табл. 3.7 расчетная обеспеченность его соответствует 0,01 %.

Обеспеченность максимальных расходов воды весеннего половодья принимается равной обеспеченности объемов стока за весенне-дождевой период.

Для расчета вероятности превышения составляющих суммарный приток к створу Красноярского гидроузла вторым способом отбираем из ряда наблюдений модели самых многоводных лет – в данном случае 1936, 1941 и 1966 гг. Объем гидрографа половодно-дождевого периода в створе Красноярского гидроузла принимаем за 100 % и рассчитываем проценты естественного распределения стока между его составляющими. Затем объем стока нормируемой обеспеченности в створе Красноярского гидроузла, принимаемый

также за 100 %, распределяем между его составляющими исходя из ранее определенного естественного процента распределения.

По табл. 3.7 определяем для полученных таким способом объемов стока в створах СШГЭС, КГЭС и боковой приточности расчетную их обеспеченность. Результаты проведенного анализа по моделям многоводных лет представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРЕВЫШЕНИЯ ОБЪЕМОВ
ВЕСЕННЕ-ДОЖДЕВОГО ПЕРИОДА МЕЖДУ СОСТАВЛЯЮЩИМИ
СУММАРНОГО ПРИТОКА К СТВОРУ КРАСНОЯРСКОГО
ГИДРОУЗЛА ПО МОДЕЛЯМ МНОГОВОДНЫХ ЛЕТ**

(W – естественный объем, км³ и % его распределения; W_p – величина обеспеченных объемов стока, км³; p – их расчетная обеспеченность, %)

Год	Створ	W	%	W_p	p
1936	СШГЭС	51,9	53,1	66,1	0,01 с г. п.
	Боковая приточность	45,8	46,9	58,3	0,01 с г. п.
	КГЭС	97,7	100,0	124,4	0,01 с г. п.
1941	СШГЭС	48,9	52,3	65,1	0,01
	Боковая приточность	44,6	47,7	59,3	0,01 с г. п.
	КГЭС	93,5	100,0	124,4	0,01 с г. п.
1966	СШГЭС	54,5	53,4	66,4	0,01 с г. п.
	Боковая приточность	47,5	46,6	58,0	0,01 с г. п.
	КГЭС	102,0	100,0	124,4	0,01 с г. п.

Анализ таблицы показывает, что вероятность превышения объемов весеннего половодья СШГЭС и боковой приточности, составляющих суммарный приток к КГЭС, близки к 0,01 % с г. п., т.е. соответствующей в створе КГЭС. Это вполне возможно, учитывая высокие коэффициенты корреляции между расходами в створе СШГЭС и боковой приточности; СШГЭС и в створе КГЭС; боковой приточности и расходами в створе КГЭС, равными соответственно 0,77; 0,87 и 0,90.

Техника дальнейших расчетов простая. По моделям многоводных половодий и действующим нормативам рассчитываем и строим гидрографы половодья в створе СШГЭС и боковой приточности расчетной обеспеченностью 0,01 % с г. п. В данном примере расчетные гидрографы построены по модели 1941 г., отличающимся самым неблагоприятным внутриводным распределением стока.

Правила пропуска половодья через СШГЭС:

1. В проекте гидроузла были определены следующие параметры водохранилища: ФПУ – 544,5 м, НПУ – 540 м, УМО – 500 м; полезный объем – 15,33 км³, рассчитанный при установленных навигационных попусках в 1100 м³/с, позволяет проводить годичное регулирование стока. В последующем для снижения напорной фильтрации НПУ было снижено на 2 м, т.е. до отметки 538 м. Были повышены и навигационные попуски до 1800 м³/с (V–VI) и 1200 м³/с (VII–X). Это привело к снижению сезонного объема водохранилища и повышению уровня ежегодной сработки водохранилища до отметки 507 м.

2. По условиям не затопления сооружений ГЭС и прибрежных районов на протяжении нижнего бьефа максимальный сбросный расход ограничен величиной 13300 м³/с.

3. Принятые ограничения усложнили схему пропуска расчетного половодья через гидроузел. В целях снижения величины форсировки уровней над НПУ – 538 м установлен следующий режим сбросных расходов: в диапазоне уровней 507–515 м работает только ГЭС, пропуская в нижний бьеф 2100 м³/с; водосброс открывается с отметки 515 м вместо 535 м по проекту. В диапазоне уровней 515–535 м, сбросные расходы не превышают 7000 м³/с (в том числе 2100 м³/с через ГЭС), а с уровня 535 м ограничиваются расходом 13300 м³/с.

Схема пропуска половодья 0,01 % с г.п. дана на рис. 3.3, а результаты пропуска половодья 0,01 % с г. п. по вышеприведенным правилам приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОПУСКА ПОЛОВОДЬЯ ЧЕРЕЗ СШГЭС

($Q_{\text{макс}}$ – максимальный естественный расход воды, м³/с; $Q_{\text{сбр}}$ – максимальный сбросной расход воды, м³/с; $Q_{\text{ГЭС}}$ – расход через ГЭС, м³/с; ΔQ – величина срезки максимального расхода, м³/с; ΔZ – величина форсировки уровней над НПУ – 538 м, м; T – продолжительность стояния уровней верхнего бьефа на отметках, превышающих 538 м, дни)

Показатель	Величина
$Q_{\text{макс}}$	23920
$Q_{\text{сбр}}$	13300
В том числе $Q_{\text{ГЭС}}$	2100
ΔQ	10620
ΔZ	2,7
T	8

Суммируя гидрограф сбросных расходов воды в створе СШГЭС с гидрографом боковой приточности, получаем гидрограф притока к створу КГЭС обеспеченностью 0,01 % с г. п.

Правила пропуска половодья через КГЭС:

1. При изолированной работе гидроузла параметры водохранилища были установлены следующие: ФПУ – 245 м, НПУ – 243 м, уровень ежегодной сработки – 228 м, УМО – 225 м. При совместной работе с СШГЭС уровень его ежегодной сработки повысился до отметки 235,6 м.

2. С учетом не затопления береговых зданий и сооружений г. Красноярска максимальные сбросные расходы ограничиваются величиной 11000 м³/с вместо 13000 м³/с по проекту.

С целью не превышения ФПУ 245 м в новых условиях рассматривалось несколько вариантов режимов сбросных расходов воды. Более реальным оказался следующий: трансформация половодья начинается с уровня ежегодной сработки 235,6 м и с даты, на которую расходы притока превышают 11000 м³/с. Водосброс открывается с отметки 235,6 м вместо 240 м по проекту. При этом расходы через него ограничиваются величиной, дополняющей расход ГЭС 7200 м³/с до расхода 11000 м³/с. Полное открытие водосброса производится по достижении НПУ 243,0 м. Схема пропуска половодья 0,01 % с г.п. дана на рис. 3.6, а результаты пропуска половодья 0,01 % с г.п. в табл.3.10.

Таблица 3.10

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОПУСКА ПОЛОВОДЬЯ ЧЕРЕЗ КГЭС

($Q_{\text{макс}}$ – максимальный естественный расход воды, м³/с; $Q_{\text{пр}}$ – максимальный приточный расход воды при работе с СШГЭС, м³/с; $Q_{\text{сбр}}$ – максимальный сбросной расход воды, м³/с; $Q_{\text{ГЭС}}$ – расход ГЭС, м³/с; ΔZ – величина форсировки уровней верхнего бьефа над НПУ – 243 м, м;
 ΔQ – уменьшение максимальных расходов воды, м³/с)

Показатель	Величина
$Q_{\text{макс}}$	45700
$Q_{\text{пр}}$	33400
$Q_{\text{сбр}}$	21600
В том числе $Q_{\text{ГЭС}}$	7200
ΔZ	1,8
$\Delta Q_{\text{макс}}$	24100
$\Delta Q_{\text{пр}}$	11800

САЯНО - ШУШЕНСКИЙ ГИДРОУЗЕЛ

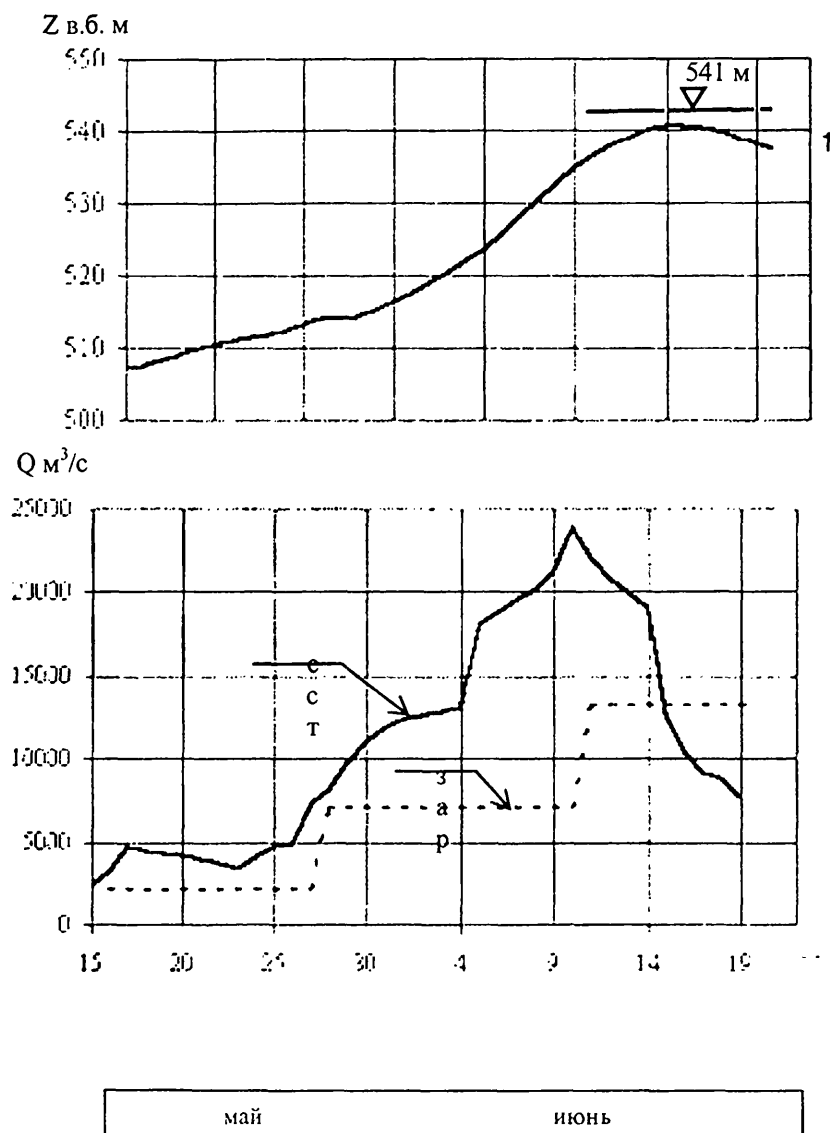


Рис. 3.5. Схема пропуска половодья 0,01% с г.п. через Саяно-Шушенский гидроузел.

1 – естественный расход
2 – зарегулированный расход

КРАСНОЯРСКИЙ ГИДРОУЗЕЛ

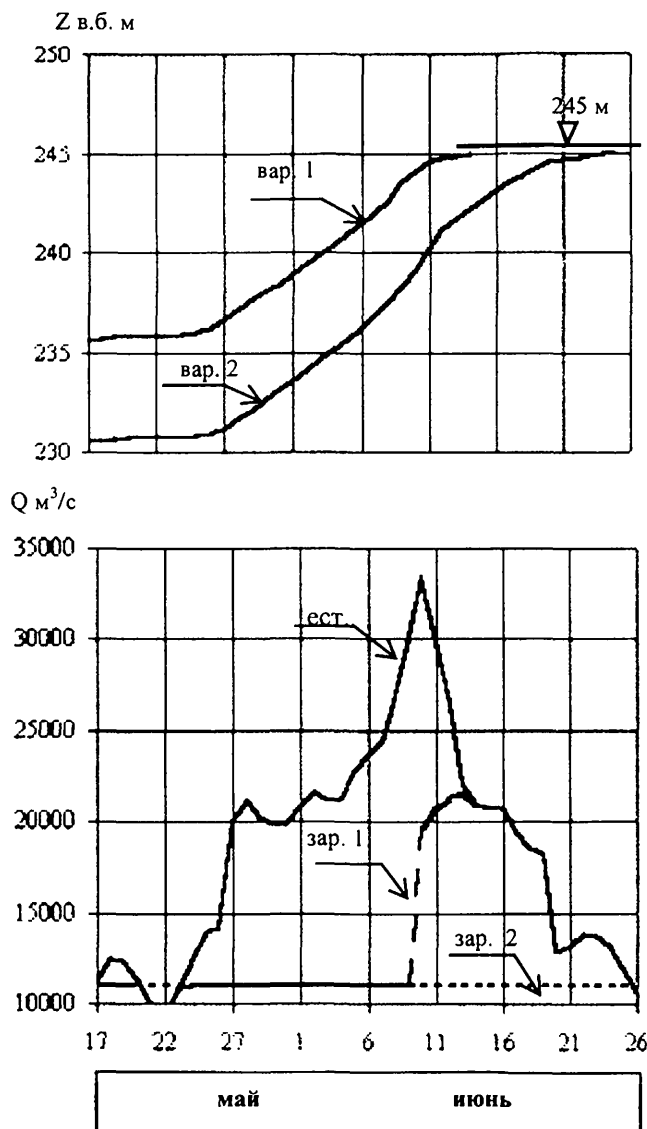


Рис. 3.6. Схема пропуска половодья 0,01% с г.п. через Красноярский гидроузел.

Продолжительность расходов воды в нижнем бьефе, превышающих $11000 \text{ м}^3/\text{с}$, составляет порядка двух недель.

Для того, чтобы пропустить расчетное половодье без превышения сбросных расходов воды в $11000 \text{ м}^3/\text{с}$, необходимо на начало половодья водохранилище дополнительно сработать до отметки 230,5 м, т.е. на 5 м ниже уровня ежегодной сработки или в объеме на $8,4 \text{ км}^3$. Насколько это реально – решать, по-видимому, службе эксплуатации Красноярской ГЭС, исходя из надежности прогнозирования половодного притока и реальной обстановки на протяжении нижнего бьефа.

Определенную угрозу безопасности гидротехническим сооружениям представляет изменение параметров максимального стока во времени.

Этому вопросу в настоящее время уделяется значительное внимание. Это связано прежде всего с участвовавшими случаями прорыва плотин и последующими масштабными социальными, экологическими и экономическими последствиями. Большая часть прорывов плотин происходит из-за переливов воды через гребень плотины. Причиной подобных переливов является занижение в проекте расчетных максимальных расходов и объемов половодий и паводков. Занижение максимальных расходов воды вызвано тем, что параметры максимального стока определяются, как правило, по коротким стокowym рядам, включающим затяжные маловодные периоды.

Рассмотрим это на примере Вилюйского гидроузла, расположенного в 1345 км от устья р. Вилюй. Первый агрегат Вилюйской ГЭС введен в эксплуатацию в 1967 г, а на полную мощность ГЭС пущена в 1976 г.

Основные параметры гидроузла, включая пропускную способность водосброса, рассчитаны и обоснованы на базе исходной гидрологической информации за период с 1926 по 1966 гг.

Анализ водности р. Вилюй показал, что период с 1934 по 1972 гг. являлся маловодным, а с 1973 г. начинается многоводный период, продолжающийся до настоящего времени. Максимальный расход половодья 1992 г. составил $16200 \text{ м}^3/\text{с}$ и превысил исторический максимум 1890 г. равный $14000 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальный расход в среднем за период с 1934 по 1972 гг. составил $6500 \text{ м}^3/\text{с}$, а за период с 1973 по 1998 гг. – $8900 \text{ м}^3/\text{с}$.

Параметры максимального стока весенних половодий за периоды до ввода ГЭС и с учетом последних лет сведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

ПАРАМЕТРЫ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННИХ ПОЛОВОДИЙ

Параметр	Период	
	1926–1966 гг.	1926–2000 гг.
1	2	3
1. Среднеголетний максимальный расход воды половодья, м ³ /с	6600	7640
2. Коэффициент изменчивости стока	0,31	0,33
3. Коэффициент асимметрии стока	$C_s = 2C_v$	$C_s = 3C_v$
4. Максимальный расход половодья вероятностного превышения 0,01 % с гарантийной поправкой (г. п.)	18700	21600

При этом параметры максимального стока дождевых паводков практически остались без изменений.

Значительное увеличение максимальных расходов, а следовательно, и объемов весенних половодий вызвало необходимость разработки новой диспетчерской схемы пропуска расчетного половодья 0,01 % с г. п. через гидроузел, исходя из его безопасности.

Проведенные многовариантные расчеты показали:

- для пропуска половодья 0,01 % с г. п. без превышения форсированного подпорного уровня 249 м необходимо к началу половодья произвести углубленную сработку водохранилища с уровня ежегодной сработки 241,2 до отметки 239, т.е. на 2,2 м или в объеме 4 км³.
- открытие водосброса необходимо произвести с отметки 239 м.

Произвести углубленную предполоводную сработку водохранилища в апреле не представляется возможным, так как на Вилуе стоит ледостав и увеличение сбросных расходов вызовет искусственный ледоход с возможным заторным подъемом уровня, вода пойдет поперек льда, что вызовет зимнее наводнение.

Наиболее кардинальными мероприятиями в этом случае являются или снижение НПУ и соответствующего предполоводного уровня на 2,0 м или повышение гребня плотины на 0,6–0,8 м.

Выводы

По Енисейскому каскаду:

- Вероятность превышения стока весеннего половодья в каскаде из двух гидроузлов и боковой приточности между ними может

быть одинаковой и соответствовать нормируемой в замыкающем створе каскада.

- Ограничение максимальных сбросных расходов в створах гидроузлов усложняет, против проекта, схему пропуска половодий. При этом, исходя из не превышения максимальных уровней водохранилищ требуется обоснование предполоводной их сработки и режима работы водосброса и ГЭС.

По Вилуйскому гидроузлу:

- Пропуск повышенного против проекта расчетного половодья возможно осуществить или за счет снижения НПУ и соответствующего уровня предполоводной сработки на 2,0 м, или за счет повышения гребня плотины на 0,6–0,8 м.

Контрольные вопросы

1. С какой целью разрабатываются «Правила управления водными ресурсами водохранилищ»?
2. Что является основным содержанием «Правил . . .»?
3. Назовите режимные зоны диспетчерских графиков управления водными ресурсами водохранилищ.
4. Каковы требования к режиму использования водных ресурсов водохранилищ со стороны основных отраслей хозяйства?
5. Назовите состав исходной информации для разработки «Правил . . .»
6. Почему противопаводковая роль водохранилищ РФ и необходимость ее специального рассмотрения при разработке «Правил . . .» так остро встает в настоящее время?

4. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕЖИМ РАСХОДОВ (УРОВНЕЙ) ВОДЫ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГИДРОУЗЛОВ

Результатом регулирования стока водохранилищами является снижение максимальных естественных расходов (уровней) воды в период половодья и резкое увеличение меженных расходов воды особенно в зимний период. Наблюдаемое снижение максимальных расходов (уровней) в период половодья на протяжении нижнего бьефа приводит на ряде рек к уменьшению, по сравнению с естественными условиями, продолжительности залития пойм и постепенному их “остепнению”. Интенсивность этого негативного процесса определяется глубиной регулирования стока, морфометрией поймы и ее удаленностью от створа гидроузла. В то же время повышение зимних меженных расходов воды активизирует зажорные явления и может в ряде случаев приводить к зажорным затоплениям.

Наряду с неблагоприятными воздействиями гидротехнического строительства на природные условия речных долин и прилегающих к ним территорий, необходимо учитывать и очень важные благоприятные для существования водных экосистем последствия регулирования речного стока, выражающиеся как в исключении катастрофических половодий и паводков, так и в повышении меженных расходов воды. Если бы меженная водность сохранилась на уровне бытовых значений, разбавление сточных вод и загрязнений было бы в несколько раз меньше, чем фактическое при зарегулированном стоке; тяжелейшие последствия для жизни проявились бы не только на Волге, но и на Оби и Енисее.

При проектировании гидроузлов возникает необходимость оценки их воздействия на природные условия речных долин и прилегающих к ним территорий, в том числе и водного режима в нижнем бьефе на значительном удалении от гидроузла.

Обычно необходимые сведения о зарегулированных расходах и уровнях на протяжении нижнего бьефа гидроузла получают путем численного решения основных уравнений Сен-Венана. Эти расчеты весьма трудоемки и требуют подробной информации о русле и пойме, поэтому не всегда могут быть применены при проектировании. Упрощенные же методы расчета, исключая необходимость морфометрических характеристик русла, при резко неустано-

вившемся режиме течения могут привести к значительным погрешностям. Однако, на значительной протяженности нижнего бьефа течение воды может рассматриваться как квазиустановившееся, для расчетов которого успешно применяются упрощенные методы, основанные на использовании известной линейной трансформационной функции Калинина–Милюкова–Нежиховского.

На протяжении ряда лет автором были проведены расчеты по оценке влияния регулирования стока некоторыми водохранилищами ГЭС на водный режим рек. Ниже излагаются результаты проведенных расчетов и выводы по ним.

4.1. Влияние регулирования стока водохранилищем Красноярской ГЭС на водный режим р. Енисей у п. Казачинское

Основные характеристики гидроузла и расчетного створа даны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОУЗЛА И РАСЧЕТНОГО СТВОРА п. КАЗАЧИНСКОЕ

Характеристика	Гидроузел	п. Казачинское
Местоположение створа, км от устья	2502	2212
Площадь водосбора, км ²	289000	353000
Среднегодовой сток, км ³	88,5	—
Вид регулирования стока	многолетнее	—
Коэффициент регулирования стока	0,80	—
Затопление поймы при уровне / расходе воды, м/м ³ /с	—	90,76/13000

Влияние Красноярского водохранилища на водный режим р. Енисей у п. Казачинское рассмотрено за репрезентативный (по статистическим параметрам) период с 1940 по 1966 гг. Исследования проведены в отношении половодной волны с 11.05 по 31.07.

Ежедневный естественный приток воды в водохранилище и проектные расходы воды, сбрасываемые в нижний бьеф Красноярской ГЭС, приняты по расчетам регулирования стока, проведенным автором в Ленгидропроекте к разработке «Основных положений правил использования водных ресурсов водохранилища Красноярской ГЭС». Ежедневные естественные расходы воды р. Енисей у п. Казачинское приняты по данным Красноярского Комитета по гидрометеорологии и контролю окружающей среды.

Ежедневные зарегулированные расходы воды у п. Казачинское получены расчетами по трансформационной функции.

Анализ максимальных расходов воды у п. Казачинское (наблюдавшихся естественных и расчетных зарегулированных водохранилищем) за 27 лет показал, что срезка максимального расхода может достигать $9480 \text{ м}^3/\text{с}$. Средний зарегулированный расход меньше среднего за 27 лет естественного максимума почти в 2 раза.

Для оценки степени влияния Красноярского водохранилища на водный режим у п. Казачинское были рассчитаны и построены совмещенные кривые обеспеченности максимальных годовых расходов воды и кривые продолжительности стояния ежедневных уровней воды при естественном и зарегулированном стоке. Техника построения и расчета их достаточно известна и здесь не приводится. Максимальные расходы воды 1%-ной вероятности превышения, определенные по кривым обеспеченности, в створе гидроузла и в расчетном створе даны в табл. 4.2.

Таблица 4.2

**МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ (числитель) И УРОВНИ
(знаменатель) ВОДЫ 1,0%-НОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ В
ЕСТЕСТВЕННЫХ И ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ
В СТВОРАХ ГЭС И п. КАЗАЧИНСКОЕ**

Условия	Ед. измерения	ГЭС	п. Казачинское
Естественные	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	<u>23400</u>	<u>26200</u>
	м	152,3	93,9
Зарегулированные	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	<u>17400</u>	<u>20700</u>
	м	150,6	92,8
Срезка	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	<u>6000</u>	<u>5500</u>
	м	1,7	1,1

Кривые продолжительности стояния уровней у п. Казачинское приведены на рис. 4.2. Анализ их позволяет сделать следующие выводы:

Выход воды на пойму у п. Казачинское наблюдался в естественных условиях 1 раз в 2 года (в среднем за многолетие). С вводом Красноярской ГЭС и осуществляемого ее водохранилищем многолетнего регулирования стока, затопление поймы будет наблюдаться 1 раз в 20 лет. При этом продолжительность залития поймы снизилась на 6 дней.

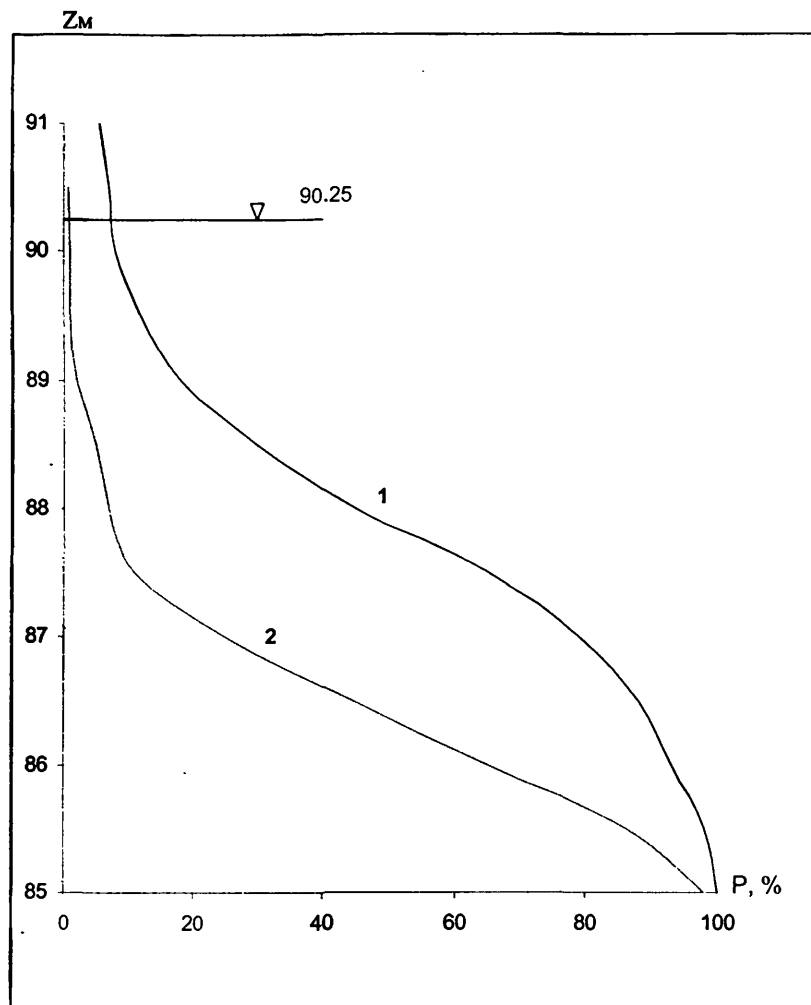


Рис. 4.1. Кривые продолжительности ежедневных уровней воды
у п. Казачинское (290 км от ГЭС) на р.Енисее с 11.05 по 31.07.
1 – естественные, 2 – зарегулированные, ∇ – отметка выхода воды на пойму

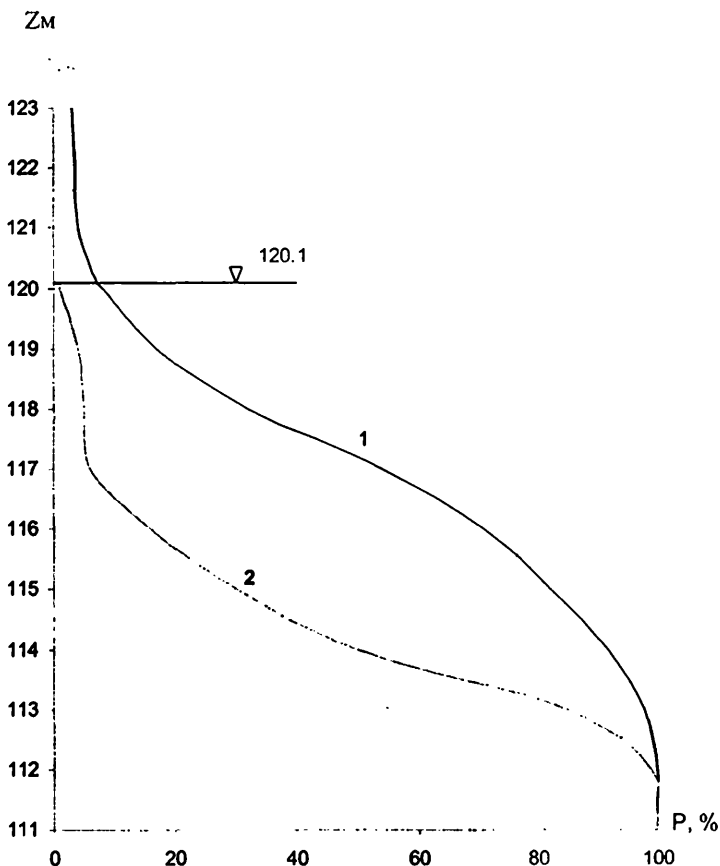


Рис. 4.2. Кривые продолжительности ежедневных уровней воды у г. Сунтар (588 км от ГЭС) на р.Вилуй с 1.06 по 20.06
1 – естественные, 2 – зарегулированные, ∇ – отметка выхода воды на пойму

Таким образом, Красноярский гидроузел оказывает существенное влияние на продуктивность поймы у п. Казачинское.

4.2. Влияние регулирования стока водохранилищем Вилуйской ГЭС – I, II на водный режим р.Вилуй у г. Сунтар и с. Верхне-Вилуйск

Основные характеристики гидроузла и расчетных створов даны в табл. 4.3.

Таблица 4.3

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОУЗЛА И РАСЧЕТНЫХ СТВОРОВ

Характеристика	ГЭС	г. Сунтар	с. Верхне-Вилуйск
Расстояние от створа гидроузла, км	0	588	896
Площадь водосбора, км ²	141200	202000	360000
Процент нарастания площади водосбора по отношению к створу гидроузла, %	–	48,5	164,7
Среднегодовой сток, км ³	19,9	24,7	41,2
Вид регулирования стока	много-летнее		
Коэффициент регулирования стока	0,85		
Затопление поймы при уровне / расходе воды, м/м ³ /с	–	120,1/8160	100,8/6100

Влияние Вилуйского водохранилища на водный режим р. Вилуй рассмотрено за репрезентативный (по статистическим параметрам) период с 1948 по 1966 гг. Исследования проведены в отношении половодной волны с 16.05 по 31.07.

Среднесуточные естественные расходы воды притока в водохранилище и сброса из него приняты по расчетам регулирования стока, проведенным автором в Ленгидропроекте к разработке “Основных положений правил использования водных ресурсов водохранилища Вилуйских ГЭС I, II. По материалам Ленгидропроекта принят и уточненный сток у г. Сунтар и с. Верхне-Вилуйск.

Максимальные расходы воды в створе гидроузла и у г. Сунтар и у с. Верхне-Вилуйск, определенные по соответствующим совмещенным кривым обеспеченности, даны в табл. 4.4.

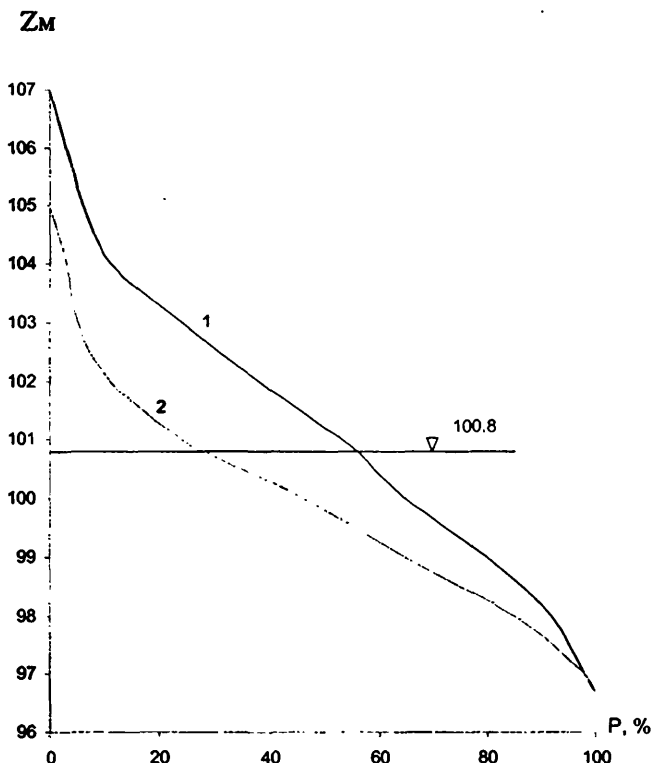


Рис. 4.3. Кривые продолжительности ежедневных уровней воды у с.Верхне-Вилуйск (896 км от ГЭС) на р.Вилуй с 1.06 по 30.06.
1 – естественные, 2 – зарегулированные, ▽ – отметка выхода воды на пойму

Таблица 4.4

МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ (числитель) И УРОВНИ (знаменатель) ВОДЫ 1,0%-НОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ В СТВОРАХ ГЭС, у г. СУНТАР И с. ВЕРХНЕ-ВИЛУЙСК

Условия	Ед. измерения	ГЭС	с. Сунтар	с. Верхне-Вилуйск
Естественные	$\frac{м^3}{с}$	<u>6750</u>	<u>8110</u>	<u>12700</u>
	м	186,0	120,0	104,0
Зарегулированные	$\frac{м^3}{с}$	<u>1750</u>	<u>3300</u>	<u>8200</u>
	м	180,9	115,8	101,8
Срезка	$\frac{м^3}{с}$	<u>5000</u>	<u>4800</u>	<u>4500</u>
	м	5,1	4,2	2,2

Кривые продолжительности стояния уровня воды, полученные по результатам расчетов, приведены на рис. 4.2 и 4.3.

Анализ результатов расчетов показал следующее.

Если в естественных условиях пойма у г. Сунтар заливалась 1 раз в 2 года (в среднем за многолетие), то с вводом Вилюйского гидроузла пойма не затопливается.

Пойма у с. Верхне-Вилюйск затопливается с вводом гидроузла, как и в естественных условиях, ежегодно. Однако длительность заливания поймы в проектных условиях снизилась в июне (в среднем за многолетие) на 8 дней, оставаясь практически без изменения в июле.

4.3. Влияние регулирования стока водохранилищем Новосибирской ГЭС на водный режим р.Оби у г. Колпашево

Основные характеристики гидроузла и расчетных створов даны в табл. 4.5.

Таблица 4.5

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОУЗЛА И РАСЧЕТНОГО СТВОРА г. КОЛПАШЕВО

Характеристика	Гидроузел	г. Колпашево
Местоположение створа, км от устья	2986	2422
Площадь водосбора, км ²	232000	486000
Среднегодовой сток, км ³	53,2	127,0
Полезный объем водохранилища, км ³	4,4	—
Вид регулирования стока	сезонное	—
Коэффициент регулирования стока	0,6	—
Затопление поймы при уровне / расходе воды, м/м ³ /с		61,97/17000

Влияние Новосибирского водохранилища на водный режим р. Оби у г. Колпашево рассмотрено за 20 лет его эксплуатации с 1966 по 1985 гг., за которые средний сток и коэффициент его изменчивости близки к многолетним значениям. Период включает самый многоводный (по стоку) 1972 г. и самый маловодный – 1974 г. Все это говорит о репрезентативности принятого расчетного периода, а следовательно, и достоверности выводов, сделанных на основе его анализа.

С целью оценки степени влияния водохранилища на водный режим у г. Колпашево за расчетный период эксплуатации возникла необходимость в проведении расчетов ретрансформации стока у г. Колпашево, т.е. восстановлении бытового стока. Исследования про-

ведены в отношении расходов половодной волны (с 21.04 по 31.07), как наиболее подверженной влиянию сезонного регулирования.

Ежедневные расходы воды, притекающей в Новосибирское водохранилище, и попуски из него приняты по данным РЭУ «Новосибирскэнерго». Ежедневные зарегулированные расходы воды р. Оби у г. Колпашево приняты по данным Западно-Сибирского Управления по гидрометеорологии и контролю окружающей среды.

Задача получения ежедневных естественных расходов воды у г. Колпашево за период половодий 1966–1985 гг. решалась расчетами по трансформационной функции путем ввода ежедневных расходов воды – естественных и зарегулированных в створе гидроузла и фактических расходов воды у г. Колпашево.

Для выявления степени снижения естественных максимальных расходов воды в створе ГЭС и у г. Колпашево рассчитаны и построены кривые обеспеченности максимальных расходов воды в естественных условиях и при зарегулированном стоке. Техника расчета и построения их достаточно известная и здесь не приводится. Определенные по ним максимальные расходы воды 1%-ной вероятности превышения (обеспеченности) в створе ГЭС и у г. Колпашево даны в табл. 4.6. Там же приведены и соответствующие максимальные уровни воды, определенные по кривым связи расходов и уровней воды в створах ГЭС и у г. Колпашево.

Таблица 4.6

**МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ (числитель) И УРОВНИ (знаменатель)
ВОДЫ 1,0%-НОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И
ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ В СТОРАХ ГЭС и у г. КОЛПАШЕВО**

Условия	Единица измерения	ГЭС	г. Колпашево
Естественные	$\frac{м^3}{с}$	<u>13300</u>	<u>30000</u>
	м	102.2	62,77
Зарегулированные	$\frac{м^3}{с}$	<u>9400</u>	<u>28000</u>
	м	99,5	62,57

Для оценки уменьшения продолжительности стояния расходов воды были рассчитаны совмещенные кривые продолжительности естественных и зарегулированных (среднесуточных) расходов воды у г. Колпашево. По осредненной кривой расходов воды в зависимости от уровней в створе г. Колпашево кривые продолжительности расходов были пересчитаны в соответствующие кривые продолжительности среднесуточных уровней воды у г. Колпашево, приведенные на рис. 4.4.

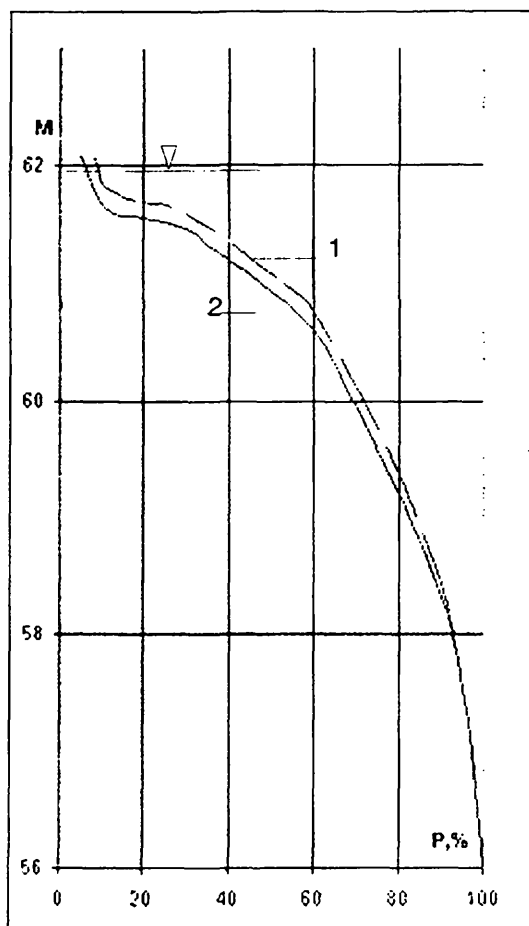


Рис. 4.4. Кривые продолжительности ежедневных (564 км от ГЭС) на р.Оби с 21.04 по 31.07 уровней воды у г.Колпашево

1 – естественные, 2 – зарегулированные, ▽ – отметка выхода воды на пойму

Анализ данных, приведенных в таблице и на рисунке, позволяет сделать следующие выводы.

Выход воды на пойму у г. Колпашево наблюдался в естественных условиях 1 раз в 2 года (в среднем за многолетие). С вводом Новосибирской ГЭС и осуществляемого Новосибирским водохранилищем сезонного регулирования стока затопление поймы будет наблюдаться 1 раз в 4 года. При этом продолжительность залития поймы практически не изменяется.

Казалось бы существенного влияния на водный режим поймы р. Оби у г. Колпашево и ее рыбопродуктивность Новосибирское водохранилище не оказывает. В действительности опыт работы ГЭС, анализ режима заполнения и сработки водохранилища, уровень р. Оби в районе г. Колпашево и фактических выловов рыбы показал, что дело обстоит далеко не так.

Наиболее ответственный период жизни рыб – нерест и нагул в пределах Томской области протекает в течение мая, в связи с чем установлен и действует весенний запрет на всякое рыболовство в южных районах с 25 апреля по 25 мая и в северных с 1 по 30 мая.

От гидрологического режима в этот период полностью зависит результат воспроизводства – урожай молоди рыб. Именно в это ответственное для рыбного хозяйства время осуществляется наполнение водохранилища и на указанный объем воды 4,5–5,0 км³ сокращается майский сток.

Если подходить точнее, то для рыбного хозяйства важнее первая половина мая; к этому времени обычно задерживается и основное количество воды. Изъятое количество воды даже для района г. Колпашево, где в течение мая в зависимости от водности года проходит от 20 до 37 км³ воды, довольно существенно и составляет от 11 до 23%, с которыми приходится считаться.

Дело в том, что пойма, построенная грунтовыми отложениями вод весеннего половодья, по своему уровню близка к средним уровням половодья. Отсюда наиболее часто повторяющиеся половодья заливают нерестилища – луга с остатками прошлогодней растительности, небольшим слоем. Поэтому потеря 50–60 см уровня половодья имеет решающее значение для условий воспроизводства.

В связи с этим поставлена задача определить влияние режима наполнения водохранилища на уровень, степень залития, продолжительность затопления поймы р. Оби в Томской области в течение мая в характерные по водности годы.

После вскрытия реки ото льда, до наступления нерестовых температур (для щуки 3–4⁰, для карповых – язь, плотва, елец 6–8⁰) проходит несколько дней. В среднем за несколько лет температура воды, равная 3⁰ С, наступает на 4–5 суток после вскрытия реки, а 8⁰ С – на 8–9 суток. Пик нереста длится 3–4 суток, и в зависимости от дальнейших изменений температур, процесс инкубации длится в течение 8–10 дней.

Отсюда минимум продолжительности нахождения нерестовых участков под водой при оптимальных температурах для щуки – 17 суток (5+4+8), для карповых, кроме карася, 20 суток (8+4+8).

До достижения личинками более жизненной стадии, что обеспечивает их выживаемость, желательно нахождение их на пойме еще 8–10 суток.

Таким образом, для решения вопроса о влиянии зарегулирования р. Оби на воспроизводство рыбных запасов средней Оби следует определить уровни, стоявшие не менее 20 суток в период до и после зарегулирования стока реки. Зная, на сколько снизились максимальные уровни половодья продолжительностью стояния не менее 20 суток, можно будет определить, в какой степени изменились возможности воспроизводства, так как только эти уровни обеспечивают выход молоди.

Для выявления закономерностей в процессе воздействия ГЭС на рыбопродуктивность были построены графики связи вылова рыбы с максимальным уровнем, стоявшим не менее 20 суток.

Гидрологические условия на средней Оби таковы, что гидрограф весеннего половодья обычно имеет две вершины. Первый максимум наблюдается в первых числах мая. Этот максимум наиболее важен для условий нереста рыбы. В то же время при зарегулированном стоке он идет на наполнение водохранилища. Второй максимум проходит обычно во второй половине мая – начале июня. Он менее важен для условий размножения рыбы, так как обычно к этому времени нерест почти всех видов рыб завершен. Для наполнения водохранилища хватает первой волны половодья, а вторая обычно сбрасывается из водохранилища.

При снятии максимальных уровней половодья, стоявших не менее 20 суток, ставилась задача получить уровень, наиболее влияющий на условия нереста и развития личинок. Поэтому при анализе гидрографа половодья учитывалась температура воды. Для

снятия уровня применялись следующие правила: выбирался максимальный уровень, стоявший непрерывно в течение 20 суток; за дату начала стояния указанного уровня принималась дата, при которой температура воды в створе р. Обь – с. Колпашево находилась около $4-5^{\circ}\text{C}$ (температура, при которой начинается нерест у большинства видов рыбы).

Для построения графиков использовались ряды вылова рыбы за период до наполнения Новосибирского водохранилища с 1950 по 1956 гг. и после наполнения водохранилища с 1960 по 1971 гг. Период с 1957 по 1959 гг. был исключен из анализа, так как в этот период происходило наполнение водохранилища и, следовательно, наблюдался аномальный режим стока.

Были построены графики связи максимального уровня, стоявшего не менее 20 суток, со следующими рядами: общий вылов весенне-нерестующих видов рыбы, вылов щуки, вылов язя. На графике зависимости общего вылова весенне-нерестующих видов рыбы от максимального уровня, стоявшего не менее 20 суток, прослеживаются две зависимости: первая – за период до наполнения водохранилища, вторая – после (см. рис. 4.5). Через поля точек для каждой из зависимостей проведены линейные линии тренда. Направление прямых подтверждает вывод о том, что рыбопродуктивность возрастает при увеличении уровня половодья.

Графики, построенные для отдельных видов, имеют ту же тенденцию, что и график для общего вылова весенне-нерестующих видов рыбы.

Наличие двух зависимостей, характеризующих состояние р. Оби до и после создания водохранилища, объясняется антропогенным воздействием водохранилища. По сдвигу прямой влево можно судить о потере рыбы в р. Оби после создания Новосибирского водохранилища.

Для оценки влияния Новосибирского гидроузла на весенний сток в районе г. Колпашево был использован независимый материал, в котором на основе метода Калинина–Милюкова произведен расчет естественных расходов воды в створе г. Колпашево. Эти данные позволили осуществить сравнение стока в зарегулированных и естественных условиях.

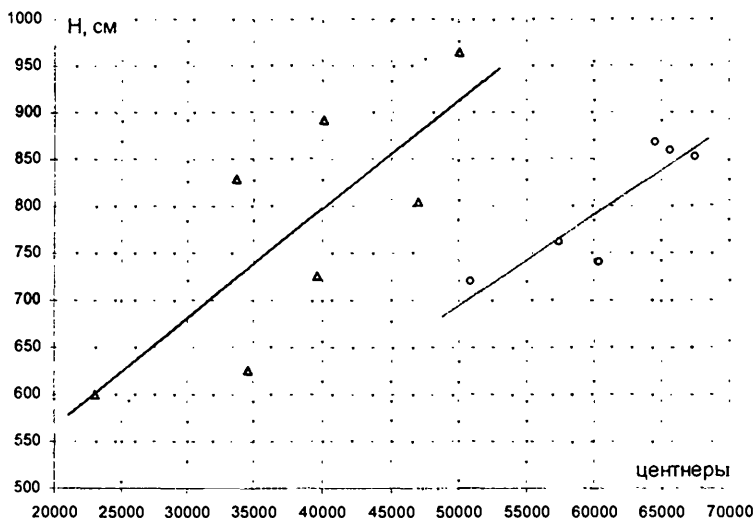


Рис. 4.5. Графики связи выловов рыбы и уровней воды в с. Колпашево до и после создания водохранилища

Для створа г. Колпашево была построена зависимость расхода от уровня – кривая $Q = f(H)$. На основе кривой $Q = f(H)$ и гидрографов стока для естественного и зарегулированного режима за период с 1966 по 1985 гг. были получены максимальные уровни, стоявшие не менее 20 суток.

Уровни в зарегулированных условиях всегда ниже чем в естественных за исключением одного года. Разность снятых уровней для естественного и зарегулированного режимов увеличивается обратно пропорционально водности года. Отсюда можно сделать вывод о том, что в маловодные годы негативное влияние водохранилища сказывается максимально.

С целью получения конкретных данных о потерях для рыбного хозяйства Томской области был выполнен расчет по следующей методике. За период до создания Новосибирского водохранилища были выбраны три маловодных года: 1945, 1951 и 1956. Для этих лет было выполнено регулирование стока Новосибирским водохранилищем по трем вариантам.

Первый вариант – энергетический. Максимально быстрое заполнение водохранилища с началом весеннего половодья. Такой

вариант регулирования наиболее выгоден с точки зрения выработки электроэнергии.

Второй вариант – полурыбохозяйственный. Представляет собой компромисс между задачами энергетики и рыбного хозяйства. Первые 10 дней сток половодья пропускается транзитом, а затем наполняется водохранилище.

Третий вариант – рыбохозяйственный. Первые 20 дней сток половодья пропускается транзитом, а затем наполняется водохранилище.

Используя метод Калинина–Милюкова, получены гидрографы стока у г. Колпашево по всем вариантам регулирования для 1945, 1951 и 1956 гг. Для примера гидрограф стока 1945 г. дан на рис. 4.6.

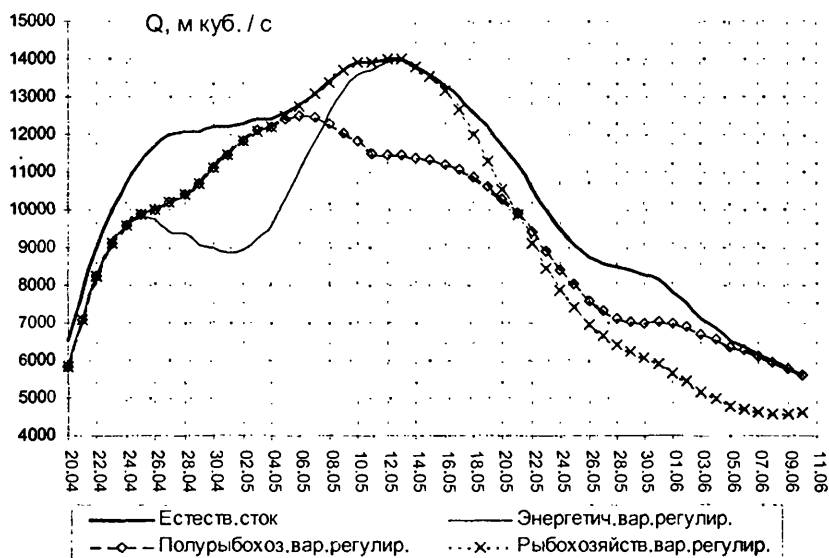


Рис. 4.6. Гидрограф естественного стока у г. Колпашево и три варианта регулирования стока для 1945 г.

Используя полученные гидрографы стока, можно снять максимальный расход, стоявший не менее 20 суток, для каждого варианта регулирования. По кривой $Q = f(H)$ снимаются аналогичные значения уровней воды. Затем с графика связи максимальных уровней, стоявших не менее 20 суток, с выловом рыбы можно снять значение вылова рыбы. Разность вылова рыбы, снятая для трех способов ре-

гулирования и для естественного стока, показывает величину потерь в выловах рыбы.

Согласно описанной выше методике были определены потери в выловах рыбы для 1945, 1951 и 1956 г. Для 1945 г. выполнен расчет потерь выработки энергии ГЭС за период с апреля по июнь (см. табл. 4.7).

Расчеты показали, что в первом варианте регулирования вылов рыбы снижается на 16–20 %, во втором – на 8–10 %, а в третьем – остается на уровне естественного.

В то же время выработка энергии ГЭС в период (IY–YI) снижается до 10 % – во втором и до 25 % – в третьем вариантах. Так как величина этого снижения выработки может быть покрыта другими ГЭС района, например Красноярской ГЭС, которая является гораздо более мощной и находится в менее важном для рыбного хозяйства районе, то вполне возможен вариант удовлетворения требований рыбного хозяйства.

Таблица 4.7

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ПОТЕРЬ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ
НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС, 1945 г. (маловодный)**

Вариант	$Q_{20\max}$ м ³ /с	$H_{20\max}$ см	Вылов рыбы, тыс. ц.	Снижение вылова		Дата заполнения водохрани- лища	Выработка за IV–VI, млн. кВт·ч	Снижение вы- работки	
				тыс. ц.	%			млн. кВт·ч	%
Естественный сток	12100	834	64,8	0	0				
Энергетический вариант	8800	700	50,7	141	22	16.05	659	0	0
Полуры- бохозяй- ственный вариант	10600	781	59,2	560	9	26.05	575	84	13
Рыбохо- зяйствен- ный вариант	10900	793	60,5	43	7	05.06	474	185	28

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о снижении рыбопродуктивности поймы р. Оби в районе г. Колпашево под воздействием количественного изменения вод р. Оби за счет срезки половодной волны Новосибирским водохранилищем. Однако при этом, снижение рыбопродуктивности возможно и в результате ухудшения качества воды.

Контрольные вопросы

1. Дайте оценку продолжительности стояния уровней на пойме и максимальных расходов воды в нижнем бьефе Красноярского, Вилюйского и Новосибирского гидроузлов.
2. Назовите возможные причины снижения рыбопродуктивности поймы р. Оби в районе г. Колпашево.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян А. Б. Водохранилища и окружающая среда // Водные проблемы на рубеже веков. – М.: Наука, 1999. – С. 217–227.
2. Арсеньев Г. С., Иваненко А. Г. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. – Л.: Гидрометеониздат, 1993. – 272 с.
3. Баранова Е. А., Малик Л. К. Гидроэнергетика России в экологическом измерении // Энергия: экономика, техника, экология – 1995, № 9, с. 27–30.
4. Методические указания о составе, содержании, порядке разработки, согласования, утверждения, уточнения схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. ИВН 33–5.1.07-87. – М.: Минмелиоводхоз СССР, 1987. – 67 с.
5. Методические указания по составлению правил использования водных ресурсов водохранилищ гидроузлов электростанций (Авторы: Асарин А. Е., Бестужева К. Н., Резниковский А. Ш. и др.). М.: 2000. – 56 с.
6. Типовые правила эксплуатации водохранилищ емкостью 10 млн. м³ и более. РД 33-3.2.08-87. Минводхоз СССР, М., 1987.
7. Фащевский Б. В. Основы экологической гидрологии. – Минск, 1996. – 240 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
1. Водохозяйственный баланс как основа необходимости управления водными ресурсами	10
1.1. Методика составления водохозяйственных балансов	10
1.2. Современная методология установления экологических (природоохранных) попусков	15
1.3. Оценка воздействия экологических попусков на водо- и энергоотдачу комплексных гидроузлов	18
2. Минимизация утраты ландшафтов в результате затопления земли водохранилищами	24
2.1. Обзор существующего положения	24
2.2. Основные направления по снижению затопления земель при создании водохранилищ	24
3. Разработка правил управления водными ресурсами водохранилищ с целью повышения эффективности их использования	31
3.1. Общие положения	31
3.2. Интересы водопользователей и их учет в «Правилах управления водными ресурсами водохранилищ»	35
3.3. Исходные данные для разработки «Правил управления водными ресурсами водохранилищ»	37
3.4. Основные положения правил управления работой некоторых водохранилищ гидроэлектростанций	38
3.5. Противопаводковая функция водохранилищ и расчеты пропуска высоких паводков	47
4. Оценка влияния водохранилищ на режим расходов (уровней) воды в нижнем бьефе комплексных гидроузлов	59
4.1. Влияние регулирования стока водохранилищем Красноярской ГЭС на водный режим р. Енисей у п. Казачинское	60
4.2. Влияние регулирования стока водохранилищем Вилюйской ГЭС – I, II на водный режим р. Вилюй у с. Сунтар и с. Верхнее-Вилюйск	64
4.3. Влияние регулирования стока водохранилищем Новосибирской ГЭС на водный режим р. Оби у г. Колпашево	66

Учебное издание

Герман Семенович Арсеньев

**ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ
ВОДОХРАНИЛИЩ**

Учебное пособие

Редактор И.Г. Максимова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 22.08.03. Формат 60х90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 5,0. Уч.-изд.л. 5,0. Тираж 300 экз. Заказ № 47
РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «Леска», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 68.



Г. Арсеньев

**ОСНОВЫ
УПРАВЛЕНИЯ
ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ
ВОДОХРАНИЛИЩ**

