МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

РУКОВОДСТВО ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ ТЭО И ПРОЕКТОВ АЭС

РД 95.10531-96

Москва - 1996

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Утверждаю
Заместитель министра
Е.А.Решетников
"13" 07 1996 г.

РУКОВОДСТВО ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ ТЭО И ПРОЕКТОВ АЭС

РД 95. 10531-96

Дата введения 1997-02-01

Москва - 1996

СОГЛАСОВАНО

Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации — 10 июня 1996 г.

N 19-2/10-256

Академия водохозяйственных наук Российской Федерации — 20 февраля 1996 г.

N 2-20/2/96

Департамент проектирования, инвестиций и строительства

"25" 04 1996 г.

РАЗРАБОТАНЫ Государственным научно-исследовательским, проектно-конструкторским и изыскательским институтом "Атомэнергопроект"

Институтом водных проблем Российской Академии наук

ВНЕСЕНЫ Институтом "Атомэнергопроект"

заместителем директора

М.О.Топчияном

начальником отдела инженерных изысканий

к.г/н. В.Н.Погребняком

начальником производственно-технического отдела обеспечения качества, стандартизации и нормоконтроля

Н.Н.Беловым

Институтом водных проблем РАН

заведующим лабораторией, академиком АВН РФ

д.т.н. Д.Я.Ратковичем

В разработке принимали участие:

к.ф.м.н. Архипов Б.В.	(Институт водных проблем РАН)
д.т.н. Асарин А.Е.	(Институт "Гидропроект")
Белов Н.Н.	(Институт "Атомэнергопроект)
д.г.н. Болгов М.В.	(Институт водных проблем РАН)
д.т.н. Веницианов Е.В.	(Институт водных проблем РАН)
к.г.н. Волкова З.В.	(Институт водных проблем РАН)
Жиркевич А.Н.	(Институт "Гидропроект")
чл.-корр.РАЕН, д.г.м.н. Зекцер И.С.	(Институт водных проблем РАН)
к.г.н. Лобанова А.Г.	(Государственный гидрологический институт)
к.г.н. Погребняк В.Н.	(Институт "Атомэнергопроект")
академик АВН РФ, д.т.н. Раткович Д.Я.	(Институт водных проблем РАН)
профессор, д.т.н. Рождественский А.В.	(Государственный гидрологический институт)
к.т.н. Кякк В.А.	АО "ВНИИГ им.Веденеева
к.т.н. Наталина И.Н.	АО "ВНИИГ им.Веденеева
Лобашев А.А.	(Санкт-Петербургский институт "Атомэнергопроект")
Русс В.И.	(Институт "Атомэнергопроект")
Силаева Л.Ф.	(Институт "Атомэнергопроект")
Топчиян М.О.	(Институт "Атомэнергопроект")
Тюнин А.Е.	(Институт "Атомэнергопроект")

Содержание

1.Общие полсжения 10

2.Инженерно-гидрологическое обоснование использования поверхностных вод 15
2.1.Проектные требования к оценке располагаемых водных ресурсов при создании водоемов-охладителей... 15
2.2.Расчеты параметров режима речного стока 18
2.3.Моделирование временных рядов составляющих водного баланса и их использование в водохозяйственных расчетах 23
2.4.Расчеты параметров уровенного режима внутренних водоемов..... 27
2.5. Проектные требования к термическому и ледовому режиму источников технического водоснабжения АЭС 31
2.6. Расчет термического режима водоемов-охладителей АЭС..... 38
2.7.Расчеты ледового режима водоемов-охладителей 47
2.8.Расчеты ледово - термического режима нижних бъефов гидросооружений и рек, вытекающих из водоемов -охладителей 53

3.Гидрогеологическое обоснование использования подземных вод 56
3.1.Основания для использования подземных вод 56
3.2.Принципы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах 62
3.3.Оценка возможности использования искусственного восполнения подземных вод 64

4.Обоснование параметров и правил эксплуатации систем водоснабжения 70
4.1.Водохозяйственные расчеты и балансы..... 70
4.2.Проектные требования к эксплуатации и управлению режимом водных объектов, используемых для технического водоснабжения АЭС 78
4.3.Характеристика надежности водоподачи из поверхностного источника 82

4.4.Проектные требования к источникам системы технического водоснабжения ответственных потребителей АЭС 86

5.Оценка качества воды охладителей сбросных вод АЭС..... 90
5.1.Общие положения 90
5.2.Нормативная база..... 90
5.3.Определение списка ингредиентов качества воды... 92
5.4.Учет вероятностных характеристик прогнозируемых процессов..... 93
5.5. Методика вычислений нормируемых концетраций загрязняющих веществ..... 94

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА 100

ПРИЛОЖЕНИЯ..... 103

1.Состав и методы гидрологических расчетов при обосновании ТЭО и проектов АЭС 104
2.Групповой анализ материалов наблюдений за стоком гидрологически сходных бассейнов 106
3.Стохастическое моделирование временных рядов 110
4.Зависимости между коэффициентами корреляции для гамма-распределенных, равномерно-распределенных и нормально распределенных величин 113
5.Повторяемость группировок маловодных и многоводных лет 114
6.Использование моделированных рядов составляющих водного баланса при расчете системы водоснабжения АЭС (на примере Калининской АЭС) 119
7.Зависимости между коэффициентами корреляции для рядов исходных гидрометеорологических величин и коэффициентами корреляции между оценками параметров их распределений 149
8.Расчет ледово-термических характеристик нижних бьефов и рек, вытекающих из водоемов-охладителей 150

9.Расчет таяния льда в случае стока теплых вод под ледяным покровом 153
10.Расчет интенсивности шугообразования и общего количества шуги 154
11.Оценка изменения площади ледового покрытия за зиму..... 156
12.Таблицы гидрофизических характеристик 161
13.Нормативы и расчетные методики для прогноза качества воды..... 165
14.Перечень нормативных документов..... 178
15.Ориентировочные расходы воды систем техводоснабжения атомных электростанций с блоками НП-640 и НП-1100 180
16.Классификация систем охлаждения по влиянию на безопасность АЭС 181
17.Расчетные обеспеченности расходов воды источников технического водоснабжения АЭС 182
18. Предельно допустимые концетрации (ПДК) химических ингредиентов в добавочной воде 183

Настоящий руководящий документ распространяется на гидрологическое обоснование ТЭО и проектов АЭС вновь сооружаемых, расширяемых и модернизируемых станций, в части оценки достаточности располагаемых водных ресурсов и надежности водного объекта - источника технического водоснабжения, включая обеспечение бесперебойной эксплуатации в маловодные годы редкой повторяемости с учетом требований по охране окружающей среды.

Руководство устанавливает требования к оценке гидрологических параметров водных объектов, а также к водохозяйственным параметрам, определяющим гарантированную водоотдачу и правила эксплуатации источников технического водоснабжения АЭС.

Гидрологические, гидрогеологические, гидрофизические и водохозяйственные расчеты, входящие в состав гидрологического обоснования, должны основываться на комплексе инженерных изысканий и исследований в объеме, предусмотренном требованиями действующих НТД.

Руководящий документ не распространяется на гидрологическое обоснование проектов АЭС, размещаемых на морских побережьях и на участках морских устьев рек.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящий документ устанавливает методические подходы к оценке надежности водообеспеченности технологических систем АЭС на основе использования поверхностных и подземных водных ресурсов.

1.2. Устанавливая порядок применения стандартных методов определения расчетных гидрологических и водохозяйственных характеристик, Руководство регламентирует:

-групповые оценки гидрологических параметров используемых водных объектов;

-оценки величин дополнительного испарения с поверхности подогретых водоемов-охладителей и потерь на градирнях;

-водохозяйственные расчеты для определения гарантированной водоотдачи источников технического водоснабжения на основе моделированных временных рядов составляющих водного баланса;

-оценку возможности использования и восполнения подземных вод для резервного водоснабжения в маловодные годы;

-оценку воздействия АЭС на естественный гидрологический (включая ледово-термический) режим водных объектов в зоне влияния АЭС;

-проектные требования к эксплуатации и управлению режимом водных объектов, используемых для техничееского водоснабжения АЭС;

-проектные требования к регулированию и контролю температурного и ледового режимов водоемов и водотоков, используемых в системе технического водоснабжения АЭС;

-проектные требования к оценке располагаемых водных ресурсов поверхностных и подземных источников технического водоснабжения АЭС;

-проектные требования к использованию водных объектов в системах технического водоснабжения ответственных потребителей.

1.3. Основные положения Руководства относятся к методике обоснования исходных гидрологических и водохозяйственных параметров, использование которых в проектных решениях обеспечивает заданную гарантию бесперебойной работы систем технического водоснабжения АЭС в условиях ограниченных водных ресурсов, включая маловодные годы расчетной обеспеченности.

1.4. Руководство состоит из основных положений и набора приложений, обобщающих современный опыт гидрологических и

водохозяйственных расчетов, позволяющих выполнять гидрологическое обоснование ТЭО и проектов АЭС со степенью надежности, соответствующей нормативным требованиям к системам водоснабжения АЭС: включая системы техводоснабжения ответственных потребителей.

1.5. Руководство учитывает, что система технического водоснабжения предназначается для охлаждения водой конденсаторной группы и вспомогательного оборудования турбины, прочих потребителей главного корпуса и вспомогательных зданий, а также системы ответственных потребителей АЭС (бассейн выдержки, кондиционеры реакторного отделения и дизель-генераторов аварийного энергоснабжения).

Обоснование системы технического водоснабжения АЭС и водных источников этой системы производится на основе анализа природных условий, производственных факторов по критериям надежности, безопасности и экономичности работы АЭС, технико-экономических расчетов, а также требований органов по охране окружающей среды.

1.6. Проектирование системы технического водоснабжения выполняется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации касающейся разработки, строительства и эксплуатации АЭС, а также общестроительных и гидростроительных норм.

Технические решения по схемам, конструкциям и применяемым материалам должны обеспечивать надежную и экономическую работу энергоблока в течение всего срока службы АЭС.

Для АЭС принимается, как правило, оборотная система техводоснабжения с использованием в качестве охладителей наливных водохранилищ-охладителей или градирен, а также брызгальных бассейнов. При этом водохранилища-охладители должны в соответствии с "Водным кодексом" [33] рассматриваться как водные объекты особого пользования.

При расположении АЭС на побережье моря или водоемах значительных объемов (озерах, водохранилищах) возможно применение прямоточной схемы техводоснабжения при обосновании и согласовании водопользования в установленном порядке с природоохранными органами.

1.7. Основные положения Руководства относятся к следующим системам технического водоснабжения АЭС:

-система охлаждения турбинного отделения (основная система);

-система охлаждения потребителей технической воды реакторного отделения, машинного зала и вспомогательных зданий, не относящихся к системам безопасности (вспомогательная система);

-система охлаждения ответственных потребителей АЭС (система, важная для безопасности АЭС).

Расчетные расходы охлаждающей воды для основного и вспомогательного оборудования принимаются по техническим условиям заводов-изготовителей.

Расходы воды на подпитку системы техводоснабжения должны определяться с учетом потерь с испарением, уноса ветром, потерь воды при прохождении очистных сооружений, фильтрации, сброса продувочной воды из системы. Размеры, параметры охладителя и условия работы АЭС определяются по среднемесячным метеорологическим условиям среднего года с учетом графика работы основного оборудования электростанции.

1.8. Расчетные обеспеченности расходов воды источников технического водоснабжения АЭС приведены в справочном приложении 17. Расходы и температурные перепады охлаждающей воды указанных систем для блока АЭС мощностью 640 мВт (с реакторными установками типа В-407 и паровыми турбинами типа К-600-6,9/50) и для блока АЭС мощностью 1100 мВт (с реакторами типа В-410 и турбинами К-1100-6,9/50), вводы в эксплуатацию которых намечаются в ближайшей перспективе, приведенные в справочном приложении 15.

1.9. При разработке гидрологического обоснования учитываются значения ориентировочных объемов потерь технической воды в системах охлаждения указанных выше типов блоков АЭС при работе их по оборотной системе с башенными градирнями (основная и вспомогательные системы) и брызгальными бассейнами (система важная для безопасности), приведенных в таблице справочного приложения 15.

При гидрологическом обосновании ТЭО и проектов АЭС для каждой площадки АЭС указанные расходы воды должны быть уточнены с учетом климатических условий района размещения и принимаемых технических решений по системам техводоснабжения и водоисточникам.

1.10. Системы охлаждения по своему назначению относятся к системам нормальной эксплуатации и к системам безопасности АЭС.

В таблице приложения 16 приведена классификация систем охлаждения и их основных элементов по влиянию на безопасность АЭС, составленная на основании перечня технологических систем охлаждения АЭС и титульного списка зданий и сооружений базового проекта АЭС НП-500.

Для каждой конкретной АЭС перечень и классификация элементов систем может быть уточнен в зависимости от местных условий и принимаемых технических решений по схемам систем технического водоснабжения АЭС.

1.11. Основная система охлаждения турбинного отделения предназначена для охлаждения конденсатора турбин, газоохладителей и маслоохладителей турбогенератора и другого вспомогательного оборудования турбины. Система охлаждения работает во время работы турбоагрегата.

Подача охлаждающей воды потребителям в этой системе, как правило, осуществляется по оборотной одноподъемной или двухподъемной схемам, в зависимости от решений генплана АЭС и принятых охлаждающих устройств.

При одноподъемной схеме охлаждающая вода от охладителя через блочную насосную станцию по напорному водоводу подается водопотребителю и далее, либо самотечному водоводу на охладитель (водоем-охладитель), либо по напорному водоводу на охладитель (градирня, брызгальный бассейн).

При двухподъемной схеме охлаждающая вода от охладителя подается через блочную насосную станцию по напорному водоводу к водопотребителю и далее по самотечному водоводу к насосной станции охладителя.

1.12. Вспомогательная система охлаждения потребителей технической воды реакторного отделения, машинного зала и вспомогательных зданий предназначена для охлаждения теплообменников потребителей, размещаемых в турбинном, реакторном и парогенераторном отделениях главного корпуса и вспомогательных зданий, требующих охлаждения независимо от работы турбоустановки и не относящихся к системам безопасности.

Система должна быть выполнена по оборотной схеме с использованием охладителей основной системы охлаждения турбинного отделения или охладителей воды, устанавливаемых в этой системе.

Основная и вспомогательная системы относятся к системам нормальной эксплуатации АЭС, не влияющие на безопасность.

1.13. Система охлаждения ответственных потребителей АЭС предназначена для отвода тепла от теплообменников системы охлаждения воды бассейна выдержки, конденсаторов кондиционеров систем вентиляции реакторного отделения и дизель-генераторов системы аварийного электроснабжения (САЭ) в режимах нормальной эксплуатации и в аварийных ситуациях.

1.14. Подпитку системы техводоснабжения следует предусматривать из двух независимых источников водоснабжения. При обосновании надежности допускается использование одного источника добавочной воды с подачей ее двумя независимыми насосными установками.

При гидрологическом обосновании проектов АЭС следует предусматривать дополнительные объемы водных ресурсов для осуществления продувки системы технического водоснабжения в целях обеспечения коррозионной стойкости теплообменников и чистоты их действующих поверхностей. Предельно допустимые концетрации химических ингредиентов в добавочной воде приведены в справочном приложении 18.

2. ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД.

2.1. Проектные требования к оценке располагаемых водных ресурсов при создании водоемов охладителей.

2.1.1. При проектировании водохозяйственных установок используются две формы характеристик водных ресурсов и будущего гидрологического режима.

Первой формой являются обобщенные характеристики предстоящего гидрологического режима: кривые обеспеченности фазово-однородных величин стока и распределение стока на протяжении отдельных фаз годового цикла. Совокупность законов распределения, охватывающая сезоны года, год в целом, смежные годы и отдельные элементы гидрографов дает представление о случайных колебаниях стока рек.

Совокупность параметров распределений служит количественным выражением закономерностей, определяющих вероятности ожидаемых величин стока.

При второй форме описания предстоящего гидрологического режима используются наблюденные хронологические последовательности стока. Ряд наблюденных значений стока рассматривается в качестве прототипа будущего гидрологического режима, а функционирование водохозяйственной системы совмещается с принятой календарной последовательностью расходов воды.

2.1.2. Порядок анализа и описания колебаний стока зависит от условий решаемой проектной задачи.

а). При глубоком многолетнем регулировании определяющее влияние при проектировании режима системы водоснабжения имеют закономерности колебаний стока в многолетнем разрезе. Основным элементом моделирования и расчета служат многолетние последовательности годовых объемов стока. Сезонный режим может учитываться в виде некоторого внутригодового распределения стока.

б). При более низких степенях регулирования стока его внутригодовое распределение приобретает большее влияние на режим работы системы водоснабжения и становится необходимым более

детальное описание распределения стока по фазам гидрологического режима. Так для большей части территории России наиболее отчетливо выраженными формами являются половодье и период низкого стока (зимняя и летняя межень).

Основными характеристиками стока являются кривые обеспеченности его объемов за указанные фазы. Распределение стока внутри фаз, как правило, учитывается с помощью типовых гидрографов.

в). При отсутствии регулирования стока основной проектной гидрологической характеристикой реки служит кривая обеспеченности минимальных среднемесячных (среднетекадных) расходов воды. При расчетах размеров водопропускных сооружений исследуется также распределение наибольших в году расходов воды.

2.1.3. Высокая ответственность систем водоснабжения АЭС требует анализа редко повторяемых условий, поэтому выполнение гидрологических расчетов по наблюденным рядам стока (длительностью, как правило, менее 100 лет) недопустимо. Оценка закономерностей колебания стока требует описания его режима вероятностными методами. При этом результаты расчетов опираются на принимаемый тип распределения вероятностей и его параметры: норму (среднее многолетние значение), а также коэффициенты вариации, асимметрии и автокорреляции.

Первые два их этих параметров определяются по имеющимся рядам наблюдений, а третий и четвертый назначаются нормативно, исходя из совокупности накопленных представлений о режиме колебаний стока по множеству однородных объектов.

2.1.4. Создание и эксплуатация АЭС изменяет гидрологический и гидрофизический режимы водного объекта, что в свою очередь, нарушает условия функционирования водных и околоводных экосистем.

В интересах сохранения окружающей среды подлежат согласованию с соответствующими инстанциями и организациями проектные решения по системе водоснабжения и эксплуатации АЭС. В частности, это относится к следующим режимным характеристикам:

- среднегодовая величина изъятий воды из источников;

- гарантированная водность источников в маловодные сезоны года (при создании водохранилищ - гарантированные санитарно-экологические попуски воды в нижний бьеф); допускаемое

сокращение водности в годы, выходящие за пределы расчетной обеспеченности;

- сокращение повторяемости и высоты половодий (паводков), включая критерий повторяемости в проектных условиях лет без половодий;

- допускаемая длительность периодов с согласованной минимальной водностью; допускаемая доля времени с такой водностью в среднем за многолетие;

- при использовании для водоснабжения АЭС (наряду с поверхностными) подземных источников - величина и периодичность использования их вод;

- режим уровня в водоемах-охладителях;

- нарушение термического режима водных объектов в результате сброса в водные объекты подогретых вод; изменение сроков замерзания и вскрытия.

2.1.5. Оценка возможности использования подземных вод при проектировании систем технического водоснабжения АЭС основывается на следующих положениях.

2.1.5.1. Основанием для использования подземных вод как постоянного или периодического источника технического водоснабжения АЭС является наличие ресурсов подземных вод в достаточном количестве, а также результаты технико-экономического и экологического сравнения вариантов использования подземных вод с возможными дополнительными вариантами использования поверхностных вод, включая создание дополнительных водохранилищ сезонного регулирования, переброску воды из бассейнов других рек, переход на другие технологии охлаждения.

2.1.5.2. В соответствии с существующим водным законодательством, пресные подземные воды используются преимущественно для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Поэтому использование вод для технического водоснабжения допустимо только в тех случаях, когда имеющиеся запасы подземных вод превышают существующую и перспективную потребность в воде питьевого качества или когда отбор подземных вод для технического водоснабжения будет осуществлятся их водоносных горизонтов, которые по качеству воды, или опасности загрязнения

не пригодны и не перспективны для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

2.1.5.3. Критерием целесообразности и возможности использования подземных вод для технического водоснабжения АЭС является величина их эксплуатационных ресурсов, оценка которых производится специализированными организациями. При этом обязательным является оценка возможного влияния интенсивного отбора подземных вод на окружающую среду.

2.1.5.4. Под эксплуатационными запасами подземных вод понимается средний за расчетный период фактический или проектный расход подземных вод, который может быть получен на месторождении (участке) с помощью геолого-технически обоснованных водозаборных сооружений при заданных: режиме, условиях эксплуатации и качестве, удовлетворяющем требованиям целевого использования подземных вод в течение всего расчетного срока водопотребления с учетом природоохранных ограничений.

2.1.5.5. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод заключается в определении возможной производительности водозабора при заданном понижении уровня воды в каптажных сооружениях или прогнозе понижения уровней в пределах оцениваемой площади при заданной производительности водозабора. При этом должна быть доказана возможность эксплуатации подземных вод обоснованными в геолого-техническом отношении водозаборными сооружениями при расчетной величине водоотбора в течение определенного срока работы водозаборных сооружений при условии, что качество подземных вод удовлетворяет заданному назначению в течение всего этого периода, а прогнозируемые изменения различных компонентов природной окружающей среды не выходят за пределы установленных ограничений.

2.2. Расчеты параметров режима речного стока.

2.2.1. Гидрологические и водохозяйственные расчеты выполняются, исходя из предположения о стационарности составляющих водного баланса, обусловленной стационарностью климата. Параметры стока и других элементов гидрометеорологического режима за период накопления материалов наблюдений, распространяются на несколько предстоящих

десятилетий (более чем на 30-50 лет вперед затруднительно предвидеть требования к водно-энергетическим установкам).

2.2.2. Обязательному учету подлежат антропогенные воздействия на режим стока за период инструментальных наблюдений (изъятия воды и сбросы возвратных вод выше гидрометрических створов; нарушение межгодовых и внутригодовых колебаний стока в результате регулирования его вышерасположенными водохранилищами; потери воды на дополнительное испарение с поверхности водохранилищ, в том числе за счет сброса в них подогретых вод). При этом используются данные о водопотреблении и водоотведении по годам. Учитывая, что наибольшие трудности вызывает оценка изменений режима стока под влиянием мероприятий, нарушающих условия его формирования, необходимо исследования этих факторов стока и водобалансовые расчеты проводить по специальным программам.

2.2.3. Математическое описание колебаний годового стока включает безусловное распределение вероятностей (для всех значений, составляющих временной ряд) и условные распределения, тип и параметры которых определяются водностью предшествующего периода.

Колебания годового стока рек России, как правило, описываются гамма-распределением, для которого жестко закреплено соотношение между коэффициентом асимметрии Cs и коэффициентом вариации Cv:

$$Cs=2Cv \qquad (2.1)$$

Некоторые отклонения от этого соотношения (в диапазоне Cs/Cv=1.5-2.5) наблюдаются на Дальнем Востоке и в некоторых других регионах. Отклонение указанного соотношения от 2 при описании годового стока существенного влияния на результаты водохозяйственных расчетов обычно не оказывает. Однако, при необходимости уточнения результатов корректировка соотношения (2.1) возможна лишь на основе группового анализа материалов региональных наблюдений (приложение 2).

Для годового слоя осадков следует принимать Cs=1.5Cv. Для годового слоя испарения с открытой водной поверхности в пределах Европейской территории принимается Cs=2Cv, за исключением районов Урала и ЦЧО, где Cs=3Cv. Для Сибири и Дальнего Востока асимметрия испарения с водной поверхности подлежит определению по результатам группового анализа.

2.2.4. В случаях, когда Cv<0.1, можно пользоваться нормальным законом распределения вероятностей. При больших значениях Cs используется гамма-распределение. При Cs≠2Cv следует переходить к использованию трехпараметрического гамма-распределения в модификации С.Н.Крицкого - М.Ф.Менкеля. Таблицы этого распределения, где ординаты распределения (значения случайной величины заданной обеспеченности) даны в зависимости от коэффициентов вариации и асимметрии, приводятся в ряде специальных изданий, например в [3].

2.2.5. Для уменьшения случайного рассеяния (ошибок) в оценке коэффициента вариации при значениях Cv≥0.5 следует уточнять его методом наибольшего правдоподобия. Метод этот трудоемок: он существенно упрощается при использовании рекомендаций Е.Г.Блохинова [1]. При этом для распределения вероятностей Крицкого-Менкеля Cv определяется по таблице 2.1. в зависимости от статистики λ (табл.2.1)

$$\lambda = -\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} \lg\frac{V_i}{V_0} \quad , \qquad (2.2)$$

где Vi-сток i-того года, Vo - норма.

Таблица 2.1

Зависимость Cv от λ

Cv	1000 λ со знаком минус при отношении Cs/Cv		
	1.5	2.0	2.5
0.4	37.7	35.7	34.0
0.5	61.7	56.5	52.6
0.6	93.0	82.8	75.2
0.7	136	115	101
0.8	189	153	132
0.9	255	198	166
1.0	336	251	204

2.2.6. Водохозяйственные расчеты выполняются по "водохозяйственным годам", начало которых приходится на период, предшествующий половодью (заполнению водохранилищ). Для центральной России начало водохозяйственного года обычно назначается на 1 апреля.

Расчеты выполняются по интервалам времени, в пределах которых колебания стока не оказывают существенного влияния на результаты. Для межени расчетный интервал времени, как правило, составляет 1 месяц. Для половодья обычно допустимо выполнение расчетов по декадам, за исключением малых рек с коротким половодьем, где может потребоваться переход к пентадам. На реках дождевого питания длительность расчетных интервалов времени для сезона дождей подлежит обоснованию в каждом отдельном случае, исходя из требуемой точности результатов водохозяйственного расчета. Следует иметь в виду, что завышение длительности расчетных интервалов времени, вызывающее сглаживание гидрографа, преувеличивает гарантированную отдачу источника, а для заданной отдачи преуменьшает необходимую емкость водохранилища.

2.2.7. Для графической иллюстрации распределения вероятностей служат кривые обеспеченности. Ординаты аналитической кривой обеспеченности определяют по таблице в [3], в зависимости от параметров распределения Cv и Cs/Cv. При построении эмпирической кривой обеспеченности ординаты вычисляются по формуле, справедливой для некоррелированных последовательностей:

$$p = \frac{m}{n+1} 100\%, \qquad (2.3)$$

где m - порядковый номер члена временного ряда, расположенного в убывающем порядке, n - число членов ряда. В литературе есть указания, что автокорреляция r>0 изменяет указанное соотношение; вопрос требует дополнительных исследований.

Не рекомендуется использовать корректировку коэффициента асимметрии в целях лучшего приближения эмпирических точек к теоретической кривой: величины отклонений в подавляющем числе случаев обусловлены особенностями (нерепрезентативностью) периода наблюдений.

2.2.8. Гидрологический режим источников водоснабжения может быть уточнен за счет использования материалов более длительных наблюдений на реках-аналогах. Это позволяет осуществить приведение статистических параметров стока к более длительному периоду, а также восстановить величины стока за годы, когда наблюдения велись только на объекте-аналоге.

Для приведения нормы стока и дисперсии используются известные из литературы соотношения [2,3,4]. Эффективность приведения зависит от степени коррелированности между величинами стока на рассматриваемом объекте и на реке-аналоге (реках-аналогах). Границей эффективности приведения среднего при Δn =10-20 лет являются значения межрядного коэффициента корреляции $R_{xy} \geq 0.8$, а при большей длительности наблюдений на реке-аналоге - 0.7; здесь Δn - превышение длительности периода наблюдений на реке-аналоге по сравнению с рассматриваемой рекой. Соответственно приведение среднего квадратического оклонения эффективно при $R_{xy} \geq 0.9$ и $R_{xy} \geq 0.8$. Коэффициенты асимметрии и автокорреляции в процессе приведения параметров уточнению не подлежат.

Применение наблюдений на аналогах для восстановления величин стока за конкретные годы осуществляется по уравнению регрессии. При этом выпадает составляющая колебаний стока, независимая от реки-аналога; соответственно искажается обратно пропорционально R_{xy} (в сторону занижения) коэффициент вариации; приближенный прием устранения этой погрешности изложен в [2].

2.2.9. При расчете трансформации половодья водохранилищем и определения сбросных расходов воды в качестве расчетного принимается гидрограф, основные элементы которого (максимальный расход, объем стока половодья) отвечают заданной обеспеченности. Форма расчетного гидрографа принимается по модели одного из нескольких высоких половодий, наиболее неблагоприятного в отношении пропуска половодья. Для перехода от гидрографа модели к расчетному гидрографу заданной обеспеченности следует пользоваться переходными коэффициентами

$$K_1 = \frac{Q_р}{Q_м}; \quad K_2 = \frac{V_р - Q_р n 86400}{V_м - Q_м n 86400}; \quad K_3 = \frac{V_{пол.р} - V_р}{V_{пол.м} - V_м}. \qquad (2.4)$$

В этих выражениях: Q - максимальная ордината гидрографа, $м^3/с$; V - объем основной волны половодья, $м^3$; Vпол - общий объем половодья или паводка, $м^3$; р - индекс, относящийся к гидрографу заданной обеспеченности; м - индекс, относящийся к гидрографу модели; n - число суток с расходом воды, равным или близким к максимальному (обычно 1-3 суток). Коэффициент K_1 используется для максимального пикового расхода (1-3 суток); K_2

для основной волны (10-20 суток) без n дней с максимальным расходом; K_3 - для остального периода половодья.

2.3. Моделирование временных рядов составляющих водного баланса и их использование в водохозяйственных расчетах

2.3.1. Результаты исследования водного баланса системы водоснабжения АЭС характеризуют условия, отвечающие периоду накопления исходной гидрометеорологической информации. При этом репрезентативность результатов расчета оказывается тем большей, чем продолжительнее период, освещенный наблюдениями. Однако в тех случаях, когда на источниках водоснабжения осуществляется многолетнее регулирование стока, даже сравнительно большая продолжительность наблюдений (до 60-80 лет) не обеспечивает получение достоверных результатов в части гарантии заявленного водопотребления.

Во всех случаях, когда возникает необходимость повышения точности результатов в расчетах водообеспечения (ограниченные водные ресурсы, короткие исходные временные ряды составляющих водного баланса, осуществление многолетнего регулирования стока, совместное использование поверхностых и подземных вод, многолетняя характеристика условий работы системы водообеспечения, многолетний режим обеспечения заданных экологических требований и т.д.) водохозяйственные расчеты осуществляются по моделированным рядам составляющих водного баланса.

При этом следует иметь в виду, что статистические параметры того или иного процесса с помощью моделирования уточнены быть не могут. Единственно достигаемая цель - установление закономерностей чередования лет с различным значением изучаемого признака (водности источника, его гидрофизических характеристик, уровня водоема, положения горизонта подземных вод, перебоев в водоснабжении - по величине и длительности и т.д.). Точность результатов расчета увеличивается с ростом длительности моделированных рядов.

Указанные задачи могут исследоваться в двух вариантах: условия водообеспечения за период любой неограниченно большой длительности; то же - для множества реализаций процесса,

ограниченного, например, 30 или 50 годами. Второй из этих случаев относится к нестационарному режиму притока при водопотреблении.

2.3.2. Моделирование осуществляется применительно к математическим (стохастическим) моделям колебаний гидрометеорологических процессов. В основе моделей лежит обобщение природных закономерностей процесса по множеству природных объектов (пунктов наблюдений).

Удовлетворительное соответствие материалам наблюдений за стоком (осредненным по годовым интервалам времени) дает простая цепь Маркова [2]; зависимость между последовательными членами временного гидрометеорологического ряда полностью характеризуется коэффициентом корреляции r_1 между смежными членами; для значений, разделенных n годами, коэффициент корреляции $r_n=r_1^n$.

Из числа ряда предлагавшихся модификаций простой цепи Маркова лучшее соответствие натуре показали две:

а) с линейной корреляцией между обеспеченностями стока смежных лет;

б) с линейной корреляцией между нормализованными значениями стока.

2.3.3 Алгоритмы моделирования временных рядов применительно к указанным моделям, приведены в приложении 3. Числовыми параметрами в обоих случаях служат коэффициенты автокорреляции r и параметры безусловных распределений моделируемых рядов. Пользоваться индивидуальными оценками r, полученными непосредственно по наблюденным рядам, нельзя из-за больших случайных ошибок. Для модели с линейной корреляцией между обеспеченностями смежных членов массовое обобщение материалов наблюдений позволило принять в качестве обобщенного критерия внутрирядной связанности модуля стока удельную водоносность водосборного бассейна [2].

Модуль годового стока, л/с кв.км	>20	20-10	10-4	4-1	<1
r	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

Эта же стохастическая модель (простая цепь Маркова с линейной корреляцией между обеспеченностями смежных членов) может использоваться для получения временных рядов слоя

осадков и слоя испарения. В первом случае коэффициент автокорреляции повсеместно может приниматься равным 0.1, а во втором - 0.2-0.3.

При использовании стохастической модели с нормализацией нормируемые коэффициенты автокорреляции будут несколько отличаться от приведенных выше (приложение 4).

2.3.4. В ряде случаев для исследования условий функционирования системы водоснабжения может потребоваться моделирование совокупности временных рядов стока на нескольких водных объектах, а также других составляющих водного баланса (с учетом заданных значений коэффициентов авто- и взаимной корреляции). Соответствующие методы моделирования освещены в ряде работ [2,5]. Существующие предложения применительно к стохастической модели с линейной корреляцией между обеспеченностями ограничены тремя взаимнокоррелированными рядами, а при модели с нормализацией число моделируемых рядов может быть любым.

2.3.5. Обычно моделированные ряды должны иметь интервал дискретности менее года (п.2.2.5.) - от месяца до пентады. Отсутствие удовлетворительных предложений по стохастическим моделям колебания составляющих водного баланса с сезонным ходом обусловливает использование приближенных приемов, в частности, метода фрагментов (двойной выборки) [7]. При этом по каждому году наблюденного ряда вычисляется внутригодовое распределение стока по принятым интервалам времени в процентах от годового объема. Затем эти гидрографы объединяются в 3-4 группы (по признаку объема годового стока) и для каждой из них определяются средние очертания гидрографа. При отсутствии зависимости между водностью года и характером сезонного хода все наблюденные гидрографы считаются равновероятными и для последовательных лет моделируемого ряда принимаются внутригодовые распределения тех лет, номера которых определяются по таблице с цепью случайных чисел, равномерно распределенных в интервале [1,n], где n- длина ряда наблюдений. Если проявляется зависимость формы гидрографа от водности, то для каждой группы лет принимается свой тип внутригодового распределения стока, причем в каждом случае используется набор только тех гидрографов, которые входят в группу, отвечающую водности данного года.

2.3.6. Установление общих закономерностей гидрологического режима водохранилища многолетнего регулирования стока или нижележащего участка реки выполняется по непрерывному стоковому ряду большой длительности. При этом потребление воды (отдача потребителям, потери на испарение с водного зеркала) функционально не связано с порядковым номером расчетного года; потери на испарение зависят от положения уровня, изменяющего площадь водного зеркала.

Для вероятностного прогноза режима водохранилища или естественного внутреннего водоема необходимо исследовать режим регулятора стока для множества возможных его реализаций при одном и том же календарном графике водопотребления; длительность каждой реализации ограничивается несколькими десятилетиями. Обобщение результатов расчета по совокупности реализаций позволяет детально осветить режим работы водохозяйственной системы.

Моделированные ряды составляющих водного баланса позволяют исследовать повторяемость серий (группировок) маловодных и многоводных лет при естественном и зарегулированном режиме стока. Результаты таких исследований для первого из указанных случаев показывают (приложение 5), что повторяемость длительных маловодных группировок тем больше превышает повторяемость многоводных, чем выше коэффициент вариации стока.

2.3.7. Иллюстрация применения моделированных рядов составляющих водного баланса для исследования режима систем водоснабжения АЭС (на примере Калининской АЭС) содержится в приложении 6. Приведенные в приложении результаты освещают ожидаемый режим водоснабжения (повторяемость и глубину перебоев в водоснабжении; возможную повторяемость отключения блоков станции из-за дефицита воды в системе; режим использования подземных вод в качестве дополнительного источника водоснабжения); водный режим озер - охладителей и вытекающих из них рек в свете выполнения заданных санитарно-экологических попусков из озер -водохранилищ в реки.

2.4. Расчеты параметров уровенного режима внутренних водоемов

2.4.1. Расчеты уровенного режима внутренних водоемов выполняются на основе уравнения водного баланса водоема и стохастических моделей колебаний речного притока, испарения и осадков. Используется следующая схема водного баланса.

Вода, поступающая в бессточный водоем с речным стоком и в виде осадков, расходуется только на испарение с его поверхности. В периоды, когда поступление воды превышает испарение, уровень водоема растет, стремясь к такому положению, при котором площадь водного зеркала водоема станет достаточной для испарения поступающей воды. При обратном соотношении приходной и расходной составляющих водного баланса уровень водоема понижается. Такое саморегулирование обусловливает колебания уровня водоема относительно уровня тяготения. В проточных водоемах расходная часть водного баланса увеличивается на величину стока из водоема.

Исходными данными для расчета уровенного режима внутреннего водоема служат параметры составляющих водного баланса и морфометрические соотношения (зависимости между уровнем воды и площадью водоема). В пределах сравнительно небольшой амплитуды реальных колебаний уровня линейные приближения

$$F = a + bz$$
$$y = \alpha + \beta z$$

являются обычно достаточно точными.

Отметка уровня тяготения Zo определяется как:

$$z_0 = \frac{\bar{v} - a\bar{h} - \alpha}{b\bar{h} + \beta} \qquad (2.5)$$

В этих выражениях

V - годовой приток к водоему; y - сток из него; h - годовой слой видимого испарения (испарение за вычетом осадков на поверхность водоема); t - время; z- отметка уровня водоема; F - площадь зеркала водной поверхности. Математическое ожидание (среднемноголетнее значение) составляющей баланса обозначено чертой сверху.

2.4.2. Превышение уровня водоема над уровнем тяготения затухает во времени по экспоненциальному закону

$$z_2^* \approx z_1^* \exp\left(-\frac{\beta + b\bar{h}}{F_0} t\right) , \qquad (2.6)$$

причем скорость приближения к равновесному положению уровня растет с увеличением инерционного параметра

$$\chi = \frac{\beta + b\bar{h}}{F_0} = \frac{\beta\bar{h} + b\bar{h}^2}{\bar{v}} ; \qquad (2.7)$$

здесь $F_0 = a + bz_0$ - площадь зеркала при стоянии водоема на отметке уровня тяготения; $z_1^* = z_1 - z_0$ и $z_2^* = z_2 - z_0$ - превышения соответственно начального и конечного уровней над равновесным положением.

2.4.3. В связи со стохастической природой колебаний элементов водного баланса отклонения уровня водоема от среднего положения носят вероятностный характер.

Возможные отклонения этих величин от средних значений определяются с использованием типа их распределения и числовых параметров этого распределения. Распределение вероятностей уровня бессточного водоема может приниматься нормальным, а проточного - асимметричным, примерно подчиняющимся трехпараметрическому гамма-распределению; при этом уровень отсчитывается от отметки, при которой сток из водоема становится нулевым.

Для определения параметров распределения уровня используется выражение для среднего квадратического отклонения (стандарта) годовых приращений уровня

$$\sigma_{\Delta z} = \bar{h}\sqrt{Cv_h^2 + Cv_v^2 - 2r_{vh}Cv_hCv_v} ;$$

здесь Cv_v и Cv_h - коэффициенты вариации притока и слоя видимого испарения h, r_{vh} - коэффициент корреляции между годовыми значениями слоя притока и слоя видимого испарения.

Среднеквадратическое отклонение уровня σ_z (безусловный стандарт) определяется в зависимости от параметра инерционности χ и коэффициента автокорреляции притока и видимого испарения с помощью табл. 2.2. В таблице 2.2 рассмотрен случай, когда коэффициенты автокорреляции притока и видимого испарения равны:

$$r_v = r_h = r \qquad (2.8)$$

Таблица 2.2

Значения $\sigma_z/\sigma_{\Delta z}$

r	$\sigma_z/\sigma_{\Delta z}$			
	χ=0.01	χ = 0.02	χ = 0.04	χ = 0.10
0	7.06	4.98	3.50	2.18
0.1	7.80	5.50	3.90	2.40
0.2	8.64	6.08	4.27	2.64
0.3	9.58	6.75	4.73	2.92
0.4	10.73	7.54	5.27	3.23
0.5	12.15	8.50	5.94	3.61

2.4.4. Для составления вероятностного прогноза уровня водоема с заблаговременностью t лет необходимо определять условные дисперсии σ_{z_t}, представленные в таблице 2.3 в виде отношения σ_{z_t}/σ_z.

Расчетная (заданной вероятности) отметка уровня воды бессточного водоема z_t с заблаговременностью t лет определяется из выражения

$$z_t = \bar{z}_t \pm \eta\sigma_{z_t},$$

где $\bar{z}_t$ - средний уровень через t лет (условное математическое ожидание), η=1.28 для доверительного интервала p=80%; η=1.64 для p=90%; η=1,96 для p=95%; соответственно вероятность уровня выше $z+\delta_z$ или ниже $z-\delta_z$ составляет 10, 5, 2,5%.

Таблица 2.3

Условный стандарт уровня в долях от безусловного при разных значениях χ

χ	r	σ_z/σ_z при заблаговременности прогноза в годах								
		1	2	3	5	10	15	20	30	50
0.003	0.0	0.08	0.11	0.14	0.17	0.24	0.30	0.34	0.41	0.51
	0.3	0.06	0.09	0.12	0.16	0.23	0.28	0.33	0.41	0.51
	0.5	0.04	0.08	0.10	0.15	0.21	0.27	0.32	0.41	0.51
0.005	0.0	0.10	0.14	0.17	0.22	0.30	0.37	0.43	0.51	0.63
	0.3	0.07	0.11	0.15	0.20	0.28	0.35	0.41	0.50	0.63
	0.5	0.06	0.10	0.13	0.18	0.26	0.34	0.40	0.50	0.63
0.008	0.0	0.13	0.18	0.21	0.28	0.38	0.46	0.52	0.62	0.74
	0.3	0.09	0.14	0.19	0.25	0.36	0.44	0.51	0.61	0.74
	0.5	0.07	0.12	0.16	0.23	0.34	0.43	0.50	0.61	0.74
0.010	0.0	0.14	0.20	0.24	0.31	0.43	0.51	0.58	0.67	0.80
	0.3	0.10	0.16	0.21	0.28	0.41	0.49	0.56	0.66	0.80
	0.5	0.08	0.13	0.18	0.26	0.38	0.47	0.55	0.66	0.80
0.015	0.0	0.17	0.24	0.30	0.38	0.51	0.60	0.67	0.77	0.88
	0.3	0.12	0.20	0.26	0.35	0.49	0.58	0.66	0.76	0.88
	0.5	0.09	0.16	0.22	0.32	0.46	0.56	0.64	0.75	0.88
0.020	0.0	0.20	0.28	0.34	0.43	0.57	0.67	0.74	0.83	0.93
	0.3	0.14	0.23	0.30	0.40	0.55	0.65	0.72	0.82	0.93
	0.5	0.10	0.18	0.26	0.37	0.53	0.63	0.71	0.81	0.92
0.030	0.0	0.24	0.34	0.41	0.51	0.66	0.77	0.84	0.91	0.98
	0.3	0.17	0.28	0.37	0.48	0.65	0.75	0.82	0.90	0.98
	0.5	0.12	0.21	0.32	0.45	0.63	0.74	0.81	0.89	0.98
0.050	0.0	0.31	0.43	0.52	0.63	0.80	0.89	0.93	0.97	1.00
	0.3	0.22	0.35	0.46	0.60	0.78	0.87	0.93	0.96	1.00
	0.5	0.15	0.27	0.40	0.57	0.77	0.86	0.91	0.96	1.00
0.080	0.0	0.38	0.51	0.61	0.74	0.89	0.95	0.98	1.00	1.00
	0.3	0.27	0.43	0.55	0.70	0.88	0.94	0.98	1.00	1.00
	0.5	0.19	0.34	0.48	0.66	0.87	0.93	0.97	1.00	1.00
0.100	0.0	0.42	0.56	0.66	0.79	0.93	0.97	0.99	1.00	1.00
	0.3	0.30	0.48	0.59	0.75	0.91	0.96	0.99	1.00	1.00
	0.5	0.22	0.38	0.52	0.70	0.90	0.95	0.98	1.00	1.00
0.150	0.0	0.51	0.67	0.77	0.88	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.3	0.39	0.56	0.69	0.84	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.5	0.29	0.47	0.61	0.80	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00

2.4.5. На проточных водоемах распределение вероятностей уровня становится асимметричным. Коэффициент асимметрии определяется по выражению $C_s = \frac{\mu_z}{\sigma_z^3}$, где при одинаковой автокоррелированности притока и видимого испарения (2.8)

$$\mu_z = \frac{2(\mu_v + \mu_h)}{\chi(2\chi - \ln r)(\chi - 2\ln r)} \qquad (2.9)$$

В этих выражениях μ_z, μ_v, μ_h - третьи центральные моменты распределения уровня притока и видимого испарения; Cs - коэффициент асимметрии уровня проточного водоема; ему численно равен коэффициент асимметрии стока реки, вытекающей из этого водоема.

2.4.5. Приведенные выше расчетные формулы относятся к простейшему случаю: в первую очередь это стационарность составляющих водного баланса, в том числе - изъятий и потерь воды в бассейне внутреннего водоема. На практике часто приходится считаться с нарастанием изъятий воды в бассейне, а также оценивать вероятность длительного стояния уровня выше или ниже некоторой заданной отметки; вероятность тех или иных быстрых изменений уровня и др.

В этих случаях рекомендуется выполнение имитационных расчетов по моделированным рядам составляющих водного баланса (раздел 2.3). При этом общие закономерности колебания уровня в стационарных условиях уточняются на основе расчетов по длительным (в несколько десятков тысяч лет) непрерывным рядам составляющих баланса. В общем нестационарном случае (при изменении составляющих водного баланса во времени) требуется проведение расчетов по множеству реализаций гидрометеорологического режима, каждая из которых характеризуется 20-30 летними рядами составляющих баланса; число таких реализаций может составлять от нескольких десятков до нескольких сотен - в зависимости от требуемой точности результатов; мерой точности может служить устойчивость результатов расчета, полученных по нескольким наборам реализаций.

2.5. Проектные требования к термическому и ледовому режиму источников водоснабжения

2.5.1. Параметры, нормируемые действующими нормами на температурный режим поверхностных вод

2.5.1.1. Сброс циркуляционного расхода АЭС вызывает изменение температуры воды в водоеме или в водотоке и поэтому

считается загрязнением, которое регламентируется действующими нормами и правилами.

Нормы [17] регламентируют температурный режим для следующих категорий водных объектов:

Водные объекты общего пользования:

-водоемы и водотоки, используемые как источники централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения;

-водоемы и водотоки, используемые в коммунально-бытовых и рекреационных целях (купания, спорта, отдыха населения);

-водоемы и водотоки, имеющие рыбохозяйственное назначение и использующиеся для промысловой добычи рыбы и воспроизводства ценных пород рыб.

Водные объекты особого пользования:

-имеющие энергетическое назначение и использующиеся, главным образом, для охлаждения циркуляционной воды электростанций [18].

2.5.1.2. Нормы устанавливают:

-предельно допустимую температуру в пунктах контроля;

-допустимую величину перегрева;

-положение пункта контроля.

2.5.1.3. Нормы на температуру водных объектов общего водопользования, установленные действующими правилами, приведены в таблице 2 приложения 14.

По согласованию с местными органами допускается:

-вместо максимально допустимой температуры воды 28° С для АЭС, размещаемых в полосе широт 45°-65°, принимать значение, устанавливаемое по формуле

$t_{п.д.} = 47.1-0.38\varphi$,

где φ - широта места;

-вместо линейного параметра - расстояние от места выпуска - за нормативную величину следует принимать площадь акватории, примыкающую к водовыпуску, размером 0.4 км^2.

Для водоемов-охладителей (ВО) особого пользования при согласовании в каждом отдельном случае могут быть приняты следующие нормативы:

- ВО с прямоточным водоснабжением, нормируется допустимый перегрев в месте выпуска в водоем (водоток) общего водопользования. Величина перегрева 5° С;

- ВО с оборотным водоснабжением нормируется допустимый перегрев на границе зоны смешения 10° С. Предельно допустимая температура 32° С.

В случае одновременного использования ВО в различных целях при определении условий сброса теплых вод следует исходить из более жестких норм на температуру.

2.5.2. Проектные требования к контролю температурного режима ВО АЭС

2.5.2.1. Контроль за температурным режимом ВО предусматривает установление соответствия температуры в пункте контроля и нормативной предельно допустимой температуры и превышения над естественной. Режим контроля за температурой ВО АЭС принимается в зависимости от системы водоснабжения и категории водопользования ВО. Постоянный режим контроля предусматривает определение температуры в пункте контроля круглогодично. Сезонный - предусматривает определение температуры в пункте контроля в течение жаркого периода года.

2.5.2.2. При контроле за температурным режимом ВО предусматривается:

- измерение температуры циркуляционного расхода в пункте контроля;

- сопоставление с естественной температурой.

Естественная температура устанавливается путем измерения в водоеме-аналоге или неподогреваемой части ВО. Водоем-аналог должен быть сходен с ВО по ландшафтным, морфометрическим и климатическим показателям. Расчетным путем естественная температура устанавливается по рекомендациям [34] в предположении, что тепловой поток через поверхность равен нулю. Величина перегрева принимается по результатам измерения температуры в пункте контроля и естественной, осредненных за предшествующий срок, установленный по результатам специальных наблюдений.

2.5.2.3. Правила [17] предусматривают контроль за температурой водного объекта непосредственно в месте выпуска или на расстоянии 500 м от него. Местом контроля является пост наблюдений. При размещении поста наблюдения в ВО он должен находиться в границах потока циркуляционного расхода на расстоянии от водовыпуска, установленном Правилами или на расстоянии, согласованном с природоохранными органами. За

нормативное может быть принято расстояние по оси потока, принятое из условия равенства площади 0,4 км^2, ограниченной изотермой нормативной температуры (температуры контроля).

В реальных условиях положение пункта контроля может отличаться от установленного нормами, но при этом должна быть установлена связь между температурой в этих пунктах в диапазоне нагрузок 50-80% от максимальной. За температурный показатель в пункте контроля считается среднесуточная температура.

2.5.3. Проектные требования к регулированию термического и ледового режима водных объектов

2.5.3.1. Регулирование термического режима ВО предусматривает обеспечение определенных значений температуры в установленных пунктах (пунктах контроля).

Регулирование термического режима ВО производится путем реализации инженерных решений, предусматриваемых в проекте системы технического водоснабжения (ТВС) АЭС, и оперативных мероприятий в процессе эксплуатации.

2.5.3.2. В системах ТВС с нагруженными ВО температурный уровень может быть снижен путем увеличения теплоотдачи с поверхности за счет повышения температуры поверхностного слоя по водоему.

К инженерным мероприятиям по снижению температурного уровня в системах ТВС относятся:

- компоновка сооружений системы ТВС, обеспечивающая максимальную температуру поверхностного слоя за счет растекания циркуляционного расхода по возможно большей площади (взаимное расположение водовыпуска и водозабора, положение и протяженность струенаправляющих дамб и сооружений и др.);

- конструкции водовыпускных сооружений, обеспечивающие ввод циркуляционного расхода в ВО с минимальным вовлечением в него более холодной воды водоема (фильтрующая дамба, канал с расширением и струераспределительной дамбой и др.);

- объемная схема циркуляции в ВО с температурной стратификацией и селективный водозабор;

- дополнительные охладители, устанавливаемые по условиям максимального отбора тепла.

В системах ТВС с оборотно-прямоточным водоснабжением снижение температурного уровня может быть достигнуто за счет увеличения транзитного расхода.

В системах ТВС с ненагруженными ВО, где температура регламентирована в пределах зоны смешения, инженерными мероприятиями по снижению температуры в пунктах контроля могут быть:

-водовыпускные сооружения, обеспечивающие интенсивное взаимодействие потока циркуляционного расхода с водой водоема (быстроток, донный выпуск и др.);

-система водовыпуска с несколькими водовыпускными сооружениями в различных зонах ВО;

-предварительное охлаждение циркуляционного расхода в ВО или охладителях других типов.

Обоснование инженерных мероприятий производится по результатам расчетов температурного режима, физического моделирования на общих моделях ВО и моделях отдельных зон с соблюдением граничных условий, а также путем использования данных, полученных в результате натурных исследований гидротермического режима ВО и отдельных элементов системы ТВС.

2.5.3.3. Оперативные мероприятия по регулированию температуры воды в нагруженных ВО с оборотным водоснабжением включают:

-снижение тепловой нагрузки на ВО за счет снижения мощности АЭС или перевода части циркуляционного расхода на другие охладители;

-изменение схемы циркуляции по ВО путем распределения циркуляционного расхода на несколько водовыпусков;

-увеличение транзитного расхода в проточных ВО.

В ненагруженных ВО оперативными мерами по регулированию температурного режима могут быть:

-выбор режима водовыпуска, обеспечивающего более интенсивное охлаждение циркуляционного расхода за счет вовлечения в него воды водоема;

-поверхностный водозабор из зоны с более низкой температурой;

-глубинный водозабор из более холодного придонного слоя.

Обоснование оперативных мероприятий по регулированию температурного режима ВО и системы ТВС АЭС наиболее эффективно производится по результатам натурных исследований на ВО и сооружениях системы ТВС, а также по результатам гидротермического моделирования и расчетов.

2.5.4. Проектные требования к ледовому режиму ВО и способы его регулирования

2.5.4.1. Проектные требования к ледовому режиму определяются условиями эксплуатации системы ТВС и экологической безопасностью ВО и прилегающих к нему территорий.

Надежность эксплуатации системы ТВС в зимних условиях определяется температурным режимом в системе и ледовыми условиями в ВО.

Температурный режим в системе определяет условия образования тумана испарения и его влияние на работу конструкций и сооружений вблизи зоны парения.

2.5.4.2. Ледовый режим ВО определяет протяженность зоны парения и условия работы водозаборных сооружений в зимний период.

Поверхность ВО свободная от льда определяется в соответствии с рекомендациями [35].

Интенсивность тумана испарения с открытой водной поверхности ВО оценивается в соответствии с [36].

Допустимая длина зоны парения при сбросе подогретых вод должна ограничиваться требованиями к условиям эксплуатации оборудования, конструкциями различного назначения при обмерзании и гололеде и расположением жилых массивов.

2.5.4.3. Для предотвращения забивки шугой водозаборных оголовков необходимо предусмотреть комплекс мероприятий, включающий:

-перепуск части циркуляционного расхода теплой воды от водовыпуска а водозабору;

-задержку или отвод транзитной шуги;

-изменение схемы циркуляции в целях изменения длины полыньи и выведения водозабора за пределы шугообразующего участка.

2.5.4.4. Регулирование температурного режима может производиться с помощью инженерных или режимных мероприятий. К инженерным мероприятиям относятся:

- изменение длины зоны циркуляции с помощью дополнительных струенаправляющих и распределительных дамб;

- ледозадерживающие устройства (запани и т.д.);

- специальные конструкции водозаборных сооружений, имеющие защиту от шуги.

К режимным мероприятиям относится изменение нагрузки, изменение кратности водооборота, перевод части циркуляционного расхода на другие охладители.

2.5.5. Проектные требования к ледовому режиму водотоков и водоемов ниже водовыпусков АЭС

2.5.5.1. Ледовый режим водоемов и водотоков ниже водовыпусков АЭС или сбросов ТВС АЭС должен соответствовать ледовому режиму водотока, термический режим которого подчиняется правилам охраны поверхностных вод ниже створа сброса подогретых вод. При этом положение нулевой изотермы, ледовые явления на кромке полыньи, размеры зоны парения не должны создавать дополнительных эффектов, нарушающих экологию региона.

При проектировании водовыпусков АЭС следует учитывать изменения, вносимые им в естественный ледовый режим водотока или в сложившийся режим бьефов других гидротехнических сооружений, а также то, что в случае расположения водовыпуска АЭС в естественном водоеме или на водохранилище ГЭС его влияние не должно кардинально изменять температурный и гидравлический режим потока по условиям перемешивания (характер температурной и плотностной стратификации, образование свободной конвекции, охватывающей всю глубину водоема, характер годового термического цикла и т.д.). Особое внимание следует уделять тем термическим процессам, которые оказывают влияние на гидрохимический и гидробиологический режимы водоемов. Для этого необходимо, например, стремиться поддерживать естественную льдистость водоемов (отношение объема льда к объему воды подледного потока) и в случае нарушения принимать меры по ее компенсации и т.п.

2.5.5.3. В случае расположения водовыпуска АЭС на различных участках по длине нижнего бъефа ГЭС необходимо определять влияние этого водовыпуска на изменение длины полыньи, зоны парения, длины участка интенсивного внутриводного ледообразования, расхода шугового материала. То же следует определять при изъятии части расхода.

Выпуск подогретых вод в естественные водоемы и нижние бъефы ГЭС не должен создавать условий для образования заторов и зажоров льда ниже по течению и подтопления прилегающих территорий.

2.5.5.4. При эксплуатации водозаборных сооружений АЭС в ледовых условиях необходимо обращать внимание на возможность забивки шугой и льдом водозаборных оголовков.

Гидротехнические сооружения системы ТВС, подверженные силовому воздействию льда, должны быть спроектированы с учетом нагрузок от льда.

2.6. Расчет термического режима водоемов-охладителей

2.6.1. При проектировании систем технического водоснабжения АЭС подлежат определению как среднемноголетние характеристики температуры воды водоема-охладителя АЭС, так и средние месячные за годовой цикл или за отдельно взятые периоды годового термического цикла, максимальные значения, а также характеристики температуры для отдельных участков и зон, данные о поверхностной, средней по глубине или объему и придонной температуре, температурные поля в ВО, толщина слоя скачка и глубина его расположения и др.

2.6.2. Расчеты термического режима выполняются либо для всего годового цикла путем последовательного перехода от одного характерного периода к другому, либо для отдельных периодов. Внутри периодов принимается различный шаг осреднения во времени: месячный, 5-10 суточный для летнего и зимнего периодов и суточный для переходных периодов (гомотермия, вскрытие, замерзание).

2.6.3. Термический режим ВО зависит от географических условий размещения АЭС, морфометрических особенностей, глубины водоема, проточности, тепловой нагрузки и характера распределения подогретых вод в водоеме. По степени проточности ВО подразделяются на проточные и малопроточные. К последним относятся водоемы с удельным расходом воды 2-5 тыс.$м^2$/сут., к проточным - от 5 до 80 тыс. $м^2$/сут, что характерно для равнинных незарегулированных рек.

2.6.4. При анализе изменений температуры воды ВО условно подразделяют на две категории: I - естественные озера и водохранилища на малых реках, тепловые нагрузки на которые определяются на основе санитарно-гигиенических и экологических

требований, II - водоемы наливного типа, требования к тепловому режиму которых определены РД 52.26-161-88.

Сбросы и распространение подогретых вод АЭС приводят к формированию в водоеме-охладителе трех различных по степени подогрева зон: ближнюю с подогревом до 8°С, летом - до 15°С, среднюю - с подогревом 3-5°С, дальнюю с подогревом менее 3°С.

2.6.5. Определение температуры поверхностного слоя воды при решении задач проектирования АЭС и оценки воздействия АЭС на окружающую среду может быть выполнено с использованием следующих подходов:

- по данным наблюдений на водоеме-аналоге. Выбор водоема-аналога производится исходя из возможно большего соответствия климатических характеристик, размеров водоема и тепловой нагрузки;

- по данным наблюдений за метеоэлементами на ближайшей к ВО метеостанции и расчетами температуры по методике, изложенной в Указаниях [15] или п.2.6.8, 2.6.9 настоящего раздела.

При отсутствии данных наблюдений за температурой поверхностного слоя воды водоема-аналога изменения последней в летний период могут быть получены из решения уравнения теплового баланса. Этот прием является приближенным при оценке изменений температуры воды в течение периода, когда ВО свободен ото льда, включая периоды гомотермии и предледоставного охлаждения.

2.6.6. Наиболее простые выражения для расчета составляющих теплового баланса водоема-охладителя представлены в [12] и [15]. Уравнение теплового баланса водоема-охладителя рассматривается в виде :

$$\rho C_p(v_k t_k - v_н t_н) = (S_р + S_а - S_в \pm S_б - S_{эф} \pm S_к + S_{АДВ\ АЭС})F\Delta\tau \qquad (2.10)$$

здесь ρ, Ср - плотность и удельная теплоемкость воды, ρ=1, Ср=0,24 кал/г град, Vн, Vк начальный и конечный объем воды ВО, м3, tн, tк -средние значения температуры воды ВО на начало и конец расчетного интервала времени Δτ(сутки), °С. Sр-тепловой поток за счет коротковолновой радиации, приходящей на водную поверхность, Sа- поток за счет излучения атмосферы, Sг - поток

тепла за счет теплообмена с дном ВО; Sк, Sи- тепловые потоки за счет теполообмена ВО с атмосферой и испарения, S адв АЭС- адвективный поток тепла за счет сбросов АЭС, S изл - поток тепла за счет излучения водной поверхности.

$$S_{\text{адвАЭС}} = \frac{C_p \rho}{F} Q_{\text{ц}} (t_{\text{сб}} - t_{\text{заб}}) \quad , \qquad (2.11)$$

где Qц - циркуляционный расход воды АЭС, $м^3/с$; $t_{сб}$, $t_{заб}$ -температура воды на сбросе и водозаборе, соответственно, F - активная площадь ВО, $м^2$.

Температура воды ВО на конечный расчетный интервал времени определяется из формулы:

$$t_k = t_н + \frac{\Delta\tau \sum S}{C\mu\bar{H}} \quad , \qquad (2.12)$$

здесь $t_н$ - температура воды для начального расчетного интервала времени, $\Delta\tau$ - продолжительность расчетного интервала времени в сутках, - ΣS сумма тепловых потоков , поступающих в ВО и уходящих из него, Н - средняя глубина ВО, $H = V/F$, μH - эффективная глубина водоема: при $H \leq 2$ м, $\mu H = H$, при $H > 2$ м берется меньшее из значений:

$$\mu\bar{H} = 2.76\bar{X}^{0.463} + 2 \qquad (2.13)$$

$$\mu\bar{H} = \bar{H} - 0.00829(\bar{H} - 2)^{2.25} \qquad (2.14)$$

$\bar{X}$- средняя протяженность водного зеркала, км: $\bar{X} = 0,4$ (Х дл+Х ш)

$\mu = t_{\text{ср.верт}} / t_{\text{пов}}$, $\bar{t} = \mu t$.

Тепловые потоки за счет испарения и конвекции определяются по формулам:

$$S_U = 0.084(1 + 0.135U_2)(e_0 - e_2) \qquad (2.15)$$

$$S_t = 5.38(1 + 0.135U_2)(t_в - t_а) \qquad (2.16)$$

$S_{изл}$ - тепловой поток, Вт/м^2, обусловленный обратной радиацией воды, определяется по формуле:

$$S_{изл} = 0.97\sigma(t_в + 273.16)^4 \qquad (2.17)$$

U_2 -скорость ветра на высоте 2 м над водой, $t_в, t_а$- температура поверхности воды и температура воздуха над водоемом, e_0 - максимальная упругость водяного пара при соотвествующей температуре воды, Па, которая может быть определена из соотношения: e_0=6,85exp (0,06 t), аппроксимирующего табличные значения e_0 в диапазоне температур от 10 до 45 °С с погрешностью не более 5 %, е - упругость водяных паров в воздухе, Па, определяемая по формуле: е = ε/ 100 e_0 , значения e_0 определяются при t =tв, σ- постоянная Стефана-Больцмана, равная $5.76*10^{-8}$Вт/(м^2 °С^4).

Для водоемов-охладителей II категории зависимость средней температуры от широты местности расположения АЭС представлена на рис. 1.

Составляющие теплового баланса, не зависящие от температуры воды, приведены в табличной форме в Руководстве и Указаниях [14,15]. Для выполнения более точных расчетов составляющих теплового баланса следует использовать подходы, предложенные в [15].

2.6.7. При определении размеров площади водоема-охладителя, при которой выдерживаются нормативные требования по температуре воды, необходимо выполнить оценку среднемноголетней температуры воды ВО. Для среднемноголетних условий температура воды нагретого водоема определяется из выражения:

$$t = t_{50} + \Delta t \quad , \qquad (2.18)$$

где t_{50}- средняя по поверхности водоема-охладителя среднемесячная естественная температура воды самого жаркого месяца года 50 % обеспеченности (по естественной температуре

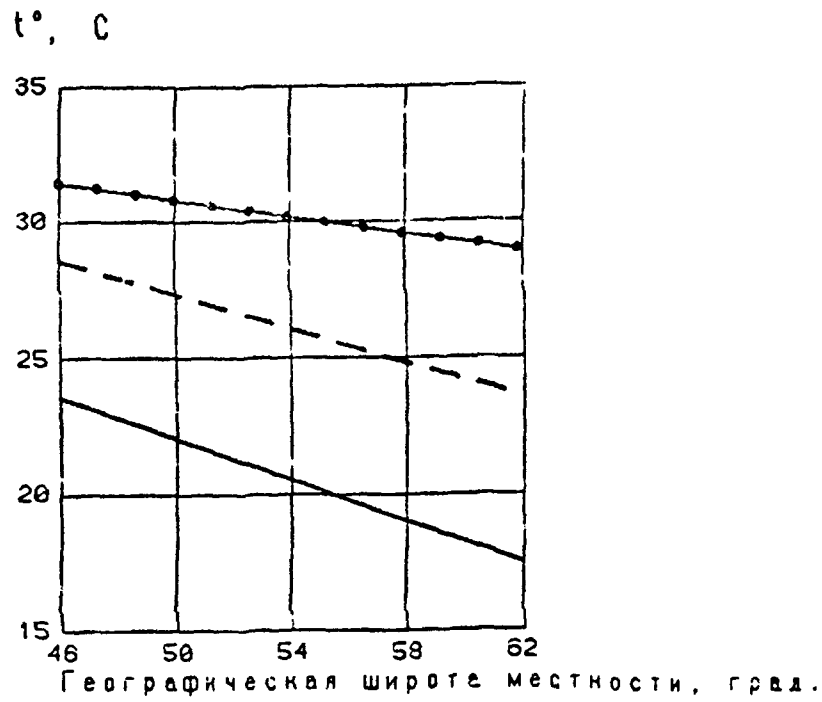


Рис. 1. Широтная зависимость среднемесячной температуры воды в водоемах-аналогах (для года 50% обеспеченности по естественной температуре воды)

———•———•——— средняя по поверхности естественная температура воды для самого жаркого месяца года (осредненные результаты натурных измерений)

— — — средняя по поверхности активной части ВО температура воды в ВО 1 категории при предельно допустимом подогреве воды (результаты расчетных оценок)

——————— средняя по поверхности активной части ВО предельно допустимая температура воды в ВО 11 категории (принято в РД 52.26-161-88)

воды), °С. За естественную температуру воды принимается средняя по площади водной поверхности температура при отсутствии тепловых сбросов. Она может быть получена на основании гидрологических наблюдений или по результатам исследований на водоемах-аналогах, или расчетным путем, или из литературных источников. Δt - средний по поверхности активной части ВО среднемесячный по самому жаркому месяцу года 50% обеспеченности (по естественной температуре воды) подогрев воды в ВО, °С. В соответствии с нормативными требованиями Δt может быть принят равным 5 °С.

2.6.8. Температура воды в период весенней или осенней гомотермии (а также для хорошо перемешиваемых водоемов в период нагрева и охлаждения) в конце расчетного интервала времени τ определяется по выражению:

$$t_i = t_{o,i-1} \pm \frac{(S_{o,i} - S_{ri} + S_{\text{АДВ АЭС}})\Delta\tau}{\rho C_p H} \qquad (2.19)$$

Второ член справа при нагреве имеет значение (+), при охлаждении (-). Здесь S_{oi}- суммарный поток тепла через открытую водную поверхность, рассчитывается на основании рекомендаций, изложенных в [14], Sri - поток тепла через границу раздела вода-дно за тот же интервал времени. $t_{o,i-1}$ - начальная средняя по глубине температура воды для расчетного интервала времени, равная конечной температуре воды предыдущего интервала, $\Delta\tau$ - продолжительность расчетного i-го интервала времени, H - глубина ВО,м, принимается равной средней на участке при расчетах по участкам или средней по ВО.

При определении температуры воды для периода гомотермии начальная температура воды принимается равной средней по глубине температуре воды водоема-аналога на начало гомотермии.Если расчет ведется от конца весенней гомотермии, то для средних широт начальная температура поверхностного слоя воды может быть принята равной 4°С. Если расчет ведется для замерзающей части ВО, то начальная температура воды поверхностного слоя воды от момента вскрытия принимается равной 0°С.

2.6.9. Для экспресс-оценок средней месячной температуры поверхности подогреваемого водоема следует использовать приведенные в [11] карты-схемы, графики и таблицы поправок для учета конкретной глубины ВО и тепловой нагрузки.

Для типового ВО и тепловой нагрузки 220 Вт/м^3 значения средней месячной температуры поверхности воды могут определяться из выражений:

$$\tilde{t}_{n220} = a + c\left[t_2 + b\right]^n (t_2 + b) + e(r_2 - f) \qquad (2.20)$$

здесь t_2- температура воздуха, r_2- относительная влажность воздуха,

a,b,c,n,e,f - параметры, значения которых для различных месяцев года приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

	Значения параметров					
	a	b	c	n	e	f
I	5,8	7,0	0,430	0,46	0,036	85
II	6,0	6,4	0,312	0,58	0,020	100
III	3,5	8,0	0,333	0,43	0,090	78
IУ	6,0	5,3	0,395	0,31	0,005	80
У	10,0	2,0	0,207	0,46	0,127	65
УI	16,9	-4,0	0,139	0,53	0,040	60
УII	20,0	-10,0	0,446	0,19	0,050	60
УIII	17,5	-6,0	0,326	0,31	0,069	65
IX	15,0	-3,0	0,280	0,41	0,063	70
X	7,0	10,0	0,061	0,82	0,133	76
XI	5,4	10,0	0,071	0,90	0,018	100
XII	4,0	10,0	0,211	0,52	-0,071	100

2.6.10. Для неглубоких, хорошо перемешиваемых водоемов-охладителей расчет средней и поверхностной температуры воды может быть выполнен на основе решения уравнения теплового баланса. Наиболее полно этот подход изложен в работах [11,15]. Следует иметь в виду, что термический режим относительно

небольших ВО со средними глубинами 10-15 м и площадью зеркала до 1 км^2 может развиваться по типу глубоких, если циркуляция вод в них достаточно слабая, а водная поверхность хорошо защищена от ветрового перемешивания высокими берегами и лесом .

2.6.11. В соответствии с существующими нормативами для ВО категории (естественные озера и водохранилища) величина предельно допустимого подогрева воды за пределами зоны смешения составляет 5°С. Для ВО 11 категории (наливные водоемы) средняя по поверхности активной части ВО среднемесячная температура воды не должна превышать предельно допустимую температуру , которая устанавливается в зависимости от географической широты расположения АЭС (табл.2.6):

Таблица 2.5

Географ. широта, градусы	45	50	55	60
Предельно допустимая температура воды, t_{lim} °С	30	29,5	29	28,5

2.6.12. Максимальный подогрев воды в ВО II категории рассчитывается по формуле:

$$\Delta t_{max} = t_{lim} - t_{50} \qquad (2.21)$$

где t_{50}-среднемесячная температура воды 50 % обеспеченности, определяется на основании гидрологических наблюдений или по результатам исследований на водоемах-аналогах, или расчетным путем, а t_{lim} принимается по таблице 2.5.

2.6.13. Температура воды нагретого водоема определяется по выражению:

$$t = t_{50} + \Delta t \qquad (2.22)$$

где Δt- величина подогрева, равная для ВО 1 категории 5°С, а для ВО II категории $\Delta t = t_{11m} - t_{50}$.

2.6.14. Термический режим глубоких ВО, к которым относятся водные объекты с глубинами, превышающими мощность деятельного слоя, характеризуется формированием слоя температурного скачка в летне-осенний период и малой 5 -10°С годовой амплитудой колебания температуры придонных слоев. Для таких водоемов-охладителей полный прогноз температурного режима должен производиться на основе использования численных моделей гидротермического режима ВО с использованием данных натурных наблюдений на объекте и лабораторных исследований на крупных моделях.

В зависимости от решения поставленных задач, связанных, в частности, с анализом эффективного участия зон ВО в процессе теплоотдачи, оценкой термических условий в районе водозабора и влияния ВО на тепловой режим вытекающих рек и нижние бьефы, оценкой изменения качества вод, гидробиологических характеристик, влияния различных гидротехнических сооружений на гидродинамику ВО и термический режим и др.могут использоваться как одномерные, так и двухмерные и трехмерные численные модели, разрабатываемые в различных организациях (Вычислительный Центр РАН, ВНИИГ, Гидропроект и др.), позволяющие рассчитывать термогидродинамические поля в ВО как плановые, так и многослойные.

При оценке качества воды всего ВО или его отдельных участков следует использовать обобщенные данные о температуре воды в виде кривых обеспеченности. Последние в зависимости от распределения температуры по вертикали строятся на основании ряда наблюдений для : 1)данных, осредненных по глубине; 2)температуры воды на поверхности или на некоторой заданной глубине; 3)вертикальных градиентов температуры. Характеристики 2) и 3) применяются только при вертикальных градиентах температуры 0,3 - 0,5 град/м и более.

При устойчивом температурном скачке его целесообразно характеризовать следующими количественными показателями: 1)длительностью непрерывного существования; 2)максимальным и средним за период существования вертикальным градиентом; 3)глубиной залегания его верхней и нижней границ в середине

летнего периода: 4)средней скоростью опускания верхней и нижней его границ; 5)максимальной и средней месячной вертикальной устойчивостью; 6)изменением температуры гиполимниона в период стратификации; 7)коэффициентом турбулентной теплопроводности К (кал/см град.сек).[18].

2.7.Расчеты *ледового режима водоемов-охладителей*

2.7.1. Для получения экспресс-оценок изменений ледовых характеристик водоемов-охладителей (ВО), расположенных в средних широтах, рекомендуются эмпирические формулы.

Сдвиг сроков установления ледостава Δτ (по сравнению со среднемноголетними бытовыми условиями) определяется по данным наблюдений или принимается по водоемам-аналогам:

$$\Delta\tau_л = 0.026 S_{тн}^{1.25} \quad , сут \qquad (2.23)$$

где: Sтн - тепловая нагрузка на водоем-охладитель, Вт/м^2, определяется в зависимости от тепловой мощности АЭС Nt и активной площади Fa водоема-охладителя (ВО):

$$S_{тн} = \frac{N_t}{F_a} \qquad (2.24)$$

N_t=rNэ, r - отношение мощности теплового сброса в ВО к электрической мощности Nэ, для АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000 принимается равным 2.1.

F_a= Кэф*Fo, Fo- площадь зеркала ВО, м^2; Кэф - коэффициент эффективности использования ВО.

2.7.2. Сдвиг даты весеннего очищения ВО ото льда:

$$\Delta\tau_в = 0.164 S_{тн}, \quad , сут. \qquad (2.25)$$

Для ВО, имеющего размер 10 км^2 и глубину 10 м, очищение ото льда весной при Sтн = 100 Вт/м.кв. наступает раньше на 16 суток, при S= 200 Вт/м^2 на 33, Sтн=220 Вт./м^2 на 35-43, при Sтн = 300 Вт/м^2 на 49 суток.

2.7.3. Увеличение продолжительности безледного периода $\Delta_{б.л.}$ связано с тепловой нагрузкой

$$\Delta_{б.л.} = 0.164 S_{тн} + 0.026 S_{тн}^{1.25} \quad , сут. \qquad (2.26)$$

2.7.4. Оценка толщины льда в дальней зоне от сброса подогретых вод выполняется по эмпирической формуле:

$$h_л = \beta[\sum_{i=1}^{n}(-t)]^n \quad , см \quad , \qquad (2.27)$$

где: $\sum_{i=1}^{n}(-t)$ - сумма средних суточных значений температуры воздуха от начала ледостава; β и n - параметры, числовые значения которых определяются по материалам многолетних наблюдений за толщиной льда и температурой воздуха на водоемах-аналогах. В большинстве случаев параметр n может быть принят равным 0,5. Диапазон изменений параметра β приведен в табл.8 приложения 12.

При необходимости получения более точной информации об изменениях ледового режима характеристик ВО рекомендуется использование более совершенных методов.

2.7.5. Расчет сроков установления ледостава

За начало ледообразования принимается дата перехода температуры воды через нуль. Этой дате соответсвует такое техническое состояние водной массы ВО, при котором запас тепла во всей водной толще с учетом сброса подогретых вод равен теплопотерям с водной поверхности в атмосферу или меньше их. Для глубоководных этому состоянию отвечает условие:

$$h_a \rho \delta t \le S_0 \tau \qquad (2.28)$$

где h_a - глубина слоя активного перемешивания воды, м, принимаемая в период охлаждения до начала осенней гомотермии равной толщине слоя подогретых вод (может быть рассчитана либо определена по водоему-аналогу), при достижении гомотермии - *полной глубине расчетного участка;*

So - теплообмен через водную поверхность, Вт/м^2;

τ - период охлаждения, сутки;

δ - удельная теплоемкость воды, Дж/(кг.к);

g - плотность воды, кг/м^3;

t -средняя температура слоя активного перемешивания воды, °С.

2.7.6. Дата образования ледяного покрова в дальней зоне от сброса подогретых вод определяется с учетом ветровых условий. Для случая полного отсутствия или слабого ветра (u < 5 м/с), принимаются те сутки, для которых соблюдается условие (2.28).

В случае, когда скорость ветра > 5 м/с дата ледостава определяется путем добавления к сроку начала ледообразования (п.2.7.5) продолжительности периода замерзания $\tau_з$ в сутках, где

$$\tau_з = \psi u_*^3 / K_0 S_0 \qquad (2.29)$$

Для определения τ устанавливаются средние сроки замерзания водоема в естественных условиях (до ввода АЭС в эксплуатацию) и по ним вычисляются значения параметров правой части (2.29). Коэффициент ψ принимается по таблице 2 приложения 12 в зависимости от длины разгона ветра x над водоемом, определенной для преобладающего направления ветра.

2.7.7. Расчет интенсивности нарастания толщины ледяного покрова в дальней зоне ВО

Нарастание толщины льда на водоемах происходит путем кристаллизации воды на нижней поверхности льда, смерзания шуги под ледяным покровом, смерзания снега, пропитанного водой, находящегося на ледяном покрове.

Расчет начинают с даты образования ледяного покрова.

$$\Delta h_л = \frac{864 * 10^3 \lambda_л}{L\rho_л} \frac{t_{с-л}}{h_л + \frac{\lambda_л}{\lambda_с} h_с} - \frac{86.4 * 10^2 S_i}{L\rho_л}, \qquad (2.30)$$

где: $\Delta h_Л$ - в см/сут.; $h_Л$ - толщина льда, см; $h_С$ - высота снежного покрова на льду, см; $\lambda_С$ и $\lambda_Л$ - теплопроводность снега и льда, Вт/(м.К); $t_{С-Л}$ - температура поверхности снежно-ледяного покрова, град.С., τ - расчетный интервал времени, сут. (в последующем могут быть использованы шаги, равные пятидневке, декаде).

Начальная толщина льда первого расчетного интервала времени в зависимости от условий замерзания принимается приблизительно равной 2-3 см при средней суточной скорости ветра u < 5 м/с и 5-8 см при u ≈ 10 м/с.

Для последующих интервалов начальная толщина льда принимается равной конечной толщине льда за предыдущий интервал, рассчитанный по формуле (2.30).

Высота снежного покрова на льду hc принимается по наблюдениям на ближайшей метеостанции.

Теплопроводность снега

$$\lambda_с = 2.9 * 10^{-6} \rho_с^2 + 0.043, \qquad (2.31)$$

где: $\rho_с$- плотность снега, определяется по таблице 6 приложения 12.

Теплопроводность льда $\lambda_л$ принимается равной 2,218 вт/(м.к).

Температура поверхности снежно-ледяного покрова t с.л.

$$t_{с.л.} = \frac{(C_1 + 1.86u)\,t_2 - J_{эф} - (5.96 + 3.26u)\,(e_2 - e_0)\,C_2}{C_3 + 220/(h_л + 740h_с/\rho_с)}, \quad (2.32)$$

где: Jэф. - эффективное излучение. Коэффициенты C_1, C_2 и C_3 - принимаются по таблице 7 приложения 12.

Расчет по формуле (2.32) производится в два этапа. На первом этапе определение значений Jэф и коэффициентов C_1, C_2 и C_3 производится по температуре воздуха. Окончательное значение $t_{с.л.}$ вычисляется на втором этапе, когда вышеуказанные параметры определяются по новому значению $t_{с.л.}$, полученному в результате первого этапа расчетов.

2.7.8. Расчет толщины ледяного покрова

Средняя толщина льда $h_Л$ за принимаемый расчетный интервал времени (пентада, декада, месяц, сезон) вычисляется путем суммирования суточных значений интенсивности нарастания толщины льда Δh со дня установления ледостава:

$$h_л = h_{л.н.} + \sum_{i=1}^{n} \Delta h, \text{ см}, \quad (2.33)$$

где: $h_{к.н.}$ - начальная толщина льда.

При наличии шуги в период формирования ледяного покрова расчет средней толщины льда h ш.л. производится по формуле:

$$h_{ш.л.} = h_{л.н.} + \sum_{i=1}^{n} \Delta h_{ш.л.}, \text{ см} \quad (2.34)$$

2.7.9. Максимальная толщина ледяного покрова $h_{л.макс}$ за период ледостава определяется из условия перехода теплового баланса ледяного покрова через нуль в положительную область, в результате чего дальнейшее его нарастание прекращается.

Для кристаллического льда расчет проводится по формуле:

$$h_{л.макс} = \frac{10^2 \lambda_л t_{с.л.}}{S_в} - \frac{\lambda_л}{\lambda_с} h_с, \text{ см} \quad (2.35)$$

Для расчета толщины шугового льда используется выражение:

$$h_{л.мах} = \frac{10^2 \lambda_л \rho_л t_{с.л.}}{(\rho_л - \rho_ш) S_B} - \frac{\lambda_л}{\lambda_ш} h_ш - \frac{\lambda_л}{\lambda_с} h_с \text{ , см ,} \qquad (2.36)$$

где: $t_{с.л.}$ - температура снежно-ледяной поверхности, принимаемая равной $0.8t_2$; t_2 - средняя температура воздуха за рассматриваемый интервал времени.

2.7.10. Расчет интенсивности таяния ледяного покрова

За дату схода снежного покрова принимаются данные по водоему-аналогу, либо те сутки, для которых соблюдается условие:

$$10^{-3} L \rho_с h_с = 8.64(S_ш + S_k + B), \qquad (2.37)$$

где: B - радиационный баланс , $\rho_с$ - плотность снежного покрова, равная в период таяния 250 кг/м^3; hc - толщина слоя снега на льду, принимаемая по метеорологическим данным, м; Su, Sk, B - в Вт/м^2.

Составляющие теплового баланса определяются в соответствии с рекомендациями раздела 2.6.

Интенсивность таяния ледяного покрова Δh^* рассчитывается за каждые сутки, начиная с даты схода снежного покрова.

$$\Delta h^* = \frac{8.64(B + S_ш + S_k + S_B)}{10^{-3} \rho_л L - S}, \text{ см,} \qquad (2.38)$$

где: S - удельное содержание жидкой фазы во льду. При расчете B альбедо тающего льда за весь период таяния принимается равным 0,35. Величина S_B принимается равной 3,9 Вт/м.

2.7.11. За дату полного стаивания ледяного покрова принимаются сутки, для которых

$$\sum q = 10^{-3} L(h_л \rho_л + h_с \rho_с) \qquad (2.39)$$

В первую очередь определяется правая часть уравнения (2.39). За $h_Л$ принимается максимальная толщина льда, за $h_С$ - максимальная средняя суточная высота снежного покрова по данным наблюдений ближайшей метеостанции. Затем путем последовательного суммирования суточных значений теплообмена льда с атмосферой определяется левая часть уравнения (2.39). Суточные значения q рассчитываются по уравнению теплового баланса. Прибавив к дате вскрытия найденный период стаивания льда, получим дату полного стаивания ледяного покрова.

2.7.12. Расчет сроков вскрытия

За дату вскрытия ВО (начало ветрового дрейфа льда) принимаются те сутки, для которых соблюдается условие:

$$\varphi h_л^{0.5} \le k u_2^2, \qquad (2.40)$$

где: u_2 - наибольшая скорость ветра над водоемом на высоте 2 м в период вскрытия.

Период вскрытия определяется по данным наблюдений на водоеме-аналоге; k - безразмерный коэффициент, для большинства водоемов может быть принят равным 0,018; ϕ- относительное разрушающее напряжение тающего льда

$$\varphi = (1 - \sqrt{\frac{S}{S^*}})^2 , \qquad (2.41)$$

где: S^* - предельное содержание жидкой фазы во льду, при котором лед полностью теряет прочность, Дж/см^3., в практических расчетах можно принять S^* = 184 Дж/см^3.; S - удельное содержание жидкой фазы во льду, выраженное количеством поглощенной солнечной радиации Дж/см^3.

Среднее значение S рассчитывается по выражению:

$$S = \frac{8.64\sum_{i=1}^{n}(B + S_м + S_t + S_B) - 308\sum_{i=1}^{n}(\Delta h_{верх} + \Delta h_{ниж})}{h_{л,мах} - \sum_{i=1}^{n}(\Delta h_{верх} + \Delta h_{ниж})} , \qquad (2.42)$$

S_B - приток тепла от воды к нижней поверхности ледяного покрова. Может быть принято равным 3.9 Вт/м^2.

$h_{л.мах.}$ - максимальная толщина льда, определенная в соответствии с рекомендациями п.2.5.9;

$\Delta h_{верх}$ и $\Delta h_{ниж}$- толщина слоя стаивания с верхней и нижней поверхности ледяного покрова:

$$\Delta h_{верх} = 8.64\{S_м + S_t + J_{эф} - J_0[1 - \exp(-ch_л^{0.6})]\} / L^* , \text{ см} \qquad (2.43)$$

$$\Delta h_{ниж} = 8.64\{k^*[J_0(1 - \exp(-ch_л^{0.6}))] + S_B\} / L^{**} , \text{ см} \qquad (2.44)$$

Коэффициент k* определяется по таблице 3 приложения 12 в зависимости от скорости течения V и средней глубины участка h. Толщина ледяного покрова hл для первого расчетного интервала времени принимается равной максимальной толщине льда. Коэффициент C = 0,65 для кристаллического льда и 0,25 - для снежного. В таблице 4 приложения 12 приведены значения выражения $\exp(-Ch_л^{0.6})$ для определенных значений hл.

Показатели объемной теплоты таяния для верхнего и нижнего слоя стаивания L* и L** определяются по таблице 5 приложения 12 в зависимости от среднего содержания поглощенной солнечной радиации во всей толще льда.

$$\bar{S} = J_0[1-\exp(-ch(-ch_л^{0.6}))] \ , \ \text{дж/см}^3$$

2.7.13. Дата очищения водоема от льда определяется путем прибавления к дате вскрытия продолжительности периода таяния ледяного образования τ_0 в сутках:

$$\tau_0 = 0.116 * 10^{-3} h_л L \rho_л / S_л, \qquad (2.45)$$

где: $h_Л$. и $\rho_Л$. - толщина (см) и плотность (кг/м^3) льда на дату вскрытия (принимаются по наблюдениям на водоемах-аналогах); Sл - приток тепла к дрейфующим льдинам, определяется физико-географическим положением и климатическими условиями района ВО и тепловой нагрузкой, Вт/м.^{2} В первом приближении Sл может быть принята равной 194 Вт/м.^{2}

2.8. Расчет ледово-термического режима нижних бьефов гидросооружений и рек, вытекающих из водоемов-охладителей.

2.8.1. Оценка влияния тепловых стоков на температуру воды нижних бьефов (вытекающих рек) водоемов-охладителей на длину полыньи и качественную картину ледово-термических явлений определяется условиями сброса подогретых вод.

Случай I. Сброс подогретых вод из ВО полностью формирует ледово-термические условия в нижнем бьефе реки (например р.Съежа, вытекающая из системы озер Удомля и Песьво - ВО Калининской АЭС).

Состояние водной поверхности в этом случае может развиваться по следующим вариантам:

1) образование ледяного покрова при условии:

$$So > (So)|\tau = 0;$$

2) образование полыньи при:

$$Sл > So$$

3) сохранение полыньи, либо ледяного покрова:

$$(So)|to = 0 > So > Sл$$

где: So - теплоотдача в атмосферу; (So)|to =0 - теплоприток из водной толщи при охлаждении водной поверхности до 0 град.С; Sл - теплоприток к нижней границе льда.

2.8.2. Расчет положения профиля стабилизации ледяной кромки выполняется по выражению

$$L_0 = \frac{\rho \delta q}{S_0}(\tau - \tau_k), \text{ м}, \qquad (2.46)$$

где: τ -температура воды, поступающей в нижний бьеф (исток);

τк- средняя по вертикали температура воды, уходящей под кромку льда;

q - удельный расход воды;

ρ, β и удельная теплоемкость воды.

2.8.3. Скорость движения ледяной кромки рассчитывается по формуле:

$$\frac{\Delta L_k}{\Delta t} = (S_0 - S)(L_k - L_0)/\beta_0 h, \text{ м/сут}, \qquad (2.47)$$

где: L_k - расстояние от места поступления подогретых вод в нижний бьеф до ледяной кромки;

βо- скрытая теплота плавления льда;

h - глубина.

2.8.4. Случай 2. Сток теплых вод поступает в среднюю или большую реку. Ледяной покров на участке нижнего бьефа отсутствует. В результате сброса в створе стока будет наблюдаться скачок температуры воды, что приведет к увеличению температуры воды, удалению створа нулевой изотермы от сброса, увеличению полыньи. В этом случае изменение средней по глубине потока температуры воды на участке нижнего бьефа определяется из выражения:

$$t=(t_{ст}-v_э)\exp[-a_1B(x-x_{ст})/cr Q_Σ]+v_э, \qquad (2.48)$$

где: t - температура, средняя по глубине потока; Vэ - эквивалентная температура воздуха, °С;

α_1 - коэффициент теплообмена с воздухом;

B - ширина потока, м;

δ, ρ -удельная теплоемкость и плотность воды соответственно;

x - координата по длине потока (x = 0 у плотины, у истока реки);

$x_{ст}$ - координата стока;

Q - суммарный расход воды, $м^3/с$:

Q = Qo + Qст; Qo и Q ст.- расходы основного потока и стока;

$t_{ст}$ -температура воды в створе стока:

$$t_{ст}=(t_{ст}Q_0+t'_{ст}Q_{ст})/Q_Σ=(q_0+q_{ст})/\delta\rho Q_Σ, \qquad (2.49)$$

где: $t_{осн}$ и $t'_{ст}$- температуры воды основного потока и стока до их смешения в створе стока, °С ;

q_o и $q_{ст}$- количество тепла, принесенное в единицу времени к месту впадения стока основным потоком и стоком, дж/с.

2.8.5. Случай 3. Сток теплых вод расположен на шугообразующем участке.

В результате возможно частичное или полное таяние шуги.

При полном таянии шуги нулевая изотерма, следовательно и полынья, и шугообразующий участок отодвигаются от плотины. При частичном таянии шуги шугообразующий участок удлиняется, что также увеличивает длину полыньи. Расчет для этого случая приведен в приложении 8.

2.8.6. Случай 4. Сток теплых вод расположен под ледяным покровом.

В месте стока и ниже его может происходить таяние льда. При определенном соотношении тепловых потоков (от воды к нижней поверхности льда и теплопотерь в атмосферу) образуется полынья в нижнем бьефе ниже основной кромки ледяного покрова, длина ее определяется охлаждением воды в полынье до 0 °С. (Расчет для случая 4 приведен в приложении 9).

3.ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В качестве резервного источника технического водоснабжения АС в условиях временного дефицита поверхностных водных ресурсов и аварийных ситуаций возможно использование подземных вод. Значение резервного источника технического водоснабжения на подземных водах определяется величиной ресурсов подземных вод, которые могут быть использованы для этой цели.

3.1.Основания для использования подземных вод

Основанием для использования подземных вод как резервного источника технического водоснабжения является наличие ресурсов подземных вод в достаточном количестве, а также результаты технико-экономического и экологического сравнения вариантов использования подземных вод с возможными дополнительными вариантами использования поверхностных вод, включая создание дополнительных водохранилищ сезонного регулирования, переброску воды из бассейнов других рек, переход на другие способы охлаждения технической воды.

3.1.1. Оценка потребности в подземных водах состоит из оценки величины необходимого резервного водообеспечения и оценки периодичности использования подземных вод.

3.1.2. Оценка продолжительности периода использования подземных вод и величины резервного водообеспечения производится на основании результатов расчетов водохозяйственного баланса, показывающих продолжительность периода и величину дефицита поверхностных водных ресурсов.

3.1.3. Оценка возможности использования подземных вод состоит из оценки ресурсов подземных вод, которые могут быть использованы для технического водоснабжения, и оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод в районе АЭС на компоненты окружающей среды.

3.1.4. Выделение участков водоносных горизонтов, пригодных для технического водоснабжения, осуществляется на основании материалов поисково-разведочных работ, с учетом данных по водохозяйственному использованию поверхностных и подземных

вод данной территории, природоохранных и, в частности, водоохранных требований, требований общегосударственных норм и иных специфических требований, характерных для данной территории.

3.1.5. Вопросы изучения и использования подземных вод регламентируются Водным Кодексом Российской Федерации и Законом Российской Федерации "О недрах". В соответствии с Законом Российской Федерации о недрах и Положением о порядке лицензирования пользования недрами недра предоставляются в пользование специальным разрешением в виде лицензии. Последняя выдается уполномоченными на то органами государственной власти только на те участки недр, геологическая информация по которым прошла соответствующую государственную экспертизу. При предоставлении недр в пользование для добычи подземных вод такой государственной экспертизе подлежит оценка эксплуатационных запасов подземных вод, являющихся критерием целесообразности и возможности использования подземных вод для тех или иных целей.

3.1.6. Под эксплуатационными запасами подземных вод понимается средний за расчетный период фактический или проектный расход подземных вод, который может быть получен на месторождении (участке) с помощью геолого-технически обоснованных водозаборных сооружений при заданных: режиме, условиях эксплуатации и качестве, удовлетворяющем требованиям целевого использования подземных вод в течение всего расчетного срока водопотребления с учетом природоохранных ограничений.

3.1.7. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод заключается в определении возможной производительности водозабора при заданном понижении уровня воды в каптажных сооружениях или прогнозе понижения уровней в пределах оцениваемой площади при заданной производительности водозабора. При этом должна быть доказана возможность эксплуатации подземных вод обоснованными в геолого-техническом отношении водозаборными сооружениями при расчетной величине водоотбора в течение определенного срока работы водозаборных сооружений при условии, что качество подземных вод удовлетворяет заданному назначению в течение всего этого периода, а прогнозируемые изменения различных компонентов природной окружающей среды не выходят за пределы установленных ограничений.

3.1.8. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод включает комплекс вопросов, в состав которых входят:

а) оценка обеспеченности эксплуатационных запасов различными балансовыми составляющими (источниками формирования). Эксплуатационные запасы, представляющие собой дебит водозаборных сооружений, формируются за счет питания подземных вод в естественных условиях, сработки емкостных запасов и привлечения поверхностных и подземных вод смежных водоносных систем;

б) расчет производительности водозаборных сооружений и соответствующих понижений уровней подземных вод;

в) расчет взаимодействия водозаборного сооружения с водозаборными сооружениями на других участках в пределах области влияния оцениваемого;

г) прогноз возможных изменений качества подземных вод при их эксплуатации;

д) определение границ зон санитарной охраны водозаборов подземных вод (при оценке эксплуатационных запасов подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения);

е) оценка изменений геолого-гидрогеологических условий, определяющих возможное влияние эксплуатации подземных вод на окружающую среду (развитие карстово-суффозионных процессов, угнетение растительности, изменение поверхностного стока рек, осушение болот, проседание земной поверхности и др.);

ж) технико-экономические обоснования использования подземных вод и рациональных схем водозаборных сооружений.

В зависимости от особенностей использования подземных вод, а также особенностей гидрохимической и санитарной обстановки, различные вопросы из приведенного перечня могут решаться с разной степенью детальности и достоверности, а отдельные вопросы могут быть полностью исключены.

3.1.9. Ключевым элементом оценки эксплуатационных запасов являются расчеты производительности водозабора. Расчеты всех основных элементов определяются по существу расчетами производительности водозаборов и непосредственно связаны с ними.

3.1.10. При оценке эксплуатационных запасов подземных вод для технического водоснабжения технико-экономическое обоснование целесообразности их использования является обязательным.

3.1.11. В связи с тем, что в большинстве случаев потребителю должен быть обеспечен определенный расход воды, на практике расчет производительности водозабора чаще всего заключается в определении расчетной глубины динамических уровней подземных вод и соответствующих им величин понижений при заданном расходе водозабора и сопоставлении прогнозной величины понижения с допустимой. Величина допустимого понижения уровня водозаборных сооружений определяется гидрогеологическими, технико-экономическими и природоохранными факторами. Эксплуатационные запасы могут считаться обеспеченными, если расчетное понижение уровня не превышает допустимое. Если расчетное понижение уровня в скважинах больше допустимого, то это значит, что либо суммарный дебит водозабора не обеспечен источниками формирования, либо фильтрационные свойства пласта не обеспечивают получение заданного дебита. В этом случае подсчеты запасов должны быть выполнены заново либо применительно к другой схеме водозаборных сооружений, либо с учетом уменьшенного значения суммарной производительности.

3.1.12. В зависимости от гидрогеологических условий и источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод оценка запасов проводится либо на неограниченный срок эксплуатации, либо на заранее установленный период, если эксплуатация будет проходить при нестационарном режиме подземных вод. В последнем случае расчетный срок определяется проектной организацией. На практике чаще всего расчетный период принимается равным 25 годам. Этот срок превышает амортизационный период работы водозаборных сооружений и является достаточным либо для проведения переоценки запасов по данным многолетней эксплуатации, либо для изыскания других дополнительных источников водоснабжения рассматриваемого объекта.

3.1.13. Для выполнения гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод могут применяться следующие методы: гидродинамические, гидравлические, балансовые, гидрогеологических аналогов и экспертных оценок. Выбор метода прогнозирования зависит от сложности геолого-гидрогеологических условий оцениваемого месторождения (участка), степени их изученности, целевого назначения расчетов, наличия опыта эксплуатации действующих водозаборных сооружений. При гидрогеологических прогнозах отдельных элементов оценки запасов

могут использоваться как один, так и несколько методов, либо их комбинация. Характеристика методов прогнозирования и особенности их использования в различных гидрогеологических условиях изложены в специальной литературе [28].

3.1.14. Принципы оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод в районах АЭС на компоненты окружающей среды заключаются в разработке прогнозных оценок и методики контроля:

1) влияния интенсивного отбора подземных вод на речной сток;

2) динамики развития воронки депрессии при интенсивном водоотборе и ее регрессии в период восстановления уровней подземных вод;

3) нарушения режима, баланса и взаимосвязи подземных и поверхностных вод;

4) оседания земной поверхности под влиянием интенсивного водоотбора;

5) возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора.

3.1.15. Необходимо проведение наблюдений за изменениями в подземных и поверхностных водах, а также других компонентах окружающей среды, вызванных их взаимным влиянием, которые могут вызывать негативные последствия - сокращение речного стока, изменения в режиме и ресурсах подземных вод и их качестве, проседание земной поверхности, изменение режима влаги в корнеобитаемом слое и угнетение растительности, активизацию карстово-суффозионных процессов и др.

3.1.16. Эксплуатация подземных вод для технического водоснабжения АС и объектов ее инфраструктуры как при постоянном, так и при периодическом режимах водоотбора приводит к формированию депрессионных воронок, размеры которых зависят от величины водоотбора, схемы расположения водозаборных сооружений и конкретных гидрогеологических условий месторождения подземных вод. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве выполняется аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды.

3.1.17. Отбор подземных вод нарушает их режим и баланс. Снижение уровня грунтовых вод, вызванное их эксплуатацией (или

эксплуатацией более глубоких водоносных горизонтов, гидравлически связанных с грунтовыми водами), меняет величину их инфильтрационного питания, что определяет естественное восполнение запасов подземных вод. В районах эксплуатации подземных вод, прежде всего в пределах депрессионных воронок, рекомендуется создание специальной наблюдательной сети скважин, используемой для наблюдений и прогноза снижения уровней и изменения качества воды в эксплуатируемом и смежных водоносных горизонтах. Методика наблюдений и методы прогноза определяются видом и разновидностями режима подземных вод в естественных и нарушенных условиях и изложены в специальной литературе [28].

3.1.18. Эксплуатация подземных вод вблизи реки (так называемые водозаборы инфильтрационного типа) резко нарушает и видоизменяет взаимосвязь поверхностных и подземных вод. В тех случаях, когда в естественных условиях подземные воды разгружались в реки, эта разгрузка резко сокращается или прекращается совсем за счет перехвата части подземного стока водозаборными сооружениями. Размеры ущерба речному стоку зависят от дебита водозабора, расстояния его от реки, схемы водозабора (обычно это линейный ряд скважин вдоль реки), фильтрационных свойств эксплуатируемого водоносного горизонта и степени его связи с рекой. Особенно существенным может быть ущерб стоку малых рек, который в ряде случаев достигает 70-80 и даже 90%.

3.1.19. При совершенной связи подземных и поверхностных вод ущерб речному стоку на любой момент времени может быть рассчитан по зависимости М.С. Хантуша

$$V = 4Qi^2 erfc(d_o / 2\sqrt{at}) \qquad (3.1),$$

где V - суммарные потери речного стока ($м^3$) за время t при водоотборе Q($м^3/с$), d_o- расстояние от реки, i^2 erfc(x) - специальная функция, значение которой при аргументе $x = d_0 / 2\sqrt{at}$ табулированы и приведены в специальной литературе, a - коэффициент уровнепроводности или пьезопроводности ($м^2/с$).

Для ориентировочной оценки ущерба речному стоку на начальных стадиях проектирования целесообразно использовать зависимости Е.Л.Минкина [8], а для более точных оценок в случае необходимости проводить моделирование.

3.1.20. Ущерб объему речного стока, вызванный интенсивным отбором подземных вод, может вызвать значительные негативные последствия: ухудшение условий рыбопроизводства и судоходства вследствие сокращения меженного стока, сокращение санитарного стока, осушение и обмеление озер, осушение болот, опустынивание территорий.

3.1.21. Оседание земной поверхности под влиянием интенсивного водоотбора происходит в результате изменения упругого состояния как водоносных, так и водоупорных пород в слоистых осадочных толщах. Расчетные зависимости для определения возможной величины оседания земной поверхности включают такие показатели, как приращение нагрузки на скелет породы, объемный вес породы до водопонижения и при снижении уровня на заданную величину, коэффициент сжимаемости пород и др. Известные на территории России максимальные значения проседания земной поверхности под влиянием откачки подземных вод не превышают 2-3 мм/год. Поэтому оценку возможного проседания земной поверхности на стадии проектирования АЭС целесообразно проводить только в редких случаях - при крупном длительном водоотборе из слоистой, хорошо сжимаемой толщи водовмещающих осадочных пород.

3.1.22. На стадиях проектирования и эксплуатации АЭС при наличии крупного сосредоточенного отбора подземных вод следует обратить внимание на возможную опасность активизации карстово-суффозионных процессов и дать качественную оценку возможной опасности этого явления. Для этого необходимо выполнить прогноз возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора подземных вод, организовать наблюдения за возможным развитием этих процессов, включив их в состав комплексного мониторинга данного объекта.

3.2. Принципы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах

3.2.1. Принципы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах заключаются в:

1) создании обоснованной схемы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах, включая рациональную схему водозаборных сооружений и организацию

рационального водопользования для конкретных гидрогеологических и технических условий, организацию службы эксплуатации и ремонта.

2) создании системы водозаборных сооружений, использовании рациональных приемов водопользования, проведении ремонтно-профилактических и восстановительных работ;

3) организации контроля за режимом подземных вод, а при необходимости гидрогеологического мониторинга.

3.2.2. Создание рациональной схемы водозаборных сооружений и разработку технологии рационального водопользования для конкретных гидрогеологических и технических условий производят с использованием методов математического моделирования.

3.2.3. Организация службы эксплуатации и ремонта системы резервного технического водоснабжения на подземных водах заключается в создании структуры данной службы, обеспечении ее квалифицированными кадрами и материально-техническими средствами, необходимыми для выполнения поставленных задач.

3.2.4. Создание системы водозаборных сооружений, как правило, должно производиться специализированными организациями, имеющими большой опыт создания водозаборных и иных гидрогеологических скважин.

3.2.5. Использование рациональных приемов водопользования необходимо для уменьшения непроизводительных потерь подземных вод и снижения материальных затрат при их использовании.

3.2.6. Ремонтно-профилактические и восстановительные работы необходимо производить по мере выявления возникающих аварийных ситуаций или на режимной основе, т.е. по утвержденному графику.

3.2.7. Организация режимных наблюдений за подземными водами включает в себя создание режимной сети гидрогеологических скважин, создание службы наблюдений и ремонтно-профилактических работ, обеспечение ее персоналом и материально-техническими ресурсами, проведение наблюдений за контролируемыми параметрами подземных вод, оформление результатов наблюдений и принятие необходимых решений.

3.2.8. Организация контроля за режимом подземных вод включает в себя наблюдения за уровнями, температурой и химическим составом подземных и связанных с ними поверхностных вод.

3.2.9. Режимная сеть гидрогеологических скважин должна обеспечивать все поставленные задачи как в плане контроля за использованием и восстановлением запасов и качеством подземных вод, так и в плане воздействия водозабора резервного техводоснабжения на природную среду.

3.2.10. В целях комплексной оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод на окружающую среду в процессе проектирования АЭС необходимо предусмотреть создание и функционирование гидрогеологического мониторинга, позволяющего проводить постоянные наблюдения за состоянием подземных вод (режимом уровня; изменениями качества, температуры подземных вод; режимом водоотбора) и служащего основой для гидрогеологических расчетов и прогнозов опасного воздействия такого водоотбора на среду. Состав и содержание такого мониторинга определяются его конкретными целями и особенностями гидрогеологических условий района АЭС.

3.3. Оценка возможности использования искусственного восполнения подземных вод

Для сокращения времени восстановления сработанных запасов подземных вод, использованных для резервного технического водоснабжения АС, перспективным является использование искусственного восполнения подземных вод. Это необходимо для повышения надежности технического водоснабжения АС, а также в целях улучшения геоэкологической обстановки территории.

3.3.1. Под искусственным восполнением подземных вод понимается комплекс инженерных мероприятий, направленных на усиление питания и накопления подземных вод, т.е. увеличение эксплуатационных ресурсов водоносного горизонта или водозаборного сооружения, а также на улучшение качества получаемой воды.

Это весьма эффективное средство регулирования как подземного, так и поверхностного стока и управления водными ресурсами территории.

3.3.2. Оценка возможности использования искусственного восполнения подземных вод заключается:

1) в оценке времени естественного восполнения подземных вод после периода интенсивного водоотбора;

2) в оценке возможности использования поверхностных вод для искусственного восполнения подземных вод;

3) в оценке технических возможностей реализации и использования систем для искусственного восполнения подземных вод;

4) в оценке технико-экономической эффективности использования искусственного восполнения подземных вод (ИВПВ).

3.3.3. Оценка времени естественного восполнения подземных вод производится с учетом геолого-гидрогеологических, гидрологических (наличие источника восполнения), геоморфологических, климатических и иных условий, характерных для рассматриваемого дополнительного источника технического водоснабжения на подземных водах.

3.3.4. К геолого-гидрогеологическим факторам относятся: условия формирования подземных вод на рассматриваемом участке, мощность и фильтрационные свойства водоносного горизонта, намечаемого в качестве водоприемной емкости, характер его гидравлического режима, граничные условия в плане и разрезе, сведения о естественной дренированности участка магазинирования, данные о направлении и скорости подземного потока и интенсивности водообмена в естественных условиях; мощности, строении, гранулометрическом составе и проницаемости зоны аэрации, качестве подземных вод, их режиме. Должны быть систематизированы данные взаимосвязи подземных и поверхностных вод (для грунтовых горизонтов), фильтрационные и емкостные характеристики водовмещающих пород (коэффициент фильтрации, водопроводимость, уровне- и пьезопроводность, активная пористость (для зернистых пород), водоотдача, при расположении намечаемой системы искусственного восполнения в речной долине и искусственном восполнении аллювиального горизонта - сведения о величине дополнительного сопротивления донных отложений, сведения об их грязеемкости. При мощности восполняемого горизонта более 20-25 м должны быть приведены сведения об изменчивости его фильтрационных свойств по разрезу.

3.3.5. Первостепенное значение в оценке условий при решении вопроса о применении ИВПВ для охраны подземных вод от истощения имеет определение мощности, гранулометрического состава и фильтрационных свойств слабопроницаемых покровных отложений, а также характеристика зоны аэрации, сложенной рыхлыми пористыми грунтами. Необходимо иметь данные о мощности,

гранулометрическом составе, строении, фильтрационных и водно-физических свойствах пород, составе и качестве солей в метровом, трехметровом слое и по всей мощности ненасыщенной зоны. При мощности зоны аэрации больше 10 м должны быть изучены ее характеристики в разрезе, а при резкой фациальной изменчивости - и в плане. Должна быть приведена скорость инфильтрации воды по наливам в шурфы и скважины. Должны быть известны (изучены) условия оцениваемого водоносного горизонта (расходы, напоры) на его границах в плане и разрезе, направление и скорость подземного потока, данные о дренированности территории и интенсивности водообмена в естественных условиях. Неучет этих факторов может привести к тому, что значительная часть идущей на пополнение воды не достигнет водозаборного сооружения и КПД поглощающей системы будет низким. Должен быть изучен режим подземных вод оцениваемого участка - амплитуды уровней подземных вод (годовые, а по возможности и многолетние), колебания температуры, химического состава и санитарного состояния подземных вод.

3.3.6. Необходимо иметь данные по качеству подземных вод, что позволит более обоснованно подходить к качеству погружаемой (магазинируемой) воды. Как правило, подземная вода должна удовлетворять требованиям к воде, которая отбирается (или будет отбираться) водозабором. Кроме того, вода должна быть исследована на содержание различных вредных микрокомпонентов, а также на газовый состав, для надежного прогноза о возможности (или невозможности) образования различных осадков, пленок, слизей-железистых и других минеральных, коллоидных, бактериальных и других при смешении "естественной" подземной воды с погружаемой.

3.3.7. При оценке условий применения ИВПВ необходим учет геоморфологической характеристики рельефа участка, которая может быть дана после проведения соответствующих изысканий. Пересеченный рельеф не позволяет устраивать инфильтрационные бассейны, каналы и т.д. или же подводить к поглощающим устройствам воду по открытым каналам, лоткам и т.п. В то же время уклоны в пределах от 0,01 до 0,05 способствуют усилению инфильтрации.

3.3.8. Оценка возможности использования поверхностных вод для искусственного восполнения подземных вод включает:

1) характеристику источника ИВПВ - особенности его гидрологического режима и качество воды;

2) учет климатических факторов.

3.3.9. Характеристика источника ИВПВ должна включать в себя *особенности его гидрологического режима для количественной* оценки возможностей восполнения, поскольку таким источником, чаще всего, являются поверхностные воды рек, озер, водохранилищ. Для анализа режима истоника восполнения используются существующие посты гидрометеорологической сети, а при их отсутствии организуются самостоятельные гидрометрические работы в комплексе с гидрохимическими, гидротермическими и санитарными наблюдениями. Минимальная продолжительность таких наблюдений - гидрологических и водно-балансовых - должна обеспечивать возможность удлинения ряда наблюдений по аналогии. При исследовании изменчивости речного стока должны определяться: норма стока, многолетний сток по годам, внутригодовое распределение стока, минимальный сток, максимальный сток весенних половодий и дождевых паводков в период межени; обеспеченность стока, в том числе паводкового; продолжительность межпаводкового периода в годы различной обеспеченности по стоку. Если сток в какие-то периоды прекращается (пересыхание, перемерзание), должны быть получены данные о продолжительности периода отсутствия стока и его обеспеченности. Если речные или иные поверхностные воды (в каналах) по пути к участку инфильтрации разбираются на другие нужды, должны быть получены данные о величине остаточного стока, его распределении во времени и обеспеченности. Требования к количественной характеристике поверхностного источника пополнения (реки), в целом, определяются требованиями к этому источнику, как если бы для удовлетворения потребителя вода отбиралась для него непосредственно. При использовании в качестве источника восполнения воды озер или водохранилищ должны быть определены: объем воды в озере (водоеме), водный баланс с расходными и приходными статьями (приток впадающих рек, атмосферные осадки, испарение, отбор (сброс) воды и т.д. При использовании сбросных вод горных предприятий, конденсационных устройств, очищенных и бытовых стоков и т.д. необходимо иметь данные об устойчивости или характере периодичности этих источников восполнения.

3.3.10. Важным фактором, в значительной мере определяющим возможность применения ИВПВ для их охраны от истощения, является качество воды источника восполнения.

В целом требования к качеству магазинируемой воды определяются:

1) качеством "естественной" подземной воды;

2) свойствами водовмещающих пород водоносного горизонта, в котором будет протекать фильтрация;

3) дополнительными условиями, связанными с особенностями используемого технического водоснабжения.

Соответствующие исследования необходимо проводить, исходя из этих трех основных положений. При изучении качества воды источника восполнения необходимо иметь в виду возможность загрязнения воды какими-либо специфическими загрязняющими веществами, не нормируемыми общими стандартами на питьевую воду. Поэтому необходимо изучать вопрос о возможности загрязнения поверхностных вод такими потенциальными загрязнителями и с выполнением соответствующих анализов воды.

3.3.11. При определении возможности применения ИВПВ должны учитываться климатические факторы: атмосферные осадки, их обеспеченность, испаряемость; дефицит влажности, направление и скорость ветра; мощность, плотность и устойчивость снегового покрова, глубина промерзания почвы и продолжительность периода промерзания, продолжительность периода с температурой ниже минус 15°С, сведения об экстремально низких температурах. Климатическая характеристика приводится по данным ближайших метеостанций.

3.3.12. Оценка необходимости использования искусственного восполнения подземных вод производится на основании сравнения всех альтернативных вариантов повышения водообеспеченности резервного источника технического водоснабжения на подземных водах.

3.3.13. Для искусственного восполнения подземных вод при их использовании для технического водоснабжения в мировой и отечественной практике применяются два основных метода - распределение и нагнетание - с различными модификациями.

3.3.14. Метод распределения следует использовать для восполнения подземных вод безнапорных горизонтов, когда зона аэрации сложена хорошо проницаемыми отложениями, или же залегающий с поверхности слой слабопроницаемых грунтов (глины,

суглинки, супеси) имеет мощность не более 4 м, в таких случаях инфильтрационные сооружения называются открытыми. Метод распределения может выполняться различными способами - устройством инфильтрационных бассейнов, каналов, траншей, котлованов; затоплением участков естественной поверхности или специально подготовленных (например, устройством борозд) площадок; расчисткой русел постоянных и временных водотоков с целью усиления инфильтрации из реки (русловой метод); при мощности слабопроницаемых суглинков и глин, залегающих с поверхности, 5-20 м используются многочисленные засыпаемые гравием фильтрующие колодцы большого диаметра - 1 м и более.

3.3.15. Метод нагнетания следует применять для закачки воды в напорные водоносные горизонты, или же в условиях, когда с поверхности земли залегают мощные (10-12 м и более) слои слабопроницаемых пород. Метод нагнетания предусматривает применение поглощающих скважин или галерей, в которые вода подается под тем или иным давлением - так называемые закрытые инфильтрационные сооружения. Своеобразным способом ИВПВ следует считать усиление питания эксплуатируемого водоносного горизонта смежными, залегающими выше или ниже эксплуатируемого, путем бурения и оборудования скважин, соединяющих питающий и восполняемый горизонты, при условии, что напоры в питающих горизонтах выше.

3.3.16. ИВПВ может применяться в самых различных природно-климатических зонах России и различных геолого-гидрогеологических условиях. Даже в бореальной провинции в условиях холодного климата Севера ИВПВ может с успехом использоваться в теплое время года, "запасая" воду в водоносный горизонт для холодного периода, длящегося в таких условиях до 8-9 месяцев в году.

4. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПРАВИЛ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.

4.1. Водохозяйственные расчеты и балансы.

4.1.1. Водохозяйственные балансы определяют условия и возможности покрытия потребностей в воде - как при естественном режиме водных источников, так и при регулировании стока водохранилищами. Регулирование речного стока осуществляется с целью его перераспределения во времени в соответствии с потребностями в воде и задачами сохранения окружающей среды.

Выравнивание колебаний стока по годам достигается его многолетним регулированием путем аккумуляции избытков воды в полезной емкости водохранилища и сработкой запасов в маловодные годы. Сезонное регулирование стока предусматривает его внутригодовое перераспределение в соответствии с имеющимися заявками на воду.

Условия покрытия потребностей в воде (из естественного стока или при его регулировании), а также необходимая степень регулирования (многолетнее или сезонное) устанавливаются из водохозяйственных балансов.

4.1.2. Водохозяйственные балансы представляют собой сопоставление располагаемых водных ресурсов с потребностями в воде - современными или прогнозируемыми на перспективу. Балансы составляются по речным бассейнам, нарастающим итогом для характерных створов (крупные водозаборы, места впадения притоков, створы гидроузлов с водохранилищами и т.п.).

Колебания стока и изъятий (потерь) воды внутри года обусловливают составление водохозяйственных балансов по интервалам времени, внутри которых этими колебаниями можно пренебречь. Для межени обычно можно ограничиться месячными интервалами времени, для половодья - декадными. На озерных реках и крупных реках снегового питания иногда и для половодья можно принимать месячные интервалы времени, а на реках ливневого питания (или смешанного с большой долей ливневого) для периода интенсивных осадков может потребоваться переход на малые расчетные интервалы (короче месяца) и по межени.

4.1.3. В приходную часть баланса включают ресурсы речного стока (с учетом трансформации его режима водохранилищами) и ту долю эксплуатационных ресурсов подземных вод, которые не связаны с поверхностными, либо изъятия которых в рассматриваемой перспективе не отразятся на речном стоке; кроме того, в приходную часть баланса включаются возвратные и шахтные воды. Следует иметь ввиду, что использование подземных вод питьевого качества для нужд, не связанных с питьевым водоснабжением, как правило, не допускается. На это можно идти лишь в отдельных случаях при значительных запасах подземных вод и при существенных сложностях в увязке водохозяйственного баланса.

Расходная часть водохозяйственного баланса включает потребности воды для целей водопотребления (с отводом из источника) и водопользования (без отведения из источника). Заявки отдельных водопотребителей суммируются по принятым интервалам времени (обобщенный график водопотребления), а водопльзователей - совмещаются с построением огибающей (обобщенный график водопользования). Суммирование полученных таким образом обобщенных графиков водопотребления и водопользования дает расходную часть баланса.

В расходную часть водохозяйственного баланса включаются также потери воды на дополнительное испарение с поверхности водохранилищ и на фильтрацию; некоторое влияние на внутригодовое распределение речного притока оказывают затраты воды на льдообразование в водохранилищах и ее высвобождение при таянии льда.

4.1.4. Водопотребление регламентируется специальными нормами: на одного человека в сутки, на голову скота, на единицу продукции, на 1 га орошаемых земель и т.д. Потери воды на испарение при ее использовании на охлаждение в технологических циклах на тепловых и атомных электростанциях определяются в соответствии с разделом 2.

Резервы воды на цели водопользования определяются попусками воды. В общем случае следует предусматривать следующие виды попусков: на работу турбин ГЭС, на поддержание судоходных глубин, на обеспечение санитарных условий, для удовлетворения требований по сохранению водных и околоводных экосистем, на вынос солей (при интенсивном разборе вод на орошение и сбросе в

реки минерализованных коллекторно-дренажных вод). В отдельных случаях приходится учитывать затраты воды на обеспечение транзита наносов и на формирование в нижнем бьефе устойчивого ледяного покрова (путем создания временного подпора в период формирования ледостава).

Затраты воды на попуски в интересах гидроэнергетики и водного транспорта определяются по методам, сложившимся в соответствующих отраслях хозяйства; специальные попуски для сохранения экосистем, а также на вынос солей, для транзита наносов и на формирование ледяного покрова устанавливаются в каждом отдельном случае на основании специальных исследований и расчетов.

4.1.5. На практике получила распространение устаревшая методика назначения санитарных попусков воды в объемах, равных водности реки в маловодном месяце (обеспеченностью 95%). Рекомендуется назначение санитарных расходов воды, исходя из следующих условий:

- осуществляется такое разбавление сбрасываемых в реку загрязнений, которое обеспечивает нормативное качество воды;
- гарантируются средние скорости воды в летний период не менее 0,3 м/с (чтобы исключить создание условий, благоприятствующих выплоду кровососущих насекомых);
- попуски в зимнее время предупреждают промерзание реки;
- в течение всего года обеспечивается работа существующих водозаборов или же предусматриваются средства на их переустройство.

4.1.6. Абсолютная гарантия водообеспечения невозможна. Обычно она назначается по доле (проценту) бесперебойных лет - обеспеченности отдачи. В принципе обеспеченность отдачи должна в каждом отдельном случае устанавливаться на основе специальных технико-экономических расчетов: затраты на обеспечение принимаемой гарантии отдачи не должны превышать ущербы от перебоев в подаче воды. Однако методика таких расчетов не получила распространение на практике; степень достоверности их результатов не установлена. Обычно используются апробированные методы назначения расчетной обеспеченности подачи воды: от 97-98% для высокоответственных потребителей до 50% для малоответственных.

Гарантия осуществления экологических попусков воды имеет специфическую особенность: важна не только средняя повторяемость перебойных лет, но и их группирование. Так, например, для осетровых Волжского бассейна отсутствие условий для нереста в течение трех и более лет подряд приводит к утрате способности рыбы к размножению.

Водохозяйственный комплекс обычно включает водопотребителей и водопользователей, для которых требуется разная расчетная обеспеченность отдачи. Соответственно, нужно составлять несколько водохозяйственных балансов - для каждой из этих обеспеченностей. При этом водность расчетного года и его гидрограф в каждом отдельном случае назначаются соответствующими рассматриваемой обеспеченности отдачи. Расходная часть баланса включает водопотребителей и водопользователей, требующих данную и более высокую обеспеченность в полном размере, а для имеющих меньшие расчетные обеспеченности заявленные потребности в воде подлежат сокращению. Обоснование допустимого ограничения заявок на воду осуществляется в каждом отдельном случае на основе специального технико-экономического анализа.

4.1.7. Совокупность составленных водохозяйственных балансов позволяет оценить условия покрытия потребностей в воде. Если баланс расчетного маловодного года сводится без дефицита для всех расчетных интервалов времени (месяцев, декад, пентад) по всем рассматриваемым створам, - дополнительных водохозяйственных мероприятий на данном расчетном этапе не требуется. Наличие дефицитов в отдельные расчетные интервалы времени маловодного года при отсутствии дефицитов в балансе года (для средних в этом году величин расходной и приходной частей баланса) говорит о том, что требуется сезонное регулирование речного стока. Появление дефицита воды в целом для маловодного года расчетной обеспеченности при отсутствии дефицитов для условий среднего по водности года говорит о необходимости многолетнего регулирования стока или о необходимости привлечения вод из внешних источников. Дефицит в балансе среднего по водности года может быть устранен только привлечением ресурсов извне; в обязательном порядке в таких случаях подлежит анализу вопрос о возможности сокращения заявок на воду.

4.1.8. Для определения параметров гидроузла, составления правил использования водных ресурсов водохранилищ, для оценки потребности в воде, надежности водоподачи и т.п. выполняются водохозяйственные расчеты. Гарантированной водоотдачей водохранилища (или гарантированной водоподачей) называется расход воды, подаваемой из водохранилища для всех водопользователей верхнего и нижнего бьефов гидроузла.

Водохозяйственные расчеты выполняются также для уменьшения сбрасываемых в нижний бьеф максимальных расходов воды половодий и паводков малой вероятности превышения (регулирование высокого стока).

Расчеты по повышению водоотдачи источника выполняются для определения необходимой полезной емкости водохранилища и выработки наиболее эффективных правил эксплуатации. Задача может заключаться, кроме того, в определении водоотдачи, которая может быть гарантирована при заданной полезной емкости водохранилища, или же (при заданных значениях емкости и отдачи) - в определении ее обеспеченности.

4.1.9. Все водохозяйственные расчеты проводятся применительно к определенным правилам управления водными ресурсами водохранилищ:

- сток считается известным лишь на один расчетный интервал времени вперед; например, первого числа каждого месяца известен средний месячный расход воды в этом месяце;

- запасы воды в водохранилище в начале и конце расчета должны быть одинаковыми.

Порядок проведения водохозяйственных расчетов поверхностных источников водоснабжения АЭС по календарным стоковым рядам определяется (при заданных размерах водопотребления) отсутствием или наличием регулирующих сток водохранилищ и их объемом. При отсутствии водохранилищ расчеты сводятся к распределению естественных расходов воды между АЭС и стоком в нижнем бьефе гидроузла, при наличии водохранилищ - дополнительно определяется режим сработки и наполнения водохранилища.

4.1.10. Расчеты сезонного регулирования стока выполняются для характерных по водности лет; чтобы выбрать в качестве расчетного год (модель) с наиболее неблагоприятным внутригодовым распределением стока, следует рассматривать несколько лет с

годовым или месячным стоком, близким по стоку к расчетной обеспеченности.

Расчеты многолетнего регулирования стока должны в возможно полной мере учитывать закономерности чередования маловодных и многоводных лет. Наиболее тяжелые условия покрытия потребностей в воде возникают в периоды группирования маловодных лет, что может усугубляться малыми запасами воды в водохранилище к началу лимитирующего по воде периода - вплоть до полной сработки водохранилища. Наоборот, условия покрытия потребностей в воде существенно облегчаются при заполненном к началу лимитирующего периода водохранилище. При многолетнем регулировании стока условия покрытия потребностей в воде по одному, отдельно взятому году не показательны, независимо от его водности. Такая характеристика должна даваться с учетом группировок лет различной водности. Поэтому при многолетнем регулировании стока расчеты выполняются по длительным календарным рядам (наблюденным или моделированным). Актуальность использования моделированных рядов длительностью в сотни и даже тысячи лет растет с увеличением глубины регулирования стока.

Обычно для предварительных расчетов можно использовать сравнительно короткие стоковые ряды длительностью в несколько десятилетий, или же прибегать к так называемым обобщенным методам расчета, опирающимся на стохастические модели колебания составляющих водного баланса.

4.1.11. Основными исходными данными для водохозяйственных расчетов по календарным стоковым рядам являются:

- календарная последовательность средних за расчетные интервалы времени естественных или зарегулированных вышележащими водохранилищами расходов воды за весь период наблюдений или за его часть. Если производится регулирование стока каскадом водохранилищ: то дополнительно требуются ряды боковой приточности;

- морфометрическая характеристика водохранилища в виде зависимости статических площадей зеркала и объемов от уровней воды $F=f(Z)$ и $V=f(Z)$ или динамических объемов от уровней и расходов воды $V=f(Q,Z)$;

- характеристика безвозвратного водопотребления выше створа гидроузла (на современном уровне и в перспективе), допустимый

диапазон колебаний расходов и уровней воды выше и ниже створа проектируемого гидроузла, другие затраты и потери стока для тех же интервалов времени;

- приток к створу водозабора или естественный сток в створе водозаборного гидроузла; подробно характеристики стока реки, используемые в водохозяйственных расчетах, рассматриваются в разделе 2.

При расчетах по календарным стоковым рядам выполнение водохозяйственных расчетов заключается в последовательном решении уравнения водного баланса в каждый расчетный интервал времени Δt, продолжительность которого выбирается в зависимости от требуемой точности расчетов, интенсивности изменения притока, состава располагаемой гидрологической информации и графика водопотребления АЭС.

Точность расчетов по установлению связи между емкостью водохранилища, гарантированной водоотдачей и ее обеспеченностью при расчетах по календарным рядам зависит от того, какой из указанных параметров является искомым. В процессе проектирования закрепленными могут быть емкость водохранилища и обеспеченность отдачи, либо отдача и ее обеспеченность. В процессе эксплуатации водохранилища, когда емкость создана, а отдача задана,- погрешность в результатах расчета приведет к отклонению обеспеченности отдачи от гарантированного значения. В отличие от обобщенного метода, расчет по календарным стоковым рядам позволяет получить решение не во всех случаях. Предельная обеспеченность отдачи Рпр., для которой еще возможно решение, отвечает одному опорожнению водохранилища при отсутствии перебойных лет. Эта предельная обеспеченность отдачи зависит от того, какие показатели заданы. При закрепленной емкости водохранилища

$$P_{\text{п р}} = \left(1 - \frac{0{,}5 + \beta}{n}\right) \cdot 100\% \ ;$$

при закрепленной отдаче

$$P_{\text{п р}} = \left[1 - \frac{0{,}2}{n}\left(1 - 2\frac{Cv}{1-\alpha}\right)\right] \cdot 100\% \ .$$

В этих выражениях: n - число лет в ряду, $\alpha = \frac{A}{\overline{V}}$ - отношение гарантированной отдачи к норме стока, $\beta = \frac{W}{\overline{V}}$ - отношение многолетней составляющей емкости водохранилища к норме стока, Cv - коэффициент вариации годового стока.

4.1.12. При расчетах многолетнего регулирования стока по наблюденным стоковым рядам результаты могут оказаться нерепрезентативными вследствие ряда причин: нехарактерное чередование маловодных и многоводных лет в коротком ряду, существенное отклонение коэффициента автокорреляции между стоком последовательных лет от истинного и др. Для уменьшения влияния этих погрешностей на результаты расчета рекомендуется выполнять их так называемыми обобщенными методами, опирающимися на стохастическую модель колебания годового стока [2].

Расчеты по длительным моделированным рядам составляющих водного баланса выполняются в двух вариантах:

а) прежде всего нужно установить характер покрытия потребностей в воде в стационарных условиях климата, водозабора, речного притока; при этом устанавливаются частота, глубина перебоев в подаче воды, тенденции в группировании перебойных лет; нарушение экологических условий, связанных с длительностью неблагоприятного гидрологического режима, и т.п. Расчеты выполняются по длительным стационарным рядам составляющих водного баланса; необходимая длительность рядов растет с глубиной регулирования стока, ростом его автокоррелированности. Признаком достаточной длительности ряда может служить устойчивость результатов расчета по разным реализациям исходных рядов;

б) во многих случаях оказывается недопустимым пренебрегать нестационарностью речного притока к водохранилищу, изменением водопотребления и других составляющих баланса. В такого рода случаях расчеты выполняются по множеству коротких реализаций режима, в течение которых можно предвидеть изменчивость исходных данных. Расчет выполняется для коротких периодов времени, в пределах каждого из которых происходит заданное изменение во времени того или иного из исходных данных. Совокупность результатов подвергается стандартной статистической обработке;

при этом мощность ансамбля (число коротких рядов) назначается, исходя из получения устойчивых результатов расчета.

4.2. Проектные требования к эксплуатации и управлению режимом водных объектов, используемых для технического водоснабжения АЭС.

4.2.1 Правила управления поверхностными водными ресурсами с помощью водохранилищ включают два раздела:

- в первом регламентируется долгосрочный (сезонный, годовой или многолетний) режим;

-во втором - краткосрочный (недельный и суточный).

При проведении водохозяйственных расчетов по календарным стоковым рядам рекомендуется использовать правила долгосрочного регулирования стока водохранилищами в виде диспетчерских графиков. На этих графиках по оси ординат откладываются объемы водохранилища или соответствующие им уровни верхнего бъефа, а по оси абсцисс - время года (месяцы и декады). Координатное поле диспетчерского графика разделено на несколько зон, каждой из которых соответствует определенный режим работы водохранилища. Для водохранилищ, предназначенных для целей водоснабжения АЭС, это зоны гарантированной и сниженной водоотдачи на величину ограничения санитарно-экологических попусков или числа отключаемых блоков АЭС.

4.2.2. Необходимость диспетчеризации определяется тем, что в реальных условиях эксплуатации ни одна водохозяйственная система не работает с постоянной, "жестко" заданной отдачей. В крайне маловодные годы (за пределами расчетной обеспеченности) неизбежно уменьшение отдачи и соответствующее ограничение водопотребления. В условиях многоводных лет возникает задача рационального использования избытков стока. В связи со сказанным основными задачами диспетчерских графиков являются поддержание гарантированной отдачи и смягчение перебоев водоподачи в крайне маловодных условиях; сокращение холостых сбросов в многоводных условиях.

4.2.3. Диспетчерский график обеспечивает нормативную надежность гарантированной водоотдачи, постепенное ее уменьшение в крайне маловодных условиях, в годы, выходящие за пределы нормативной надежности, и является строго индивидуальным для каждого объекта. Пример диспетчерского графика водохранилища, предназначенного преимущественно для водоснабжения, приведен на рис.2. Построение диспетчерского графика представляет собой часть общей задачи по технико-экономическому обоснованию параметров гидроузла.

4.2.4. Построение правил управления работой водохранилища разделяется на два этапа. Первый - выбор основных параметров системы водоснабжения. В качестве таких параметров принимаются наполнения водохранилища, характеризующие положение противоперебойной линии в переломные моменты гидрологического цикла: в конце межени и в конце половодья. Второй этап - построение диспетчерских правил в промежутках между точками, закрепленными в результате выбора основных параметров плана регулирования.

Основным нормативным положением при выборе параметров диспетчерского графика является принцип наибольшей гарантии, сводящийся к следующим основным требованиям.

а).К концу половодья - началу межени повышение отдачи сверх гарантированного минимума должно допускаться лишь при доверху наполненном водохранилище и избыточном стоке реки. Таким образом, в момент конца половодья - начала межени противоперебойная линия диспетчерского графика совмещается с наполненным водохранилищем.

б).К концу межени сработка водохранилища (сверх необходимой для поддержания гарантированного минимума отдачи) должна допускаться лишь в той мере, в какой опорожненная доля емкости восстанавливается даже самым маловодным половодьем (при поддержании на протяжении половодья гарантированной отдачи).

4.2.5. Рекомендуется использовать два метода построения диспетчерских графиков.

При применении первого метода производится подробный предварительный анализ исходной гидрологической информации, в результате чего отбираются наиболее неблагоприятные модели

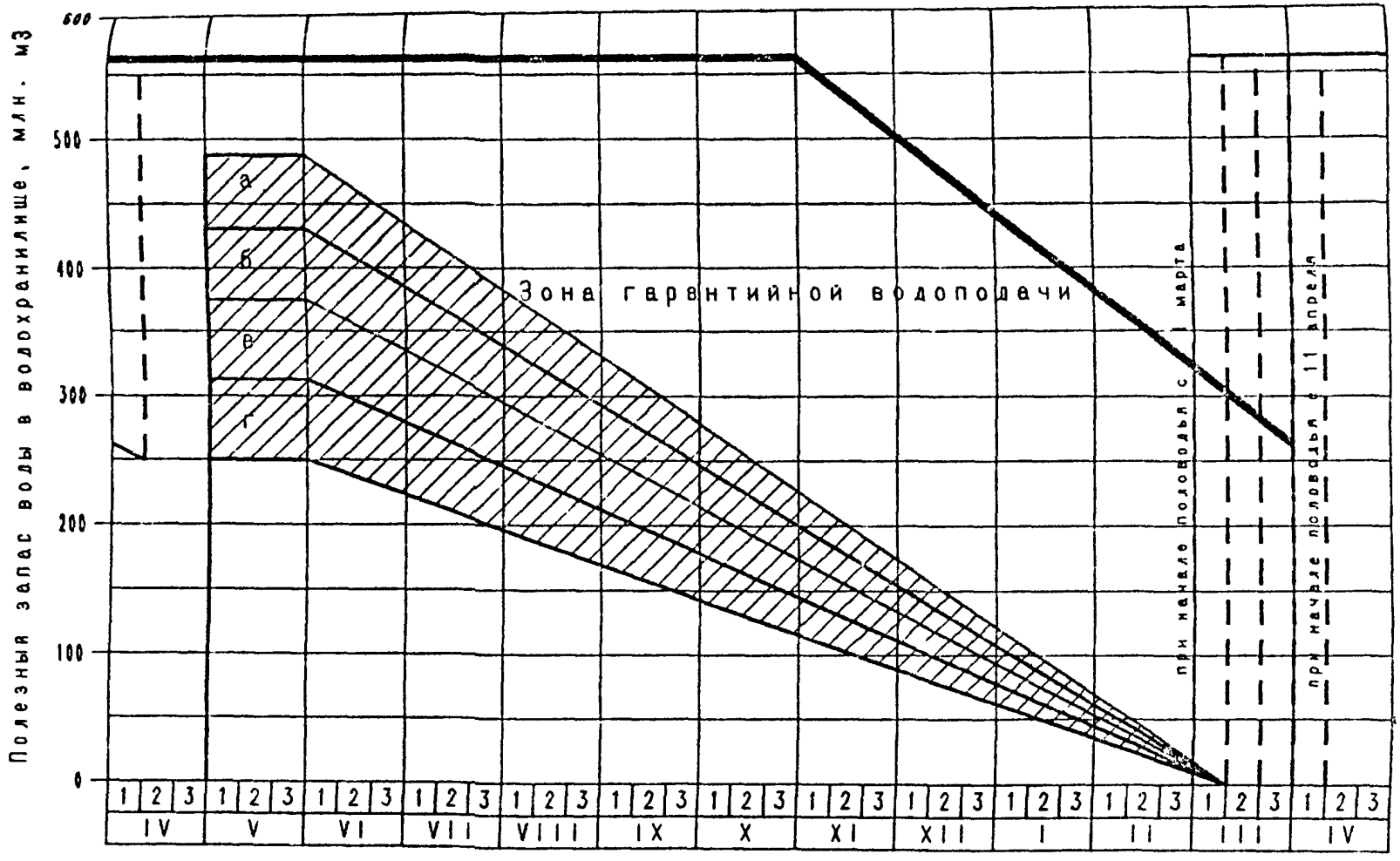


Рис.2. Диспетчерский график работы водохранилища-источника водоснабжения АЭС

- Зона урезанной водоподачи:

а - Q=0.9 Qгар. в - Q=0.7 Qгар.

б - Q=0.8 Qгар. г - Q=0.6 Qгар.

- Линия наибольшего допустимого запаса воды (действительна до начала весеннего половодья)

- Граничные линии зоны гарантийной водоподачи в период половодья

внутригодового распределения стока (не менее 5-6). Затем объемы стока этих лет приводятся:

- для межени - к расчетной обеспеченности водоотдачи P,%;
- для половодья - к обеспеченности, равной 100-P.

После отбора модели стока выполняются водохозяйственные расчеты, в результате которых строится огибающая хода уровней воды в водохранилище, являющаяся противоперебойной линией. Высотное положение этой линии подбирается таким образом, чтобы обеспечить максимальную надежность гарантированной водоотдачи или максимальную гарантированную водоотдачу при заданной надежности (обеспеченности).

При втором методе очертания определяющих режим линий определяются подбором, задаваясь различными их вариантами по результатам водохозяйственных расчетов. В качестве первого приближения все диспетчерские линии могут быть прямыми, а противоперебойная - совмещенной с УМО. Обычно 5-6 итераций бывает достаточно для получения диспетчерского графика, удовлетворяющего принятым нормативам надежности.

Во избежание резких снижений гарантированной водоотдачи и ее четкой регламентации в крайне маловодные годы, вся перебойная зона разделяется на подзоны, в которых гарантированная водоотдача меньше нормальной на 10, 20, 30 или более процентов. Очертания линий, ограничивающих зоны пониженной или урезанной водоотдачии, их высотное положение, определяются аналогично вышеуказанному.

Методы построения диспетчерских графиков описаны в специальной литературе [29,30].

4.2.6. Диспетчерские графики позволяют успешно управлять использованием водных ресурсов водохранилищ одноцелевого назначения.При комплексном использовании водных ресурсов диспетчерские графики дополняются сводом правил, регламентирующих приоритеты использования водных ресурсов различными потребителями.

Очертания всех линий диспетчерского графика, построенные как первым, так и вторым методом, могут уточняться после проведения водохозяйственных расчетов по многолетнему ряду.

4.2.7. Порядок использования диспетчерских графиков:

-на поле диспетчерского графика наносится отметка воды в водохранилище на начало расчетного интервала времени и определяется зона, в которой будет работать гидроузел в этот интервал времени;

-назначаются средние за интервал отбор воды из верхнего бъефа и расход воды в нижнем бъефе гидроузла;

-определяется отметка воды в водохранилище на конец расчетного интервала;

-проверяется, в какой зоне диспетчерского графика оказывается вычисленная отметка воды; если зона диспетчерского графика по сравнению с первоначальной не изменяется, то расчет для данного периода заканчивается; если изменяется, то уточняется первоначально заданное значение отбора воды из верхнего бъефа и расход воды в нижнем бъефе гидроузла;

-повторяется расчет для средних за интервал величин отбора воды из верхнего бъефа и расхода воды в нижнем бъефе гидроузла, принятых для другой зоны.Если и при этом водоотдача не соответствует зоне диспетчерского графика, то конечный уровень воды в водохранилище в данном интервале назначается равным отметке на границе зон и вычисляется промежуточное значение средних за расчетный интервал отборов воды из верхнего бъефа и расходов в нижнем бъефе гидроузла.

4.3.Характеристика надежности водоподачи из поверхностного источника

Надежность (или расчетная обеспеченность) нормальной или гарантированной водоподачи для водоснабжения АЭС из реки, водохранилища, озера исчисляется на основании водохозяйственных расчетов по многолетнему ряду в процентах или долях единицы. Она должна характеризоваться следующими показателями расчетной обеспеченности:

- числом бесперебойных лет - Рл;

- продолжительностью или долей времени бесперебойных периодов водоподачи, например, месяцев, декад, суток-Рп;

- объемом воды, поданным для водоснабжения АЭС-Ро;

- регулярностью работы в нормальном режиме-Рр; этот показатель при проектировании используется редко;

- максимальной глубиной перебоя, т.е. отношением минимальной водоподачи к нормальной-Рг.

Обеспеченность по числу бесперебойных лет и продолжительности бесперебойных периодов рекомендуется определять по формуле:

$$Рл = \frac{m}{n+1}, \qquad (4.1)$$

где m - число бесперебойных лет или периодов;

n - общее число членов расчетного ряда лет, месяцев, декад или суток.

Обеспеченность по объему воды, поданной для водоснабжения АЭС, рекомендуется определять по формуле:

$$Ро = \frac{Wгар-\Delta d}{Wгар} \qquad (4.2)$$

где Wгар - гарантированная водоподача источника водоснабжения АЭС (см.4.1.4);

Δd - средний многолетний дефицит водоподачи.

Обеспеченность регулярности работы в нормальном режиме рекомендуется определять по формуле :

$$Рр = \frac{n'-m'}{n'+1}, \qquad (4.3)$$

где m' - число случаев нарушения регулярности;

n' - число рассмотренных случаев.

Все показатели обеспеченности тесно связаны между собой, но функциональной зависимости между ними нет. Очевидно лишь, что Рл<Рп<Ро. Каждый показатель обеспеченности характеризует разные свойства водоподачи для водоснабжения АЭС. Пример соотношения основных показателей расчетной обеспеченности нормальной или гарантированной водоподачи системы водохранилищ,

предназначенных для водоснабжения, в том числе и АЭС, приведем в табл.4.1.

Таблица 4.1

Показатель	Значение показателя			
Обеспеченность,%				
- по числу бесперебойных лет	98.3	96.6	93.1	87.9
- по продолжительности в месяцах	99.9	98.2	97.4	95.6
- по объему воды, поданной для водоснабжения	99.9	99.8	99.5	99.0
Максимальное снижение нормальной водоподачи,%	≈0	30	30	30

4.3.1. Расчетную обеспеченность гарантированной водоподачи для водоснабжения АЭС из поверхностных источников рекомендуется принимать не менее:

- число бесперебойных лет Рл=95-97%;
- продолжительность бесперебойных периодов Рп=98%;
- объем недоданной воды Ро=99%.

Изменение указанных нормативов допускается только на основании специальных технико-экономических расчетов.

Характеристика нормативных рекомендаций по показателям расчетной обеспеченности, связанным с водоснабжением и санитарными попусками, используемыми в России, приведена в приложении 14.

При использовании поверхностного водоисточника для нужд нескольких водопользователей водоснабжение АЭС наряду с питьевым, санпопусками, частично - экологическими, должно иметь первостепенный приоритет, т.е. при дефиците водных ресурсов снижение водоподачи указанным пользователям должно осуществляться в последнюю очередь.

4.3.2. При проектировании на реках гидротехнических сооружений, предназначенных для водоподачи на АЭС, а также при размещении АЭС на речных террасах или на коренном берегу речной долины, вероятность превышения (обеспеченность) расчетных

максимальных расходов и уровней воды рекомендуется принимать равной 0.01%.

При сейсмичности района размещения АЭС 8 и 9 баллов надлежит предусматривать использование не менее двух источников водоснабжения; допускается использование одного поверхностного источника с устройством водозабора в двух створах.

При определении минимальных расходов воды в реке ниже створа водозабора для АЭС рекомендуется проведение специальных расчетов по определению обязательного режима расходов и уровней воды в реке ниже водозабора.

4.3.3. Применительно к АЭС различают два вида потерь воды на дополнительное испарение[14, 15]:

- с водной поверхности по сравнению с испарением с суши, которое следует определять по нормам для расчета водохранилищ;

- за счет повышения температуры воды в водохранилище при сбросе в него подогретых вод с АЭС (раздел 2).

Расходы воды на водоснабжение АЭС определяются на основании технологических данных.

Часть технологических потерь, а именно в брызгальных бассейнах, градирнях и оросительных теплообменных аппаратах вследствие уноса ветром капельно-жидкой влаги, - потерь воды Р2, принимается по данным табл.4.2.

Таблица 4.2.

Охладитель	Потери воды P2 вследствие уноса ветром, % расхода охлаждаемой воды
Вентиляторные градирни с водоуловительными устройствами:	
- при отсутствии в оборотной воде токсичных веществ	0.1-0.2
- при наличии токсичных веществ	0.05
Башенные градирни без водоуловительных устройств и оросительные теплообменные аппараты	0.5-1.0
Башенные градирни с водоуловительными устройствами	0.01-0.05
Открытые и брызгальные градирни	1.0-1.5
Брызгальные бассейны производительностью, м3/ч	
- до 500	2-3
- свыше 500 до 5000	1.5-2.0
- свыше 5000	0.75-1.00

Примечание. Меньшие значения потерь надлежит принимать для охладителей большей производительности, а также для расчетов обработки охлажденной воды в целях предотвращения карбонатных отложений.

С целью снижения температуры, повышения качества забираемой воды и защиты рыбной молоди следует рассматривать целесообразность устройства глубинных водозаборов. Сбросы воды из нижних слоев водохранилища и подача воды из других водотоков уменьшают концентрацию солей.

4.4. Проектные требования к источникам системы технического водоснабжения ответственных потребителей АЭС

Система охлаждения ответственных потребителей АЭС предназначена для отвода тепла от теплообменников системы охлаждения воды бассейна выдержки, конденсаторов кондиционеров систем вентиляции реакторного отделения и дизель-генераторов системы аварийного электроснабжения (САЭ) в режимах нормальной

эксплуатации и в аварийных ситуациях, включая режимы обесточивания и сейсмических воздействий.

Система относится к обеспечивающим системам безопасности и должна отвечать следующим требованиям:

- выполнять свои функции в любой аварийной ситуации, включая полное обесточивание АЭС и сейсмические воздействия;

- допускать контроль и испытание в любых режимах нормальной эксплуатации без нарушения заданных функциональных свойств;

- иметь возможность вывода одного из каналов в ремонт при любом режиме нормальной эксплуатации на период, определяемый проектом, но не более, чем на 48-72 часа.

Перерывы в подаче охлаждающей воды в системе не допускаются. Систему следует проектировать независимой от других систем охлаждения. Оборудование и сооружения системы относятся к первой категории сейсмостойкости, а электродвигатели подключаются к секциям надежного питания второй категории САЭ.

В летнее время система должна обеспечивать температуру воды, подаваемой в реакторное отделение, не выше +33 град.С, в зимний период - нижний предел температуры воды + 5град.С.

Система должна состоять из двух независимых, физически разделенных каналов охлаждения.Производительность каждого канала должна составлять 100% от потребного расхода. Расход охлаждающей воды каждого канала следует принимать равным сумме требуемых расходов охлаждающей воды на теплообменники, обеспечивающие безопасность блока АЭС в аварийных ситуациях.

Расчетные температуры охлаждающей воды следует определять при средних метеорологических условиях за наиболее жаркую и холодную пятидневки повторяемостью один раз в 10 лет (10%-обеспеченности) с учетом теплоаккумулирующей способности системы.

В районах с жарким летним периодом необходимо выполнять анализ изменения температур воздуха в течение суток с расчетом охладителей на дневные температуры воздуха.

Система охлаждения ответственных потребителей выполняется по оборотной схеме. В качестве водоохладителей, как правило, применяются брызгальные бассейны. Применение других типов охладителей (водохранилище-охладитель, градирня, море и др.) должно быть обосновано с учетом указанных ниже

дополнительных требований, предъявляемых к системам, обеспечивающим безопасность АЭС.

Здания и сооружения, входящие в систему охлаждения ответственных потребителей по условиям ответственности за радиационную и ядерную безопасность, согласно ПиН АЭ-5,6, относятся к I категории безопасности, поскольку разрушение или повреждение их приведет к отказу в работе систем безопасности. Согласно ПНАЭ Г-5-006-87 они относятся к I категории сейсмостойкости.

Все здания и сооружения этой системы - водоохладители, циркуляционные насосные станции, каналы трубопроводов и т.д., проектируются с учетом всех расчетных нагрузок по соответствующим СНиП, с учетом дополнительных требований Норм ПиН АЭ-5,6 и ПНАЭ Г-5-006-87.

Все дебалансные воды АЭС, направляемые в систему ответственных потребителей, должны подвергаться радиационному контролю, а также должен быть обеспечен контроль за объемом очищенных дебалансных вод и за объемом продувки охладителя технической воды.

Емкость брызгальных бассейнов или других охладителей каждого канала должна определяться, исходя из возможности обеспечения аварийного расхолаживания в жаркий период года 10%-ой обеспеченности при ветре повторяемостью один раз в 10 лет и подачи добавочной воды не менее, чем в течение суток.

Система должна иметь резервную емкость для опорожнения одной секции брызгального бассейна, глубину которого следует назначать с учетом необходимого объема в системе, но не менее 2,5 м.

Конструкция системы должна обеспечивать постоянное заполнение системы водой во всех режимах работы и незамерзание в зимний период при отсутствии отводимого тепла от потребителя.

Брызгальные бассейны или бассейны других водоохладителей системы охлаждения ответственных потребителей следует проектировать водонепроницаемыми с наружной облицовкой толщиной не менее 200 мм и противофильтрационным водонепроницаемым экраном. Протечки через наружную облицовку не должны превышать 0,1 л/час на 1 м^2.

Выше приведенные жесткие требования к элементам системы охлаждения ответственных потребителей технически трудно выполнимы для таких охладителей как водохранилище-охладитель,

градирни, поэтому в реальных проектах, как правило, в качестве охладителя принимается брызгальный бассейн, надежность которого подтверждена эксплуатацией на отечественных и зарубежных АЭС.

5. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ОХЛАДИТЕЛЕЙ СБРОСНЫХ ВОД АЭС

5.1. Общие положения

5.1.1. Оценкой качества воды в водоприемниках подогретых вод АЭС является комплекс измерений и вычислений, позволяющий определить показатели качества воды в водном объекте.

5.1.2. Оценка качества воды является обязательной составной частью любого проектного решения, связанного с использованием поверхностных водных объектов для нужд АЭС.

5.1.3. Результаты расчетов качества воды используются для решения следующих задач:

-определения экологической допустимости технических решений как уже осуществленных, так и проектируемых;

-формулировки технических условий для проектирования водоохранного комплекса АЭС.

5.2. Нормативная база

5.2.1. Прогноз качества воды составляется в соответствии с действующими нормативными документами Российской Федерации [17-22].

5.2.2. Качество воды нормируется по базовым значениям показателей качества воды (БПКВ)/ синонимы: базовые концентрации загрязняющих веществ, базовые концентрации ингредиентов качества воды, нормируемые концентрации загрязняющих веществ, нормируемые значения показателей качества воды/.

5.2.3. Базовая концентрация загрязняющего вещества фиксируется в отдельных пробах воды и оценивается для контрольных точек.

Вероятность непревышения базовой концентрации наблюдаемыми концентрациями составляет 95%;

5.2.4. Контрольные точки назначаются по следующим правилам.

5.2.4.1. Располагаются у поверхности воды.

5.2.4.2. На акваториях существования неперемешавшихся струй сточной воды контрольные точки назначаются на вертикали с максимальной концентрацией сточных вод. Условия струйного

распространения примесей определяются по результатам специального гидродинамического расчета или прямых измерений.

5.2.4.3. При отсутствии струй контрольная вертикаль назначается произвольно.

5.2.4.4. В зависимости от типа водопользования используются два варианта для назначения контрольных вертикалей.

Если АЭС обладает правом особого водопользования, то в качестве контрольного створа используется створ, через который происходит сток из водоема-охладителя. В этом случае водоем-охладитель рассматривается как технологический объект.

При невыполнении этого условия контрольная вертикаль назначается:

- для рыбохозяйственных требований - 1 км от водовыпуска в водоемы и 0.5 км от водовыпуска в водотоки вниз по течению;

- для культурно-бытовых и хозяйственно-питьевых требований - 1 км до ближайшего пункта водопользования.

Однако в каждом конкретном случае контрольная вертикаль назначается с учетом определения допустимого уровня техногенной нагрузки, в зависимости от категории охладителей (1 или 2), с разделением на зоны по степени воздействия.

5.2.5. Если фоновая концентрация поступающей в водоем природной воды ниже ПДК (предельно опустимой концентрации), то базовая концентрация не должна превышать ПДК. Фоновая концентрация - содержание в природной воде загрязняющего вещества, наблюдавшееся выше водовыпуска сточных вод и до создания водохранилища-охладителя. Фоновые концентрации определяются по тем же правилам, что и базовые концентрации.

Если фоновая концентрация выше ПДК, то для экологически приемлемых объектов базовая концентрация не должна превышать фоновую.

Таблицы ПДК содержатся в общегосударственных нормативных документах.

5.2.6. При создании водохранилища-охладителя комплексного назначения к качеству воды в нем предъявляется дополнительное требование: базовые концентрации должны удовлетворять рекреационным нормативам, что соответствует умеренному уровню загрязнения.

5.3. Определение списка ингредиентов качества воды

5.3.1. Список ингредиентов формируется из перечня обязательных показателей и перечня дополнительных показателей.

5.3.2. Перечень показателей качества воды, обязательных для учета в прогнозе:

- аммонийный азот;
- нитритный азот;
- БПК;
- ХПК;
- температура воды;
- нефтепродукты;
- железо общее;
- минерализация воды;
- взвешенные вещества;
- фосфаты .

5.3.3. Перечень дополнительных показателей включает ингредиенты качества воды, фоновые концентрации которых превышают установленные нормативы. Нормативы качества воды зависят от категории водопользования. Категория водопользования устанавливается территориальной организацией Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов России.

5.3.4. Фоновые концентрации загрязняющих веществ определяются по материалам наблюдений. Строится эмпирическая функция распределения вероятности концентраций с доверительным интервалом 90% уровня доверия. По указанной функции находится доверительный интервал фоновой концентрации.

Обработка результатов наблюдений проводится для статистически однородных периодов как во внутригодовом, так и в многолетнем аспекте. Статистическая однородность проверяется визуально по хронологическому графику концентраций.

Все вычисления можно осуществлять при помощи специальной программы статистической обработки гидрохимической информации BACON.

5.4. Учет вероятностных характеристик при расчетах качества воды

5.4.1. Все расчетные параметры и результаты оцениваются в виде доверительных интервалов 90% уровня доверия, что соответствует границам доверительных интервалов 5% и 95% обеспеченности.

5.4.2. Расчеты выполняются для условий трех характерных месяцев: февраля, апреля, июля.

5.4.3. В расчетах используется 5 видов параметров:

1) Фоновые показатели качества воды;

2) Метеорологические параметры: скорость ветра, температура воздуха, влажность воздуха, облачность.

3) Гидрологические параметры:

-для рек: расход воды в реке, уклон водной поверхности, шероховатость дна, распределение глубин по ширине реки, распределение средних скоростей течения по ширине реки;

-для водоемов: отметка уровня воды, карта рельефа дна, составляющие водного баланса.

Примечание: метеорологические и гидрологические параметры используются в рамках гидродинамического и гидротермического расчетов.

4) Объемы загрязняющих веществ, поступающие с водосборной площади водного объекта охладителя и сбросом подогретых вод АЭС.

5) Кинетические параметры, характеризующие скорость самоочищения и другие биохимические и физико-химические процессы, происходящие в водном объекте.

Для параметров первого и второго вида доверительные интервалы определяются путем статистической обработки результатов измерений. Гидрологические параметры вычисляются методами, изложенными в [2,3,4]. Объемы сбрасываемых загрязняющих веществ оцениваются по вычисленным средним многолетним величинам или по проектным данным. Кинетические параметры определяются по таблицам приложения 13.

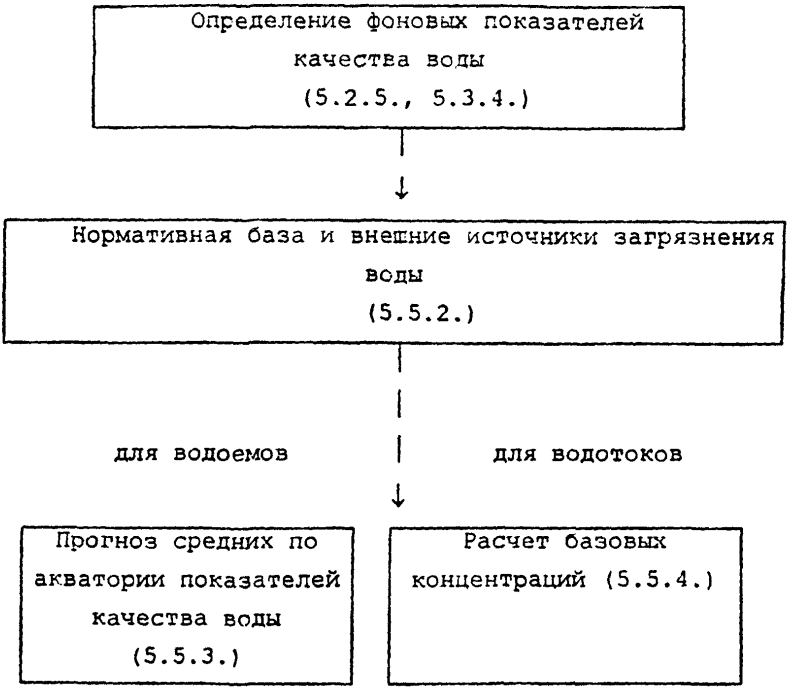
5.5. Методика вычислений нормируемых концентраций загрязняющих веществ

5.5.1. Общая последовательность операций

Последовательность операций для вычисления нормируемых (базовых) концентраций загрязняющих веществ приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Оценке качества воды



Определение фоновых концентраций изложено в п.п.5.2.5. и 5.3.4.

5.5.2. Нормативная база и внешние прогнозные источники загрязнения воды

Во внешние прогнозные источники загрязнения воды включаются все виды сбросов загрязняющих веществ, возникающие при создании АЭС.

В этих источниках состав сточных вод оценивается для всего списка прогнозируемых ингредиентов (подраздел 5.3.). Результатом

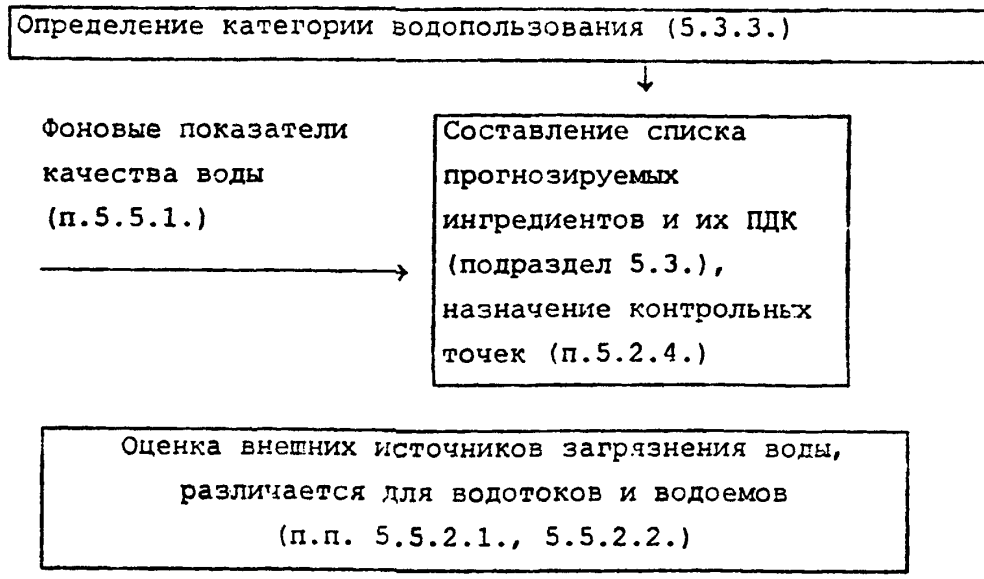
оценки являются показатели качества воды и расходы сбрасываемых стоков или интенсивность поверхностного поступления загрязняющих веществ.

При расчетах сброса загрязняющих веществ все метеорологические и гидрологические параметры характеризуются средними многолетними значениями.

Последовательность операций для определения нормативной базы и внешних источников загрязняющих веществ приведена в таблице 5.2.

Таблица 5.2.

Определение нормативной базы и внешних источников загрязняющих веществ



5.5.2.1. Оценка внешних источников загрязнения воды для водотоков

Учитываются только загрязняющие вещества, поступающие с промплощадки АЭС:

- сброс воды из системы охлаждения;
- поверхностный сток с территории АЭС (для апреля и июля).

Параметры промышленных сточных вод заимствуются из проекта АЭС.

5.5.2.2. Оценка внешних источников загрязняющих веществ для водоемов

Осуществляется с различной детализацией в зависимости от того, строится АЭС на существующем водоеме или создается новое водохранилище-охладитель. Если водоем уже существует, то к списку, изложенному в подпункте 5.5.2.1, добавляется один источник загрязняющих веществ - выпадение атмосферных выбросов АЭС на акваторию водоема [23].

Если строится новое водохранилище, то внешние источники загрязняющих веществ оцениваются по полному списку.

а) Источники, существующие для всех водоемов:

-источники, уже перечисленные в подпунктах 5.5.2.1, 5.5.2.2;

-диффузия из затапливаемых грунта и растительных остатков [24].;

-переработка берегов;

-процессы метаболизма зарослей макрофитов [25].;

-эрозионный вынос с собственной водосборной территории водохранилища, считается раздельно для пашни, лугов и лесных угодий;

-поверхностный сток с территорий животноводческих объектов, расположенных на собственной водосборной площади водохранилища;

-поверхностный сток с территорий населенных пунктов и промышленных площадок, расположенных на собственной водосборной площади водохранилища, помимо АЭС;

-фоновые атмосферные выпадения на акваторию создаваемого водохранилища.

б) Источники, существование которых зависит от состава хозяйственной деятельности:

-сосредоточенный сброс промышленных, коммунально-бытовых и навозосодержащих сточных вод в водохранилище;

-крупнотоннажное судоходство по водохранилищу [26];

-маломерный моторный флот на водохранилище;

-сброс в водохранилище коллекторно-дренажных вод.

5.5.3. Прогноз средних по акватории показателей качества воды

5.5.3.1. Прогноз средних по акватории показателей качества воды осуществляется только для водоемов.

5.5.3.2. Расчеты проводятся в два этапа. На первом этапе составляется гидротермический прогноз водоема-охладителя. На втором этапе вычисляются концентрации загрязняющих веществ.

5.5.3.3. Результатами гидротермического прогноза водоема-охладителя являются:

-значения температуры поверхности воды;

-указание на наличие или отсутствие плотностной, в основном термической, стратификации.

При наличии стратификации дополнительно определяются следующие параметры:

-глубина слоя скачка (металимниона);

-температура воды в гиполимнионе (у дна);

-максимальное значение градиента плотности в металимнионе.

5.5.3.4. Прогноз концентраций загрязняющих веществ осуществляется в 3 этапа.

На первом этапе водоем разбивается на сегменты, между которыми оценивается водообмен (приложение 13, п..3). Сегменты определяются таким образом, чтобы внутри каждого из них качество воды было одинаковым.

На втором этапе определяются параметры прогностической модели (приложение 13, п.6).

На третьем этапе в каждом сегменте вычисляются концентрации загрязняющих веществ (приложение 13, п.4).

5.5.3.5. Прогноз средних по акватории температуры воды и концентраций загрязняющих веществ составляется для верхнего и нижнего пределов доверительного интервала (подраздел 5.4).

5.5.4. Расчет базовых концентраций и интерпретация результатов

5.5.4.1. Базовые концентрации оцениваются в два этапа.

Первый этап, подготовительный, включает в себя гидродинамический прогноз и определение параметров основной расчетной зависимости.

На втором этапе оцениваются собственно базовые показатели качества воды и формулируются выводы об экологической допустимости АЭС.

5.5.4.2. Гидродинамический прогноз представляет собой расчет распространения подогретой струи сточной воды АЭС. Граничными условиями являются значения параметров, определенные для верхнего и нижнего пределов доверительного интервала базовых концентраций (п.5.5.4.4 и 5.5.4.5).

В результате гидродинамического прогноза для каждого сезона получаются два значения относительной концентрации сточной воды в контрольной точке. Значения относительной концентрации соответствуют верхнему и нижнему пределам базовых концентраций.

Для расчета распространения подогретой струи в водоеме обязателен учет термической стратификации.

5.5.4.3. Варианты параметров основной расчетной зависимости соответствуют верхним и нижним пределам базовых показателей качества воды.

5.5.4.4. Для оценки базовых показателей качества воды основными расчетными зависимостями являются формулы (5.1) и (5.2).

$$C = \gamma C_c + (1 - \gamma) C_o, \qquad (5.1)$$

где

C - базовая концентрация загрязняющего вещества;

C_c - концентрация загрязняющего вещества в сбрасываемой сточной воде АЭС;

C_o - фоновая концентрация загрязняющего вещества или, для строящихся водохранилищ-охладителей, прогнозная средняя по акватории концентрация загрязняющего вещества;

γ - относительная концентрация (в отношении к базовой концетрации) сточной воды АЭС в контрольной точке, доли единицы.

$$t = \gamma \alpha t_c + (1 - \gamma) t_o, \qquad (5.2)$$

где t - базовое значение температуры воды;

t_c - температура сбрасываемой сточной воды АЭС;

t_o - фоновая температура воды или, для строящихся водохранилищ-охладителей, прогнозная средняя по акватории температура воды;

γ - относительная концентрация сточной воды АЭС в контрольной точке, доли единицы;

α - понижающий коэффициент к температуре сбрасываемой воды, доли единицы. Учитывает охлаждение воды при ее движении от створа сброса до контрольной точки. Определяется в рамках гидротермического прогноза.

В общем случае параметр α зависит от t_c и t_o.

5.5.4.5. Вычисление базовых показателей качества воды (БПКВ) производится в следующем порядке:

-определение верхнего предела БПКВ. Если результаты расчетов показывают, что все верхние пределы БПКВ ниже соответствующих ПДК, то можно сделать вывод о том, что в части качества воды экологическая допустимость АЭС доказана и дальнейшие расчеты можно не производить;

-определение нижнего предела БПКВ. Осуществляется в тех случаях, когда хотя бы один верхний предел БПКВ выше ПДК. Если хоть один нижний предел БПКВ выше ПДК, то можно сделать вывод о том, что в части качества воды доказана экологическая неприемлемость данного варианта АЭС. В этом случае следует ставить вопрос о необходимости дополнительных водоохранных мероприятий на АЭС .

Могут быть случаи, когда ни первый, ни второй варианты не дают ответа о приемлемости АЭС. Это имеет место, когда часть верхних пределов БПКВ выше ПДК, но ни один нижний предел БПКВ не превышает ПДК. Причинами такого результата могут быть два фактора:

- недостаточное количество измерений исходных параметров;

- попадание БПКВ в "пограничную зону", обусловленную высокой природной вариацией гидрометеорологических и гидрохимических параметров.

Соответственно, действия могут быть двух вариантов:

- организация дополнительных измерений для уточнения исходных параметров (в случае доминирования первого фактора);

- стохастическое моделирование БПКВ (в случае доминирования второго фактора).

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Блохинов Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока М., Наука, 1974,196 с.
2. Раткович Д.Я. Гидрологические основы водообеспечения ИВП РАН, 1993, 428 с.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеоиздат, 1984, 448 с.
4. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83, М., Стройиздат, 1985, 36 с.
5. Резниковский А.Ш. и др. Гидрологические основы гидроэнергетики. М., Энергия, 1979, 232 с.
6. Болгов М.В. Моделирование многомерных гидрологических характеристик методом разложения по естественным ортогональным функциям. Метеорология и гидрология, N 7, 1994, с. 82-96.
7. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. Л., Гидрометеоиздат, 1977, 296 с.
8. Минкин Е.Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических водохозяйственных задач. М., Стройиздат, 1973, 103 с.
9. Указания по расчету испарения с водной поверхности водоемов. Л., Гидрометеоиздат, 1969.
10. "Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе пункта и площадки АС" / п.4.1. СПППАЭ-87/, М., МАЭ СССР, 1989, 93с.
11. Браславский А.П., Кумарина М.Н., Смирнова М.Е. Тепловое влияние объектов энергетики на окружающую среду., Гидрометеоиздат, 1989, 252 с.
12. Методические указания. Методика расчета предельно допустимых тепловых сбросов в водоемы-охладители атомных электорастанций. РД 52.26-161-88.
13. Методические рекомендации к расчету водохранилищ-охладителей ТЭС. П-33-75, ВНИИГ, Л., Энергия, 1976, 54 с.
14. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ. Л., Гидрометеоиздат, 1983.

15.Указания по расчету испарения с водной поверхности водоемов. Л., Гидрометеоиздат, 1969.

16.Филатова Т.Н. Некоторые вопросы использования гидрологических данных при исследовании факторов, определяющих качество воды. Вопросы комплексного использования водохранилищ. "Наукова думка" Киев, 1971.

17.Правила охраны поверхностных вод при сбросе в них сточных вод. (Типовые положения). Комитет СССР по охране природы. Москва, 1991.

18.Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения (СанПиН № 4630-88). Москва, 1988.

19.Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбоохранных водоемов, 1993г.

20.Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ. СанПин N 3907-85. Минздрав СССР, 1987, 22с.

21.ГОСТ 2761-84 "Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения", 1985.

22.ГОСТ 17.1.5.02-80 "Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов", 1980.

23.Берлянд М.Е. "Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы" 1985.

24.Майрановский Ф.Г. и др. "Исследование процесса вторичного

25.Шашков С.Н. и загрязнения", "Водоснабжение и санитарная техника", № 8, 1994.др. "Оценка влияния макрофитов на качество воды", "Мелиорация и водное хозяйство", 1995.

26.Рекомендации НИСа Гидропроекта "Методика оценки влияния речного флота и маломерных моторных судов на загрязнение водоема нефтепродуктами", 1986.

27.Вавилин. В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках, Наука, М, 1983.

28.Справочное руководство гидрогеолога, 3-е издание переработанное и дополненное. Под ред. В.М.Максимова, 1979.

29.Резниковский А.Ш., Рубинштейн М.И. Диспетчерские правила управления режимами водохранилищ. М., Энергоатомиздат, 1984.

30.Асарин А.Е., Бестужева К.Н. Водно-энергетические расчеты. М., Энергоатомиздат, 1979.

31. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения. Л., Гидрометеоиздат, 1978.
32. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарнюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. Л., Гидрометеоиздат, 1990.
33. Водный кодекс Российской Федерации. Принят Государственной Думой 18.10.95. "Российская газета", 23.11.95.
34. Рекомендации по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям на водохранилищах для строительства. ПНИИС. Москва, Стройиздат, 1986.
35. Рекомендации по расчету длины полыньи в нижних бьефах ГЭС. II 28-86/ВНИИГ. Л., 1986.
36. Рекомендации по прогнозированию местного климата и его влияние на отрасли народного хозяйства в прибрежной зоне водохранилищ. II-850-87. Гидропроект. Москва, 1987.
37. СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. М., 1989.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Состав и методы гидрологических расчетов при обосновании ТЭО и проектов АЭС

Гидрологические расчеты (состав и методы)	Типы водохозяйственных мероприятий	
	регулирующие водохранилища разных типов для технического водоснабжения АЭС или водохранилища комплексного назначения	водоснабжение без водохранилищ
Методы регионального анализа, применяемые для переноса полученной информации на неизученные и слабоизученные участки.	+	
Определение параметров годового стока (анализ репрезентативности рядов годового стока, описание чередования группировок многоводных и маловодных лет, моделирование рядов годового стока).	+	
Определение внутригодового распределения годового стока.	+	+
Кривые продолжительности суточных расходов воды и использования стока.	+	+
Определение параметров кривых распределения вероятностей максимальных расходов воды.	+	
Определение параметров кривых распределения объемов половодно-паводочного стока.	+	
Расчетные гидрографы половодно-паводочного стока.		+
Определение параметров уровенного режима водотоков (расчеты наивысших уровней).	+	+
Определение параметров минимального стока.	+	+
Определение параметров твердого стока.	+	+
Определение гидрохимического режима водотоков.		

Продолжение приложения 1

Гидрологические расчеты (состав и методы)	Типы водохозяйственных мероприятий	
	регулирующие водохранилища разных типов для технического водоснабжения АЭС или водохранилища комплексного назначения	водоснабжение без водохранилищ
Приемы построения и переноса кривых расходов воды.	+	+
Ледотермические расчеты (заторно-зажорные явления, уровни при ледовых явлениях, температурный режим.	+	+
Дополнительные гидрологические расчеты, связанные с устройством водохранилищ		
Потери воды из водохранилищ	+	+
Ветро-волновой режим	+	
Заиление водохранилищ	+	
Расчеты трансформации паводка водохранилищем	+	
Построение кривых подпора	+	

Приложение 2

Групповой анализ материалов наблюдений за стоком гидрологически сходных бассейнов.

1. Материалы наблюдений, имеющиеся по конкретному объекту (гидрометеорологический створ или метеорологическая станция) дают, в силу краткости периода наблюдений, лишь ограниченную информацию для оценки вероятностных характеристик гидрометеорологического режима. Один из возможных подходов - замена увеличения длительности наблюдений по отдельному объекту совместным анализом данных по множеству более или менее однородных объектов.

2. В основе совместного анализа лежат представления о том, что колебания стока по годам подчиняются определенным распределениям вероятностей, что эти распределения существенно не меняются на протяжении периодов, на которые распространяются гидрологические расчеты, и что колебания стока совместно исследуемых бассейнов статистически хотя бы частично независимы.

3. При анализе элементов режима, распределения вероятностей которых на разных объектах не вполне одинаковы, (а это основной случай групповой оценки) требуется приведение характеристик стока к единым условиям его формирования. Приводке подвергаются параметры изучаемых характеристик стока - среднее, коэффициенты вариации и асимметрии или квантили (величины определенных вероятностей превышения).

Простейшие приемы приводки заключаются обычно в переходе от расходов воды к модулям стока и последующей редукции, т.е. использовании зависимостей типа

$$q = \frac{A}{F^m} \qquad (1)$$

где q- модуль стока, F- площадь водосбора, m- числовой параметр, A - характеристика, рассматриваемая как приведенная к единым условиям формирования стока.

4. Гидрологическая характеристика, приведенная к единым условиям формирования (модуль стока с единичной площади, коэффициент асимметрии, коэффициент автокорреляции неозерных рек и т.д.) является случайной величиной, распределение которой в существенной мере определяется объемом независимой информации.

Это распределение носит сложный характер, но, ввиду ограниченности периодов наблюдений, в гидрологических расчетах ограничиваются использованием его двух параметров: среднего значения и среднеквадратического отклонения (рассеяние).

В качестве среднего значения в статистических выводах обычно принимается сама выборочная оценка исследуемого параметра (уже упоминавшийся приведенный модуль, асимметрия и пр.). Эти параметры, характеризующие сток с отдельных бассейнов, содержат неустраненные приводкой различия в условиях его формирования и подчиняются некоторому распределению вероятностей.

Обозначим рассеяние оценок, вызванное изменчивостью во времени через $\varepsilon_{сл}$, а рассеяние, обусловленное не устраненными различиями между водосборами, через $\varepsilon_{геогр}$.

Полное рассеяние оценки $\varepsilon_{полн}$, в силу независимости причин, определяется в виде:

$$\varepsilon^2_{полн} = \varepsilon^2_{сл} + \varepsilon^2_{геогр} \qquad (2)$$

Полная дисперсия находится из наблюдений путем расчета по формуле

$$\varepsilon^2_{полн} = \frac{\sum^{k}(A_i - \bar{A})^2}{k-1} \qquad (3)$$

где i-индекс объекта, k - число совместно анализируемых объектов, A_i - оценка рассматриваемого параметра по i-тому бассейну, A - среднее из оценок по всем бассейнам.

Случайная составляющая рассеяния оценок вычисляется по теоретическим формулам или путем статистических испытаний как осредненная дисперсия оценок этих параметров по отдельным объектам.

Географическая составляющая рассеяния оценивается как разность

$$\varepsilon^2_{геогр} = \varepsilon^2_{полн} - \varepsilon^2_{сл} \qquad (4)$$

Если оценка $\varepsilon_{геогр}$, получаемая по формуле (4), имеет отрицательный знак, то ее принимают равной нулю.

Дисперсия результата совместного расчета равна

$$\varepsilon_{ср}^2 = \frac{\varepsilon_{сл}^2}{k} + \varepsilon_{геогр}^2 \qquad (5)$$

5. Соотношение между случайной и географической составляющими определяет целесообразный состав коллектива объектов, обрабатываемых методом группового оценивания. При увеличении числа совместно анализируемых объектов величина случайной ошибки среднего по ансамблю значения уменьшается. В противоположность этому, географическая составляющая должна увеличиваться за счет вовлечения объектов, расположенных в пределах более обширной географической области, условия формирования стока которых различаются более существенно. Практически приемлемым следует считать состав ансамбля, в котором географическая составляющая не превосходит случайной:

$$\varepsilon_{геогр} \le \varepsilon_{сл} \qquad (6)$$

6. Результатом группового анализа является оценка параметра по совокупности собственных и объединенных наблюдений в виде средневзвешенного по точности каждой из оценок

$$A_{совм} = \frac{A_{инд}.\varepsilon_{ср}^2 + A_{ср}\varepsilon_{инд}^2}{\varepsilon_{инд}^2 + \varepsilon_{сред}^2} \qquad (7)$$

Стандартная ошибка такой оценки рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{совм} = \frac{\varepsilon_{инд}\varepsilon_{ср}}{\sqrt{\varepsilon_{инд}^2 + \varepsilon_{ср}^2}} \qquad (8)$$

7. Порядок выполнения группового анализа (с учетом пространственной скоррелированности данных наблюдений) следующий:

7.1. По каждому объекту ансамбля определяются параметры распределения величин $q_{v,i}$, используемые для совместного анализа и необходимые для вычисления стандартных ошибок параметра А по соответствующим теоретическим формулам [3,4,5,31,32]

7.2. По каждой паре объектов оцениваются коэффициенты $R_{i,j}(X)$ корреляции между величинами X_i и X_j, относящимися к одним и тем же годам.

7.3. По ансамблю объектов, т.е. по выборке величин Ai, оцениваются среднее значение параметра

$$\bar{A} = \frac{\sum_{1}^{k} A_i}{k} \qquad (9)$$

и полная дисперсия $\varepsilon^2_{полн}$ по формуле (3).

7.4. Определяются значения коэффициентов $R_{i,j}(A)$ корреляции между оценками параметра А по теоретическим зависимостям (приложение 7).

7.5. Определяется стандартное отклонение $\varepsilon_{нез}(A)$ оценок параметра А по выборкам объема n, характеризующее рассеяние оценок между независимыми выборками [3,4,5].

7.6. Стандартное отклонение параметра $\varepsilon_{нез.}(A)$, характеризующее независимые выборки, смещается на величину, учитывающую влияние корреляции между объединяемыми объектами

$$\varepsilon_{сл}(A) = \varepsilon_{нез}(A)\sqrt{1 - r_{ср}(A)} \qquad (10)$$

где $r_{ср}(A) = \frac{2}{k(k-1)} \sum_{j<k} r_{i,j}(A)$ - среднее значение коэффициента корреляции между оценками параметра А по всем объектам. Найденное значение случайной составляющей используется для вычисления географической составляющей по формуле (4).

7.7. Если выполняется условие (6), т.е. географическая составляющая рассеяния меньше случайной, то по соотношениям (7)-(8) рассчитываются:

-погрешность результата объединенного расчета;

-средневзвешенная по точности оценка, ее стандартная ошибка.

Приложение 3

Стохастическое моделирование временных рядов

1. Моделирование искусственных рядов составляющих водохозяйственного баланса по схеме простой цепи Маркова с линейной корреляцией между обеспеченностями смежных членов осуществляется с использованием двумерных законов равномерно распределенных случайных величин.

2. При коэффициенте автокорреляции r_0, меньшем по абсолютному значению 0.55, двумерная плотность распределения случайных величин, каждая из которых распределена равномерно в интервале [0,1], записывается в следующем виде:

$$f(p_i,p_{i+1}) = 1 + 3r_0uv + \frac{5}{4}r_0^2(3u^2-1)(3v^2-1) + \frac{7}{4}r_0^3(5u^3-3u)(5v^3-3v) + \frac{9}{64}r_0^4(35u^4-30u^2+3)(35v^4-30v^2+3), \quad (1)$$

где $u = 2p_i - 1; v = 2p_{i+1} - 1$.

При $r_0 < 0.3$ можно ограничиться первыми тремя членами. В таком случае условная функция распределения $F(p_{i+1}/p_i)$ обеспеченности последующего значения p_{i+1} (в долях от единицы) при известной обеспеченности предыдущего члена ряда определяется по формуле

$$F(p_{i+1}/p_i) = p_{i+1} + 3r_0(2p_i - 1)(p_{i+1}^2 - p_i) + 5r_0^2(6p_i^2 - 6p_i + 1)(2p_{i+1}^3 - 3p_{i+1}^2 + p_i) \quad (2)$$

3. Моделирование последовательностей обеспеченностей стока (или других компонент баланса) осуществляется по следующей схеме.

3.1. Задается начальное значение процесса, равное, например, $P_1 = 0.5$.

3.2. Из таблицы равномерно распределенных независимых случайных чисел выбирается произвольное случайное число и принимается в качестве условной функции распределения F(U/v).

3.3 Решается уравнение (2) и находится значение процесса P_{i+1} в последующий момент времени. Решение уравнения (2) возможно с помощью таблиц условных распределений [2].

3.4. Полученное значение обеспеченности принимается в качестве предшествующего значения для следующего шага и пункты (3.2-3.4) повторяются требуемое число раз.

4. С помощью таблиц ординат распределения вероятностей С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля (полученная последовательность

обеспеченностей переводится в последовательность величин с трехпараметрическим распределением.

5. При моделировании случайных последовательностей с трехпараметрическим распределением необходимо использовать соотношения между коэффициентами автокорреляции для обеспеченностей и коэффициентом автокорреляции величин с требуемым распределением (приложение 4). Коэффициент автокорреляции последовательности обеспеченностей определяется по таблице 1 из приложения 4 в зависимости от коэффициента вариации, асимметрии и требуемого значения автокорреляции для последовательности величин с трехпараметрическим распределением.

6. Моделирование искусственных рядов по схеме простой цепи Маркова с линейной корреляцией смежных членов осуществляется с использованием двумерного нормального закона распределения.

Алгоритм моделирования гамма-распределенных последовательностей включает следующие пункты:

6.1. Моделируется последовательность нормально-распределенных величин с коэффициентом автокорреляции r_1, значение которого определяется по таблице 2 из приложения 4 в зависимости от коэффициентов вариации, асимметрии и требуемого коэффициента автокорреляции гамма-распределенных величин.

Если имеется датчик (или таблица) случайных, независимых и нормально-распределенных чисел X_i с нулевым средним и единичной дисперсией, то последовательность нормально распределенных чисел Yi с автокорреляцией пересчитывается по соотношениям:

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1, \qquad i = 1; \\ Y_i &= r_1 Y_{i-1} + \sqrt{1 - r_1^2}\, X_i \qquad i = 2,3,\ldots,n \end{aligned} \tag{3}$$

Величина Y будет распределена нормально с функцией распределения

$$\Phi(Y_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y_i} e^{-t^2/2} dt \tag{4}$$

6.2. Последовательность нормально-распределенных величин по формуле (4), или по таблицам нормального распределения, пересчитывается в последовательность значений функций распределения (или обеспеченностей), имеющих равномерное безусловное распределение.

6.3 Последовательность обеспеченностей с помощью таблиц распределения вероятностей С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля, переводится в последовательность величин с трехпараметрическим гамма-распределением.

Примечание. *Независимые, нормально распределенные числа моделируются с использованием следующего соотношения, вытекающего из центральной предельной теоремы:* $X_i = \sum_{k=1}^{12} \xi_k - 6$, *где* ζ *- равномерно распределенное в интервале [0,1] случайное число. Последовательность величин* ζ *,в свою очередь, либо заимствуется из существующих таблиц, либо моделируется с помощью стандартного математического обеспечения ЭВМ (например, программа RANDU в Фортране).*

Приложение 4

Зависимости между коэффициентами корреляции для гамма-распределенных, равномерно-распределенных и нормально распределенных величин

Таблица 1

Cv_1	Cv_2	Cs=2Cv при Ro, равном 0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	Cs=3Cv при Ro, равном 0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
0.1	0.1	0.10	0.27	0.47	0.68	0.89	0.10	0.27	0.47	0.68	0.89
	0.2	0.10	0.27	0.47	0.68	0.89	0.10	0.27	0.47	0.67	0.89
	0.4	0.10	0.27	0.47	0.67	0.88	0.10	0.26	0.46	0.66	0.88
	0.6	0.10	0.26	0.46	0.65	0.87	0.10	0.25	0.44	0.63	0.85
	0.8	0.10	0.25	0.44	0.65	0.85	0.10	0.23	0.42	0.61	0.82
	1.0	0.10	0.24	0.43	0.61	0.82	0.09	0.22	0.40	0.58	0.79
0.2	0.2	0.10	0.27	0.47	0.68	0.89	0.10	0.27	0.47	0.67	0.89
	0.4	0.10	0.27	0.47	0.67	0.89	0.10	0.26	0.46	0.66	0.88
	0.6	0.10	0.26	0.46	0.66	0.87	0.10	0.25	0.44	0.64	0.86
	0.8	0.10	0.25	0.44	0.64	0.86	0.10	0.23	0.42	0.61	0.83
	1.0	0.10	0.24	0.43	0.62	0.83	0.09	0.22	0.40	0.59	0.81
0.4	0.4	0.10	0.27	0.46	0.67	0.89	0.10	0.26	0.45	0.65	0.88
	0.6	0.10	0.26	0.46	0.66	0.88	0.09	0.24	0.43	0.64	0.87
	0.8	0.10	0.25	0.44	0.65	0.87	0.09	0.23	0.42	0.62	0.85
	1.0	0.10	0.24	0.43	0.63	0.85	0.09	0.22	0.40	0.60	0.83
0.6	0.6	0.10	0.26	0.45	0.65	0.88	0.09	0.24	0.42	0.63	0.87
	0.8	0.10	0.25	0.44	0.64	0.88	0.09	0.23	0.40	0.61	0.86
	1.0	0.09	0.24	0.42	0.63	0.86	0.09	0.21	0.39	0.60	0.84
0.8	0.8	0.09	0.24	0.43	0.64	0.88	0.08	0.22	0.39	0.60	0.85
	1.0	0.09	0.23	0.42	0.63	0.87	0.08	0.21	0.38	0.59	0.84
1.0	1.0	0.09	0.23	0.41	0.62	0.87	0.08	0.20	0.36	0.58	0.83

Таблица 2

Cv_1	Cv_2	Cs=2Cv при Ro, равном 0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	Cs=3Cv при Ro, равном 0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
0.1	0.1	0.10	0.30	0.49	0.70	0.90	0.10	0.30	0.49	0.70	0.90
	0.2	0.10	0.30	0.49	0.69	0.90	0.10	0.30	0.49	0.69	0.90
	0.4	0.10	0.30	0.48	0.69	0.89	0.10	0.30	0.48	0.68	0.88
	0.6	0.10	0.29	0.47	0.67	0.88	0.10	0.29	0.46	0.66	0.86
	0.8	0.10	0.29	0.46	0.66	0.85	0.10	0.28	0.45	0.64	0.83
	1.0	0.10	0.28	0.45	0.64	0.83	0.10	0.27	0.43	0.61	0.80
0.2	0.2	0.10	0.30	0.49	0.69	0.90	0.10	0.30	0.49	0.69	0.90
	0.4	0.10	0.30	0.48	0.69	0.89	0.10	0.29	0.48	0.68	0.89
	0.6	0.10	0.29	0.48	0.68	0.88	0.10	0.29	0.46	0.66	0.87
	0.8	0.10	0.29	0.46	0.66	0.86	0.10	0.28	0.45	0.64	0.85
	1.0	0.10	0.28	0.45	0.64	0.84	0.10	0.27	0.43	0.62	0.82
0.4	0.4	0.10	0.30	0.48	0.69	0.90	0.10	0.29	0.47	0.68	0.89
	0.6	0.10	0.29	0.48	0.68	0.89	0.10	0.28	0.46	0.67	0.89
	0.8	0.10	0.29	0.47	0.67	0.88	0.10	0.27	0.45	0.65	0.87
	1.0	0.10	0.28	0.45	0.65	0.86	0.10	0.27	0.44	0.64	0.85
0.6	0.6	0.10	0.29	0.47	0.68	0.89	0.10	0.28	0.46	0.66	0.89
	0.8	0.10	0.28	0.46	0.67	0.89	0.10	0.27	0.45	0.65	0.88
	1.0	0.10	0.27	0.45	0.66	0.88	0.10	0.26	0.43	0.64	0.87
0.8	0.8	0.10	0.28	0.46	0.67	0.89	0.09	0.26	0.44	0.65	0.88
	1.0	0.10	0.27	0.45	0.66	0.88	0.09	0.26	0.43	0.64	0.87
1.0	1.0	0.09	0.26	0.44	0.65	0.88	0.09	0.25	0.42	0.63	0.87

Приложение 5

Повторяемость группировок маловодных и многоводных лет

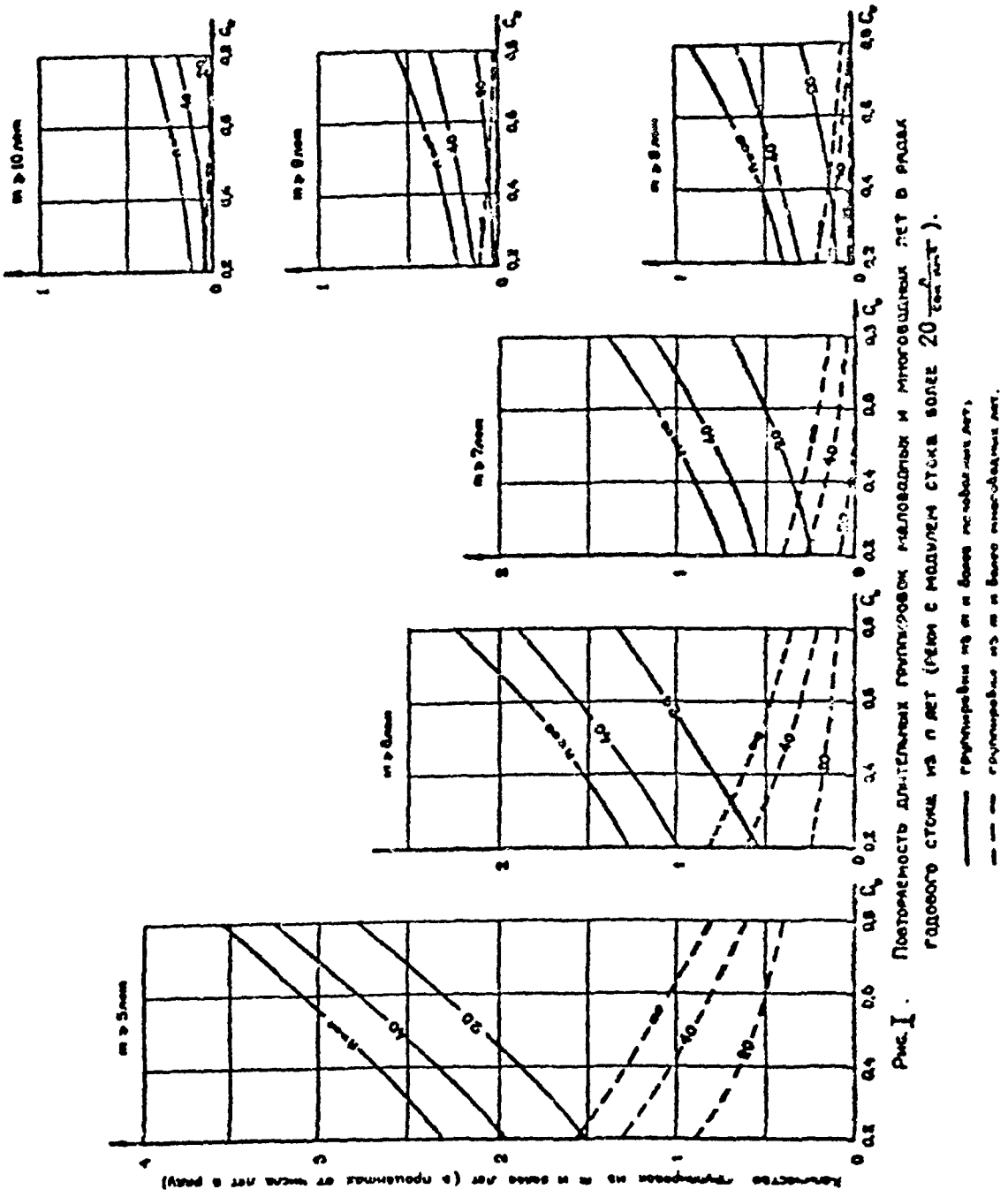


Рис. I. Повторяемость длительных группировок маловодных и многоводных лет в ряду годового стока из n лет (ряды с модулем стока более 20 $\frac{л}{сек \cdot км^2}$).

——— группировки из m и более маловодных лет;

— — — группировки из m и более многоводных лет.

Продолжение приложения 5

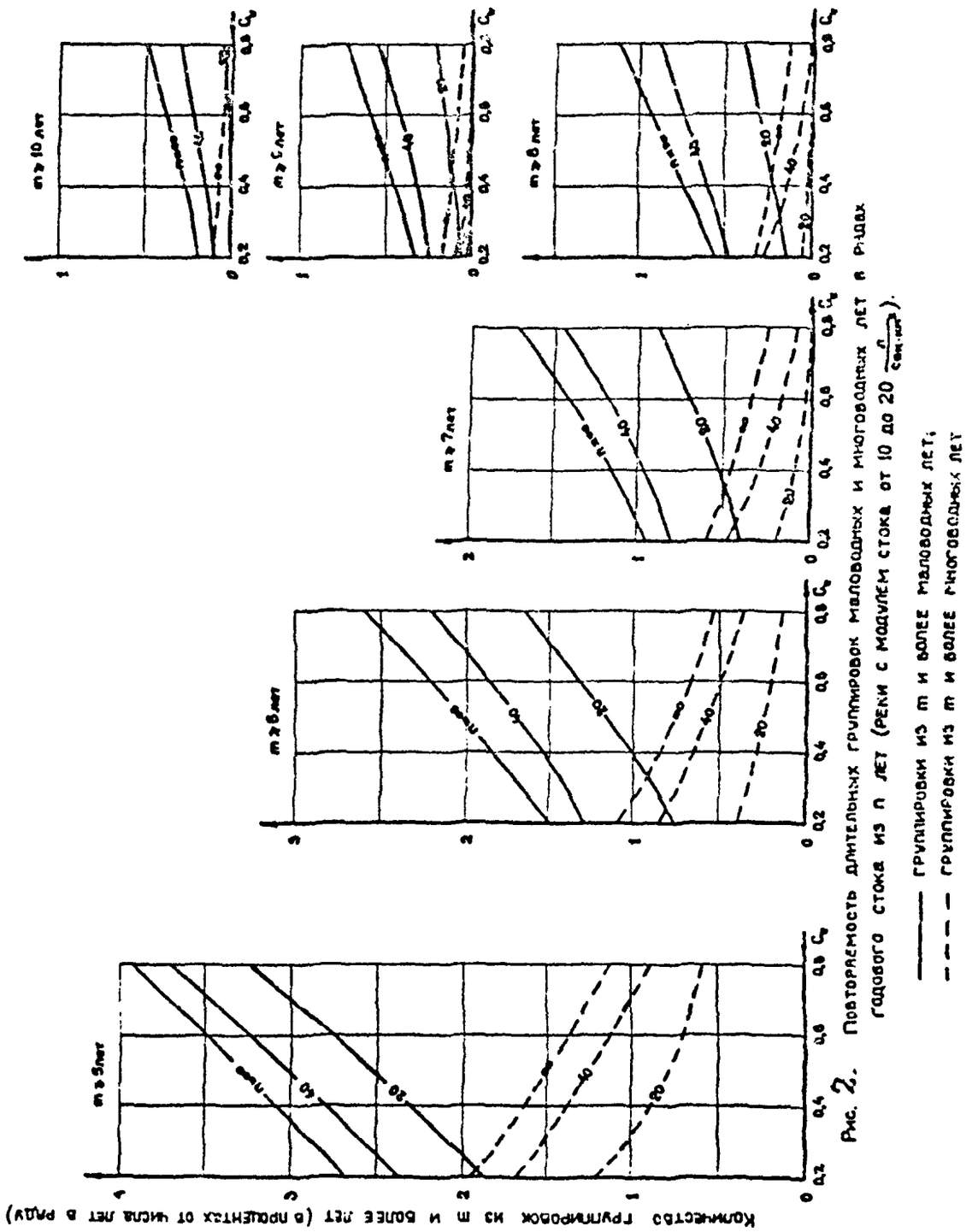


Рис. 2. Повторяемость длительных группировок маловодных и многоводных лет в рядах годового стока из n лет (реки с модулем стока от 10 до 20 $\frac{л}{сек \cdot км^2}$).

——— группировки из m и более маловодных лет;
– – – – группировки из m и более многоводных лет

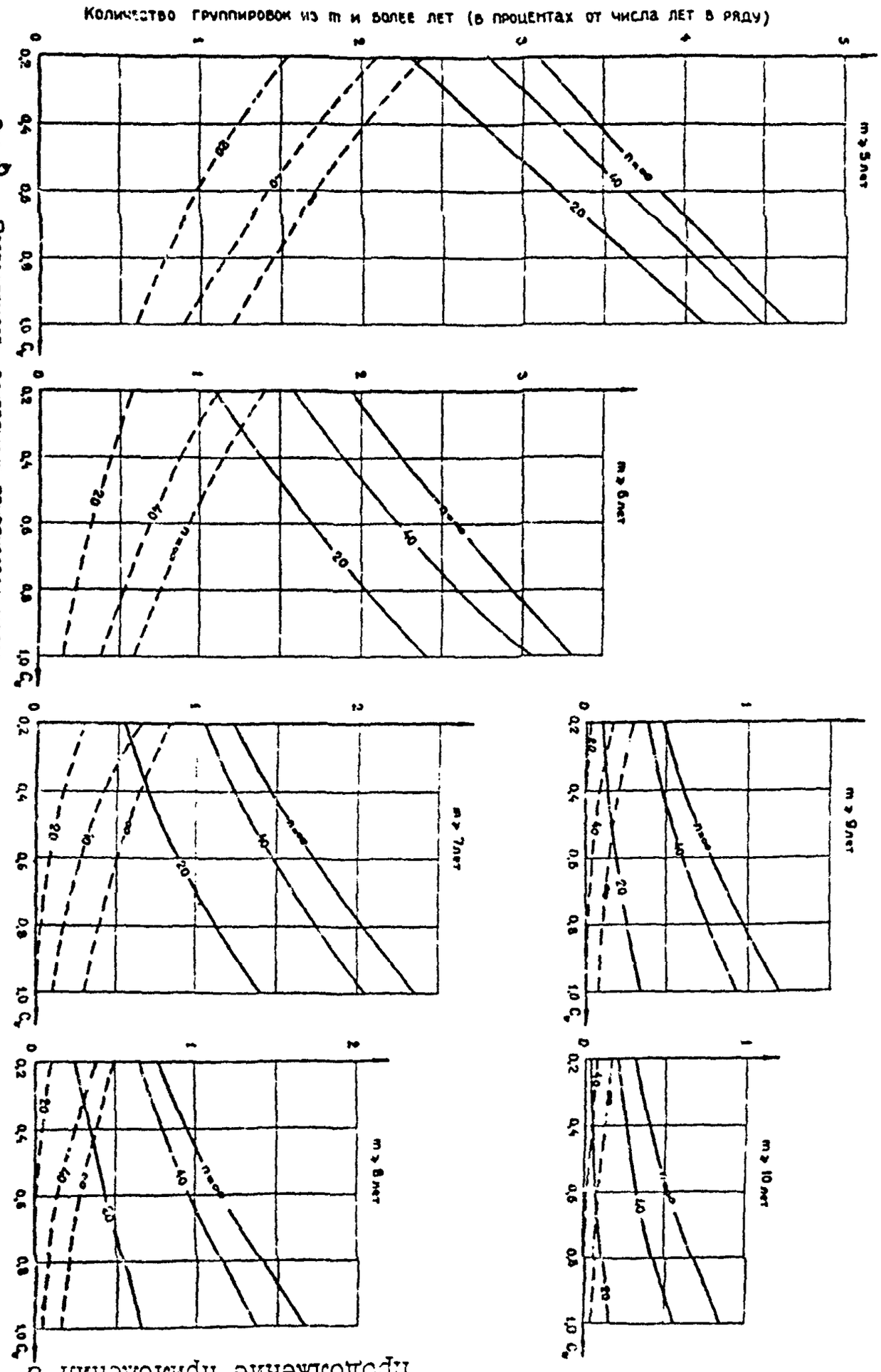


Рис. 9. Повторяемость длительных группировок маловодных и многоводных лет в рядах годового стока из n лет (реки с модулем стока от 4 до 10 $\frac{л}{сек \cdot км^2}$).

——— группировки из m и более маловодных лет;

– – – группировки из m и более многоводных лет.

Продолжение приложения 5

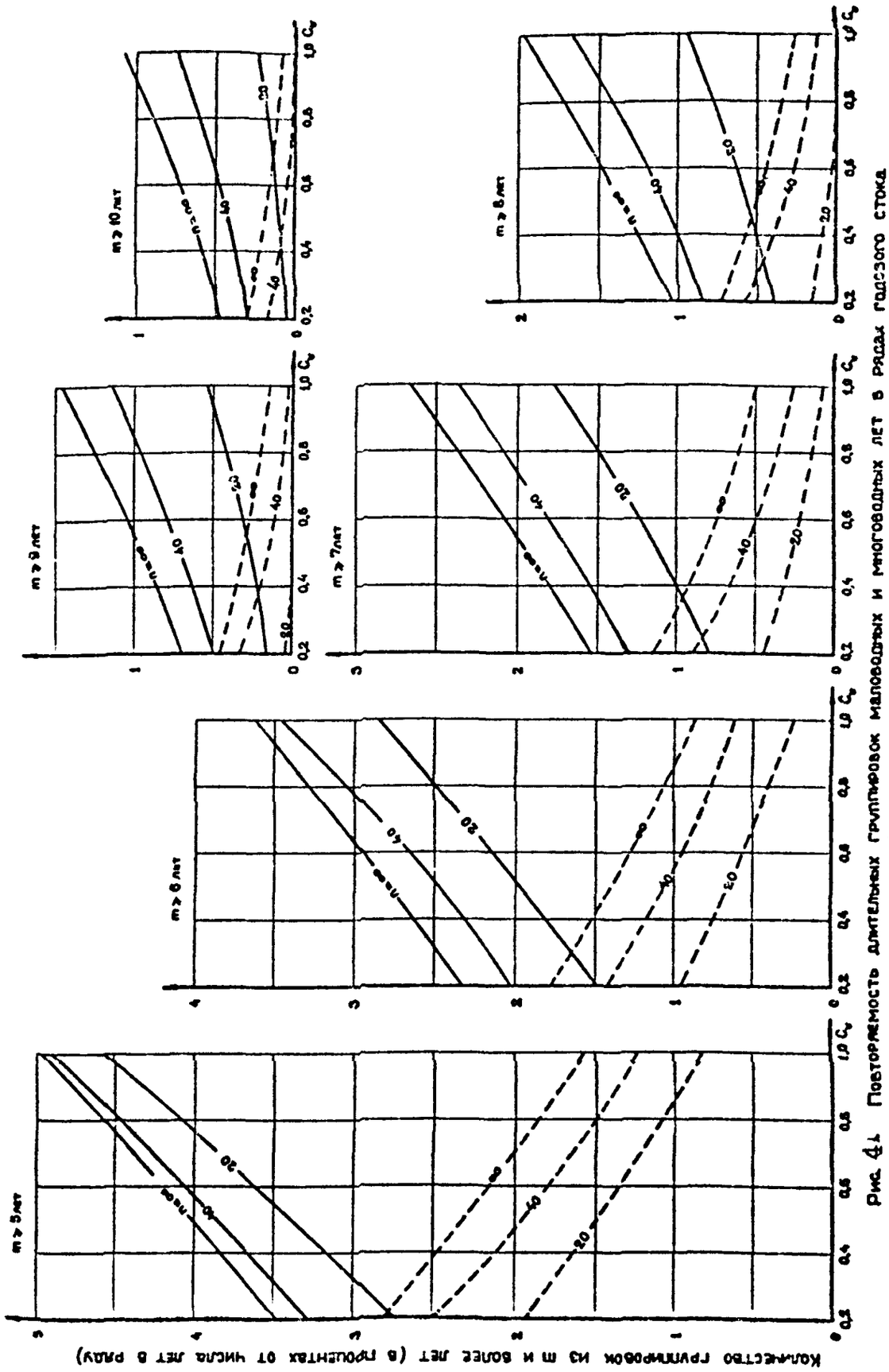


Рис. 41. Повторяемость длительных группировок маловодных и многоводных лет в рядах годового стока из n лет (реки с модулем стока от 1 до 4 $\frac{л}{сек \cdot км^2}$).

——— группировки из m и более маловодных лет;
– – – – группировки из m и более многоводных лет.

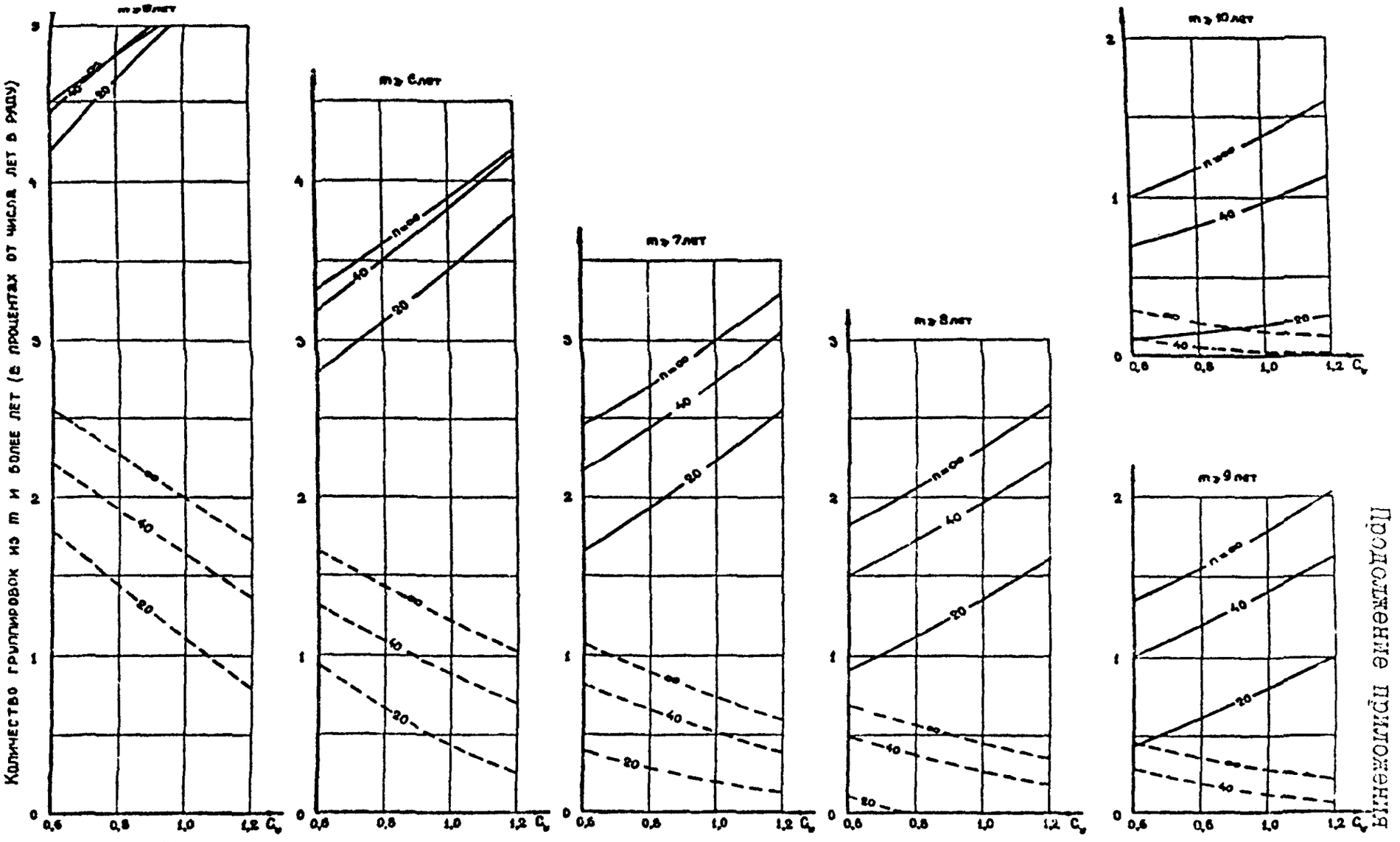


Рис. 5 Повторяемость длительных группировок маловодных и многоводных лет в рядах годового стока из n лет (реки с модулем стока менее 1 $\frac{л}{сек \cdot км^2}$).

——— группировки из m и более маловодных лет;
– – – – группировки из m и более многоводных лет.

Приложение 6

Использование моделированных рядов составляющих водного баланса в расчете системы водоснабжения АЭС (на примере Калининской АЭС)

Для иллюстрации применения моделированных рядов составляющих водного баланса в расчетах систем водоснабжения атомных электростанций ниже приведены результаты таких расчетов, полученные для Калининской АЭС. В качестве источников водоснабжения этой станции при вводе в эксплуатацию III блока используются водные объекты озерно-речных систем, а также подземные горизонты. Создаваемая водохозяйственная система очень сложна: соединяющиеся между собой озера Удомля и Песьво, первое из которых дает начало р.Съежа (на ней создан водозаборный узел КАЭС); в связи с недостаточностью располагаемых водных ресурсов этой системы к ней подключается оз.Кезадра с вытекающей из него р.Кезой; как упоминалось - подземные горизонты, которые включаются в эксплуатацию только при возникновении дефицитов в водохозяйственном балансе. Исходя из требований по сохранению окружающей среды, в реки Съежа и Кеза необходимо осуществлять специальные санитарно-экологические попуски, а также сбросы воды в половодье для промывок русла; все эти попуски заданы своими величинами, а также допустимыми значениями длительности и повторяемости периодов с минимальной водностью рек (на уровне заданного санитарно-экологического попуска); кроме того, зафиксирована допустимая повторяемость лет с отсутствием половодных промывок. Что касается использования подземных вод, максимальный их отъем ограничен величиной 1,25 м куб./с.

Принятая последовательность приоритетов в использовании воды: естественное испарение с водной поверхности озер Удомля и Кезадра, превращаемых в водохранилища многолетнего регулирования стока; санитарно-экологические попуски; подача воды на нужды АЭС (в т.ч. дополнительное испарение с поверхности водоемов). При всех указанных условиях должны выдерживаться заданные величины

водоснабжения, в перебойные годы может иметь место временное отключение одного или более блоков станции.

Алгоритм расчета:

1. Фиксируются (задаются) все проектные характеристики водохозяйственных объектов:

-полезные и мертвые объемы водохранилищ,

-безвозвратный забор воды на нужды АЭС,

-санитарные попуски в нижние бьефы водохранилищ,

-минимальные промывочные объемы в период весеннего половодья для рек Съежа и Кеза,

-начальное наполнение водохранилищ, равное половине их полезных емкостей,

-предельный расход (объем) переброски стока из Кезадры в Удомлю,

-величина (расход) откачки грунтовых вод во время перебойного периода,

-режим работы энергоблоков внутри года (в соответствии с проектом).

2. Из файла с моделированными гидрометеорологическими данными считываются значения притока к озерам и величины всех видов испарения для первого момента времени; затем в соответствии с нижеперечисленными правилами и последовательностью приоритетов, осуществляется расчет элементов водохозяйственного баланса.

2.1. Из имеющегося в озере запаса воды вычитаются потери на естественное испарение.

2.2. Рассчитывается размер возможного санпопуска. Если полезная емкость пуста, то в нижний бьеф сбрасывается лишь половина требуемого санитарного объема. Допустимость такого режима в некоторые годы обоснована выше.

2.3. В перебойные месяцы осуществляется пополнение располагаемых водных ресурсов за счет подземных вод (см. ниже). Создаваемый (требуемый) режим эксплуатации водозабора, утвержденные запасы подземных вод и наличие их гидравлической связи с поверхностными водами накладывают ограничения на работу водозабора. В этой связи в перебойные годы, сопровождающиеся длительной (более 3 месяцев) непрерывной эксплуатацией водозабора, целесообразно вдвое уменьшить величину

санпопуска в нижний бьеф с целью снижения интенсивности водостбора. Сразу же заметим, что степень гарантии минимально допустимого санитарно-экологического попуска (расхода воды) останется весьма высокой.

2.4. Сказанное выше в п.2.1-2.3 относится в основном к р.Съеже. Расходная часть водохозяйственного баланса оз.Кезадра - это естественное испарение, сброс в нижний бьеф и подача воды в оз.Удомля. Расчеты водохозяйственного баланса оз.Кезадра ведутся параллельно и аналогично, за исключением того, что не вводятся ограничения на санпопуск в Кезу при интенсивной и продолжительной эксплуатации подземных вод.

2.5. Если полезный запас воды в оз.Кезадра позволяет перебросить некоторый объем стока в Удомлю, то это осуществляется при наличии в водохранилище Песьво-Удомля необходимой свободной емкости.

2.6. Учитываются потери на собственные нужды АЭС (ХВО, брызгальные бассейны и пр.)

2.7. Учитываются потери на градирнях и потери на дополнительное испарение с поверхности подогретых озер. Если для покрытия этих потерь полезной емкости не хватает, то привлекаются ресурсы подземных вод. Если после учета всех составляющих баланса озера полезная емкость не обеспечивает работу планового количества энергоблоков (2-х или 3-х - в зависимости от сезона года), то потери на дополнительное испарение корректируются - уменьшаются путем остановки некоторого количества энергоблоков. При этом предполагается, что потери на градирнях сокращаются пропорционально числу остановленных блоков в момент их отключения, а дополнительное испарение с озер еще некоторое время сохраняется (имеет инерцию) за счет медленного остывания подогретой воды.

2.8. Если рассчитанный запас воды в озерах превышает полезные емкости водохранилищ, то осуществляются холостые сбросы в нижние бьефы.

2.9. В июне месяце выполняется анализ режима половодных промывок, и, если максимальный месячный объем сброса за весенние месяцы меньше допустимого расхода (объема) весенней промывки, то недостающая разница сбрасывается в нижние бьефы.

2.10. Расчет водохозяйственного баланса (п. 2.1-2.9) повторяется для или 10000 лет эксплуатации. Получаемые в результате расчета последовательности наполнений водохранилищ, сбросов в нижние бьефы, характеристик перебоев и т.д. подвергаются статистической обработке, на основе анализа результатов которой делаются выводы о приемлемости тех или иных проектных решений.

3. Водохозяйственные расчеты выполнены по месячным интервалам времени (для такого интервала дискретности подготовлена вся гидрологическая информация). Осреднение составляющих водного баланса по таким интервалам влечет за собой некоторые погрешности, поскольку емкость водохранилища не имеет резерва на внутримесячное регулирование стока; в первую очередь погрешности могут быть вызваны осреднением речного стока внутри месяца. С целью устранения указанных погрешностей выполнено сопоставление зависимостей между емкостью водохранилища и его гарантированной отдачей при интервалах осреднения стока от одних суток до одного месяца. Расчеты проведены для двух режимов колебаний стока, один из них отвечает р.Овсянке, другой р. Тихомандрица. Расчеты показали, что для внутримесячного регулирования стока рек рассматриваемой зоны следует зарезервировать порядка 10% емкости. В связи с изложенным при выполнении водохозяйственных расчетов по месячным интервалам времени расчетная емкость принималась в размере 90% фактической.

4. Обратимся к результатам водохозяйственных расчетов по различным вариантам схемы водоснабжения АЭС.

В таблице 1 приведены результаты определения числа перебойных лет для трех вариантов схемы водоснабжения АЭС:

-существующая система, использующая речной сток бассейна р.Съежи,

-привлечение водных ресурсов из бассейна р.Кезы с водоводом максимальной пропускной способностью до 1 м куб./с,

-привлечение ресурсов из бассейна р.Кезы и подземных вод с максимальнным расходом откачки до 1,25 м куб./с.

Второй и третий варианты предусматривают создание водохранилища на р.Кезе для регулирования режима оз.Кезадра. Эксплуатация подземного водозабора осуществляется лишь в годы с

дефицитом воды на основе релейного принципа: водозабор либо отключен, либо работает с максимальной производительностью. Опыт решения близких по типу задач показал, что релейный принцип питания близок к оптимальному.

Результаты, приведенные в таблице 1, со всей очевидностью свидетельствуют, что нельзя обеспечить надежное функционирование АЭС только на основе ресурсов поверхностных вод. В противном случае из 10 лет эксплуатации каждые два года будут перебойными, а глубина перебоев будет весьма существенна. Число перебойных лет с остановкой 3-х блоков недопустимо велико - порядка 12% даже с привлечением ресурсов воды из бассейна р. Кезы.

Таблица 1

Число лет с перебоями водоснабжения на 10000 лет эксплуатации для различных вариантов схемы технического водоснабжения КАЭС

Число отключаемых блоков	Существующая система водоснабжения	Привлечение ресурсов р.Кезы	Привлечение ресурсов р.Кезы и подземных вод
≤1	2065	1492	514
≤2	1902	1368	222
=3	1682	1173	13

Использование подземных вод для покрытия дефицитов воды в системе кардинально меняет структуру перебоев. Число перебойных лет (их доля) уменьшается до 5%, причем преобладают преимущественно неглубокие перебои. Вероятность полной остановки АЭС ввиду нехватки воды чрезвычайно мала (примерно 0,1%).

Как указывалось ранее, использование в качестве критерия числа перебойных лет не позволяет получать полную характеристику работы АЭС. Существенным показателем, определяющим гарантию энергоотдачи, является зависимость повторяемости перебоев от глубины (рис.1).

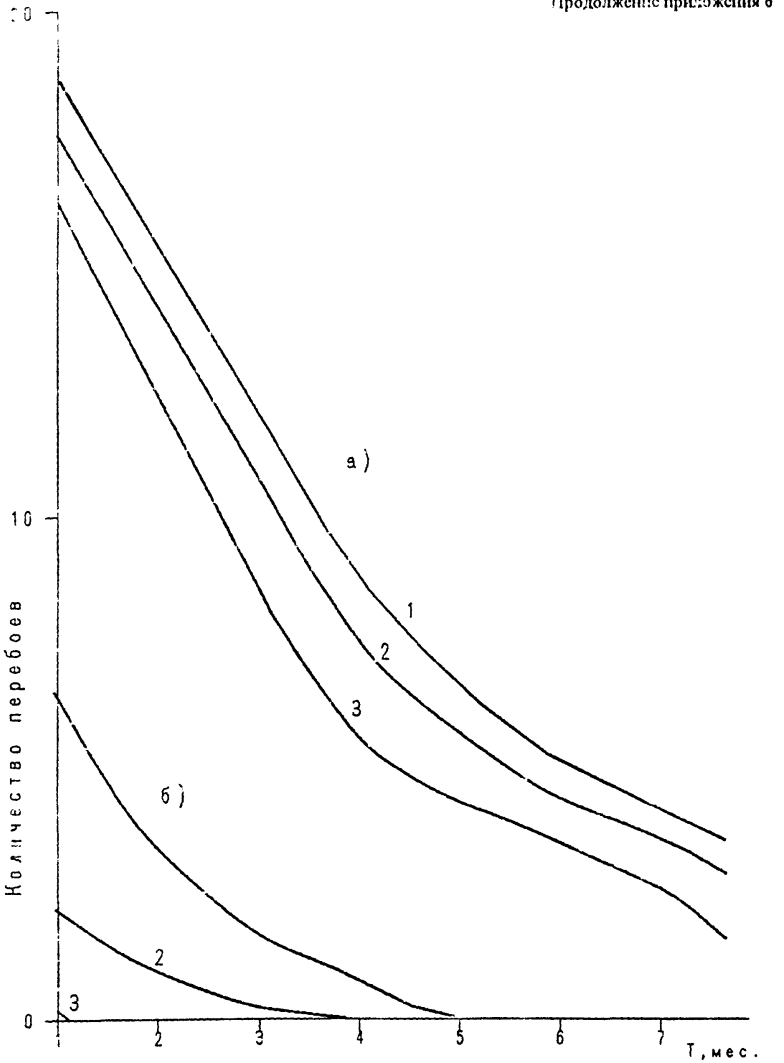


Рис.1. Среднее количество перебоев за 100 лет эксплуатации продолжительностью T и более месяцев. Цифры у линий – число отключаемых блоков.
а) современная система водоснабжения;
б) с привлечением о.Кезы и подземных вод.

Как следует из рис.1, привлечение в качестве дополнительного источника подземных вод позволяет существенно уменьшить как общее количество перебоев, так и долю глубоких перебоев. При такой схеме водоснабжения преобладают неглубокие перебои, состоящие в остановке лишь одного энергоблока на срок в среднем около двух месяцев. Примерно такова же и средняя продолжительность перебоя, требующего остановки двух блоков, однако вероятность такой ситуации существенно меньше.

Функционирование АЭС приводит к существенным изменениям естественного гидрологического режима рек и озер. На рис.2 представлены кривые обеспеченности наполнения озер-охладителей, построенные для месячных интервалов времени в естественном и техногенном режиме, из которых следует, что при заданном режиме эксплуатации водохозяйственной системы режим уровней озер-охладителей будет заметно отличаться от естественного и характеризоваться сильной асимметрией со значительной долей лет с малым наполнением. В среднем же проектный режим характеризуется отметками на 1-1,5 м выше естественного.

Необходимо также отметить, что требуемый для охлаждения подогретых вод запас воды в озере в ряде лет (1%) может быть меньшим мертвого объема, что следует учитывать, в частности при проектировании насосного оборудования.

Принятая при проведении расчетов система приоритетов позволяет поддерживать сброс в нижний бьеф заданного санитарного расхода с очень высокой степенью гарантии (порядка 98%). Но обеспеченность санитарного попуска еще не является критерием приемлемости техногенно формируемой экологической ситуации.

Как уже отмечалось выше, водность, наблюдаемая в течение 1-2 месяцев в естественных условиях примерно 1 раз в 20 лет, становится преобладающей характеристикой межени в условиях функционирования АЭС.

Имитационные расчеты показывают, что водность, равная и менее санитарного попуска, будет наблюдаться в 70% случаев. Общее число периодов с такой водностью за 10 тыс. лет составило 13 тыс., т.е. практически в каждый год эксплуатации АЭС будет иметь место существенное нарушение режима. На рис.3 представлены

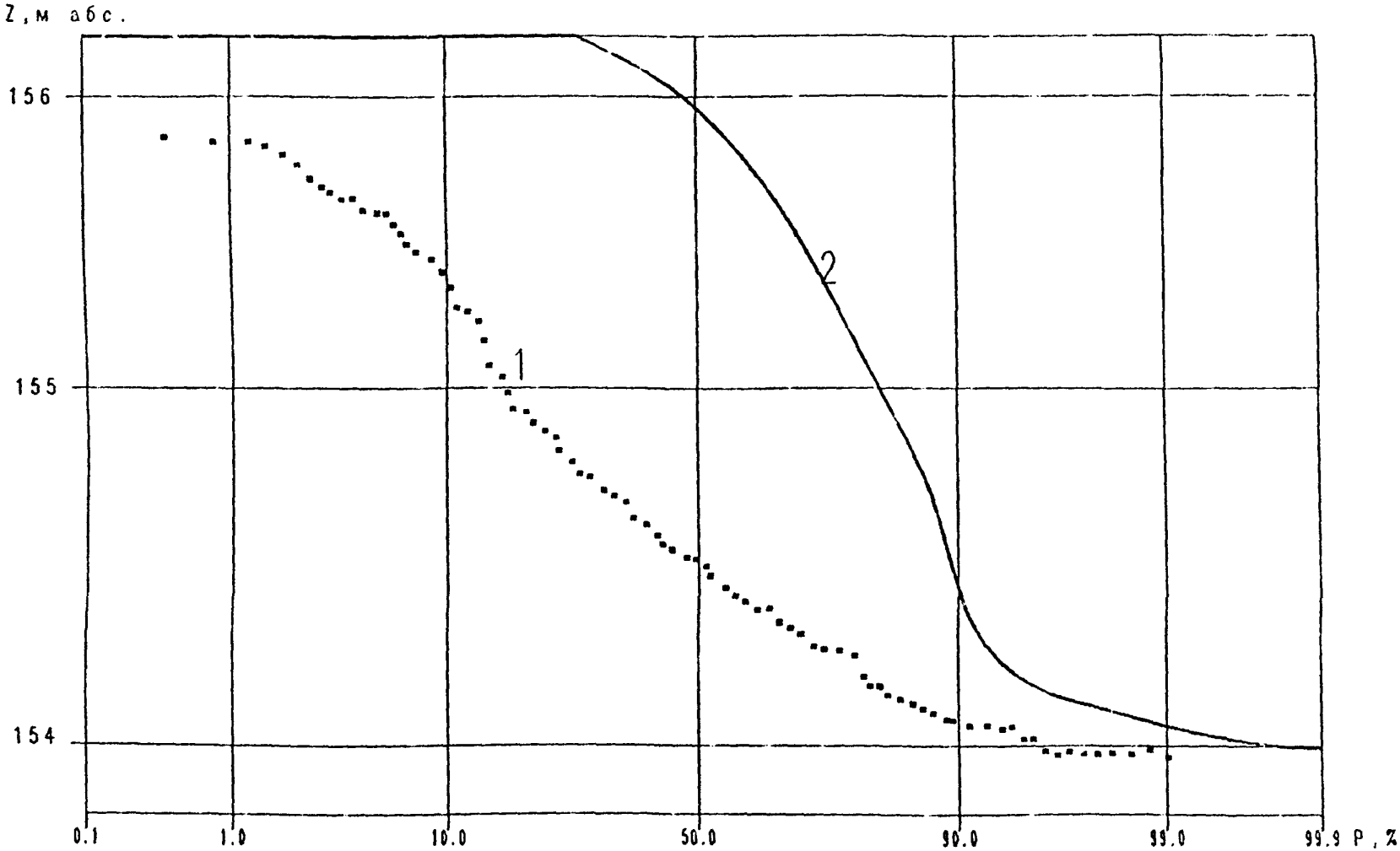


Рис. 2. Кривые обеспеченности среднемесячных уровней оз. Удомля в естественном (1) и проектном (2) режимах

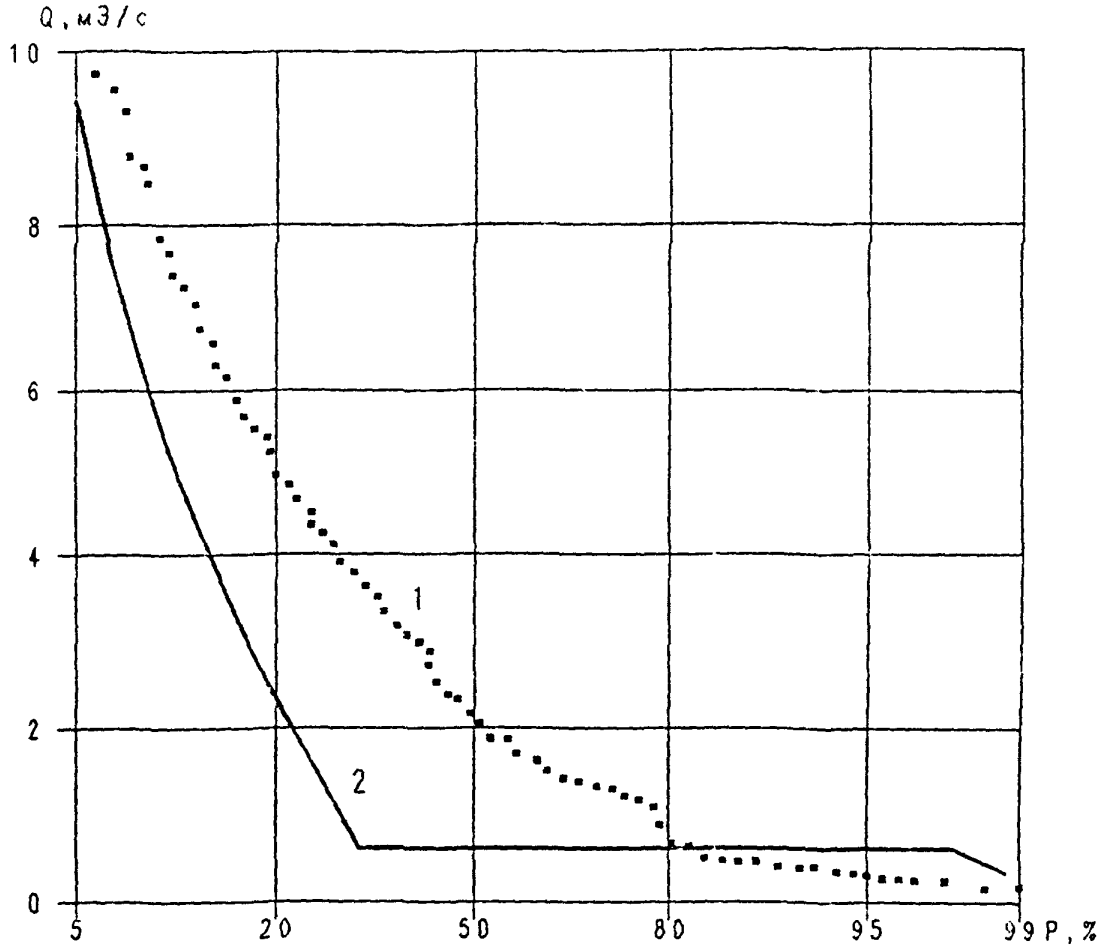


Рис. 3. Кривые обеспеченности среднемесячных попусков воды в нижний бьеф (сбросы в р. Сьежу) в естественном (1) и проектном (2) режимах

кривые обеспеченности сбросов в нижний бьеф р.Съежа. Для сравнения нанесены точки, соответствующие естественным условиям.

Представляет интерес распределение продолжительности периодов с водностью равной и менее санитарного попуска для р.Съежи. Среднее значение продолжительности таких периодов составляет 6,3 месяцев. В редких случаях такая водность может наблюдаться на реке до года и более. Изменится также и гидрологический режим реки Кезы, сток которой будет зарегулирован водохранилищем (рис.4). Гарантия санитарного попуска здесь меньше, чем на р.Съеже (несколько менее 90%). Однако надо иметь в виду, что рекомендуемый в настоящей работе санитарно-экологический попуск увеличен на Кезе по сравнению с предыдущими этапами работ примерно в два раза.

Таким образом, на обеих реках (Съежа и Кеза) водность на уровне санитарно-экологического попуска будет наблюдаться существенно чаще, чем это свойственно естественному режиму. Для предупреждения неблагоприятных экологических последствий и предусматривается почти ежегодное осуществление искусственных половодий (в том числе для промывок русла).

Существенное значение для оценки надежности системы водоснабжения имеет режим эксплуатации подземных вод. Ресурсы подземных вод в районе существующего водозабора позволяют оценить норму питания в размере 0,5 м куб./с. Для покрытия дефицита воды в перебойные годы этого недостаточно. Как указывалось, подземный водозабор должен обеспечивать производительность не менее 1,25 м куб./с, но лишь в отдельные годы. Средняя многолетняя величина изъятия подземных вод мала ~ 0,05 м куб./с.

В качестве характеристики работы водозабора на рис.5 приведена зависимость числа случаев его работы от продолжительности откачки. Таких случаев на 10000 лет эксплуатации будет 1600 при средней продолжительности периода работы водозабора три месяца.

На стадии рабочего проекта предстоит разработать конструкцию водозабора, оценить влияние взаимосвязи поверхностных и подземных вод на его работу, выяснить влияние режима откачек на инженерно-геологические свойства грунтов

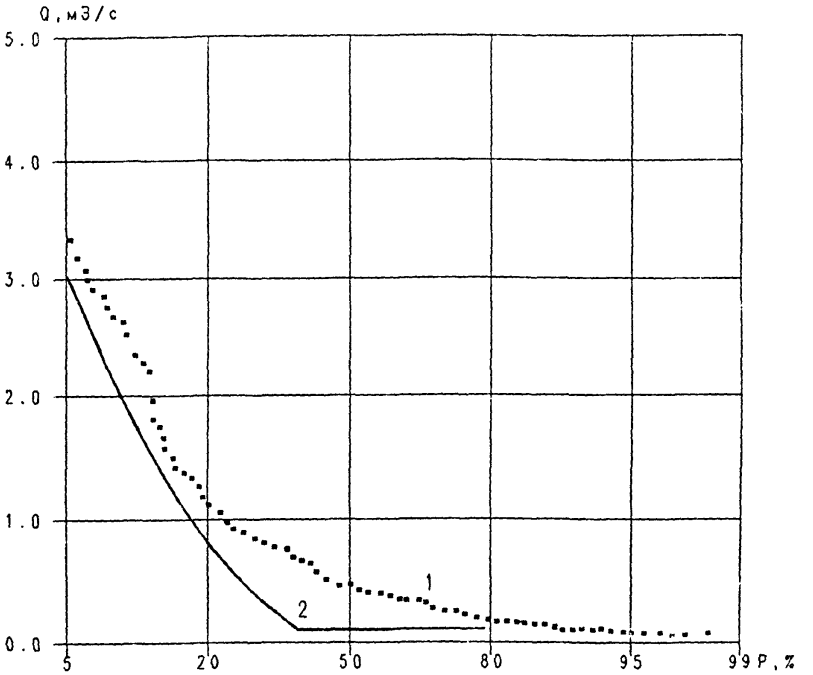


Рис. 4. Кривые обеспеченности среднемесячных попусков воды в нижний бьеф (сбросы в р.Кезу) в естественном (1) и проектном (2) режимах

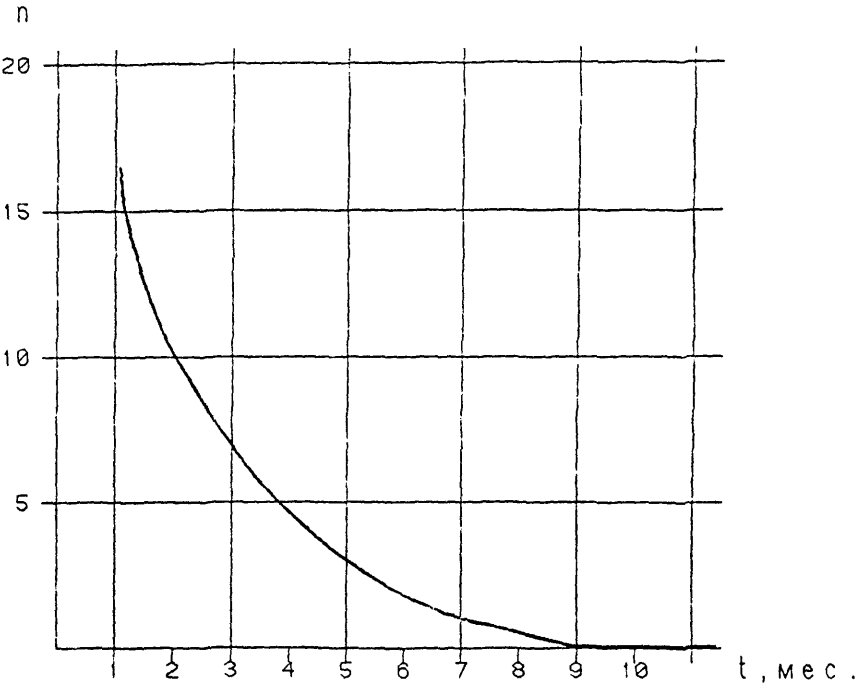


Рис. 5. Зависимость повторяемости работы подземного водозабора n (среднее число случаев его работы на 100 лет эксплуатации) продолжительностью, равной t и более месяцев

основания КАЭС и дать оценку развития карстово-суффозионных процессов.

В завершение раздела рассмотрим вариант технического водоснабжения КАЭС, предусматривающий работу 4 энергоблоков суммарной мощностью 4 млн.квт. Согласно предложениям Нижегородского института "Атомэнергопроект", система охлаждения станции предусматривает в этом случае использование градирен (рис.6), работающих по разомкнутой схеме , а также озер Песьво и Удомля в качестве прудов-охладителей. Рекомендуемая схема предусматривает работу четырех градирен в зимний и двух - в летний периоды. Вариант компоновки АЭС в составе четырех энергоблоков был отклонен на предыдущих стадиях проекта; поэтому рассмотренный ниже вариант носит гипотетический характер и предназначен для предварительной оценки дефицита водных ресурсов.

Как отмечалось выше, режим работы подземного водозабора основывается на релейном принципе и предполагает либо его работу с полной производительностью, либо полное отключение. Условия эксплуатации четырех блоков исследовались для трех производительностей водозабора , равных 1.25, 1.50 и 1.75 $м^3$/сек соответственно. Рассматривался также случай использования только поверхностных вод.

В таблице 2 представлены результаты определения числа перебойных лет для различных вариантов схемы технического водоснабжения АЭС. Данные таблицы свидетельствуют, что даже при производительности подземного водозабора 1.5 $м^3$/сек доля перебойных лет составляет величину порядка 8 %, т.е. не соблюдается принятая в таких случаях 95% гарантия.

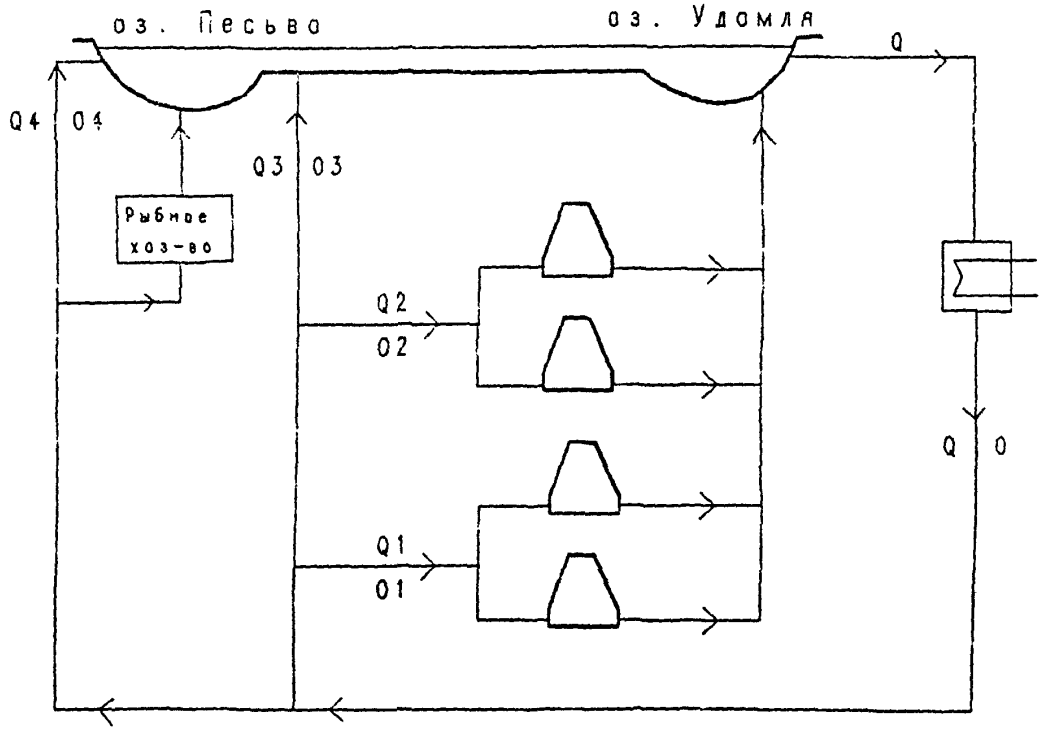


Рис.6. Расчетная схема охлаждения Калининской АЭС
N = 4 млн.квт.
Q - расход охлаждающей воды,
O - количество отводимого тепла

Таблица 2

Число лет с перебоями при работе четырех блоков в зависимости от глубины перебоя на 100 000 лет эксплуатации

N	Производительность подземного водозабора, м.куб/сек	Среднемноголетний объем подземного питания млн.м куб./мес	Число перебойных лет в зависимости от глубины перебоя (по числу отключаемых блоков)			
			≥1	≥2	≥3	=4
1	0.0	0.0	3437	3240	3000	2571
2	1.25	0.32	2025	1331	612	92
3	1.50	0.39	1247	684	266	1
4	1.75	0.42	849	475	115	0

Исключение подземных вод из системы водоснабжения приводит к абсолютно недопустимому числу перебойных лет. Возможны случаи полной остановки АЭС (рис.7 и табл.2 и 3) на срок до нескольких месяцев вследствие деффицита воды в озерно-речной системе.

Представленные в таблицах и на рисунках данные свидетельствуют, что сооружение четвертого блока требует существенного использования подземных вод района АЭС (либо привлечения значительных водных ресурсов из других бассейнов).

Для иллюстрации работы системы водоснабжения II очереди КАЭС (после ввода третьего блока) приводятся хронологические графики различных режимных характеристик: на рис.8-15 со зн. "а" - для средней из возможных 50-летних реализаций, а на рис.8-15 со зн. "б" - для неблагоприятной (повторяемостью 1 раз за несколько тысяч лет).

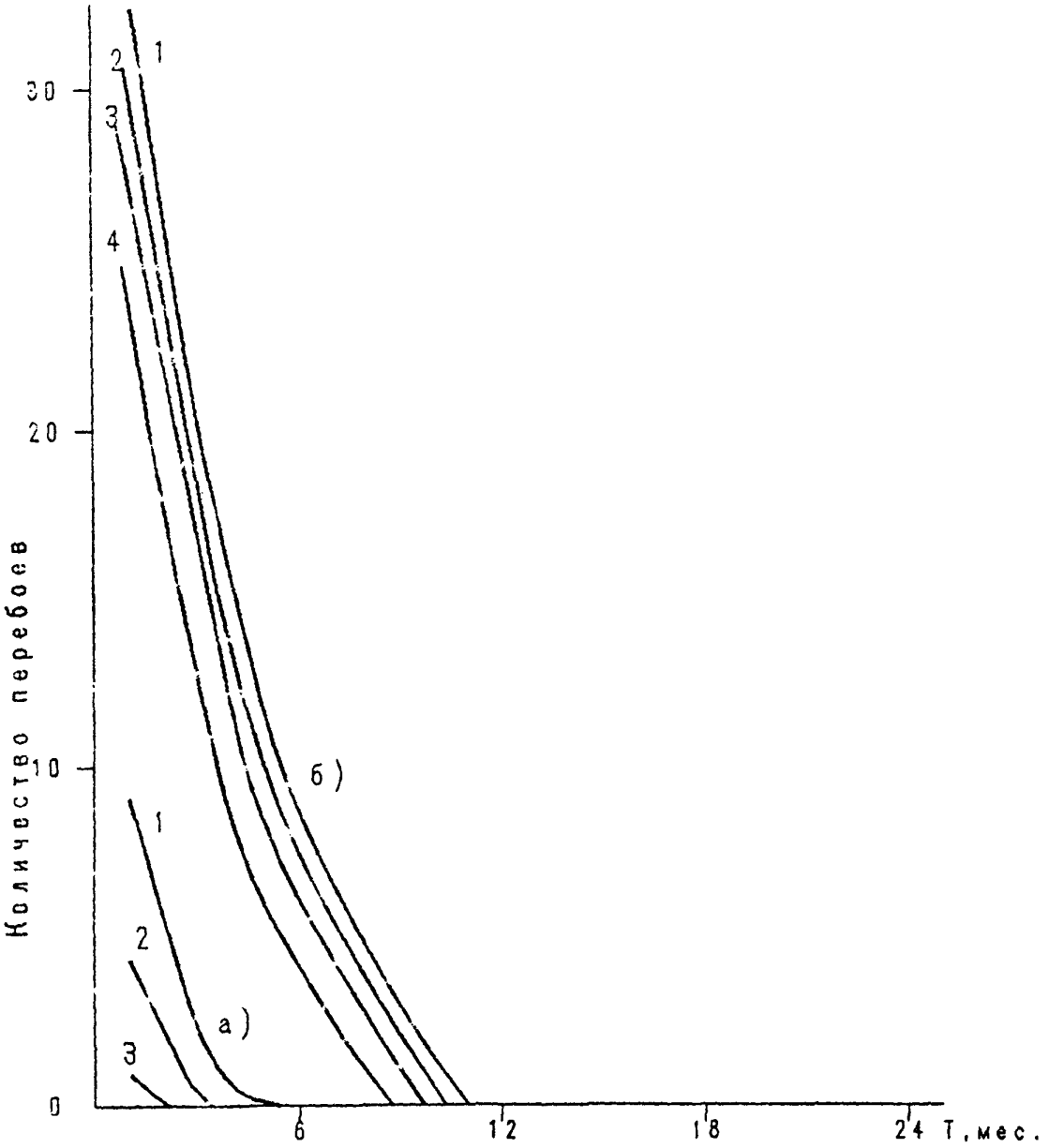


Рис.7. Среднее количество перебоев за 100 лет эксплуатации 4-х энергоблоков КАЭС продолжительностью Т и более месяцев при:
а) использовании подземных вод с расходом 1,75 м3/с:
б) использовании только поверхностных вод.
Цифры у линий - число отключаемых блоков

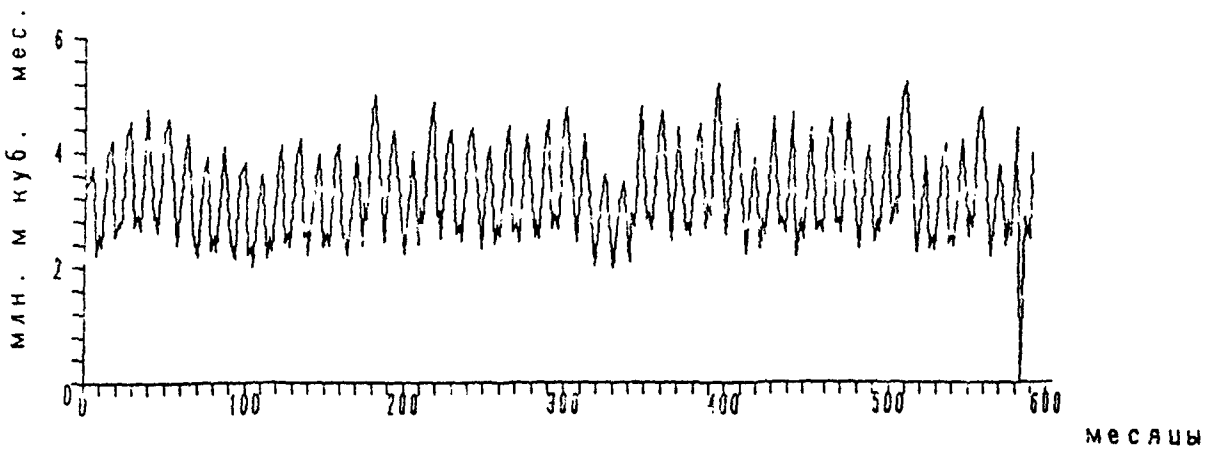


Рис.8а. Хронологический график потерь воды на дополнительное испарение в градирнях (средняя 50-летняя реализация)

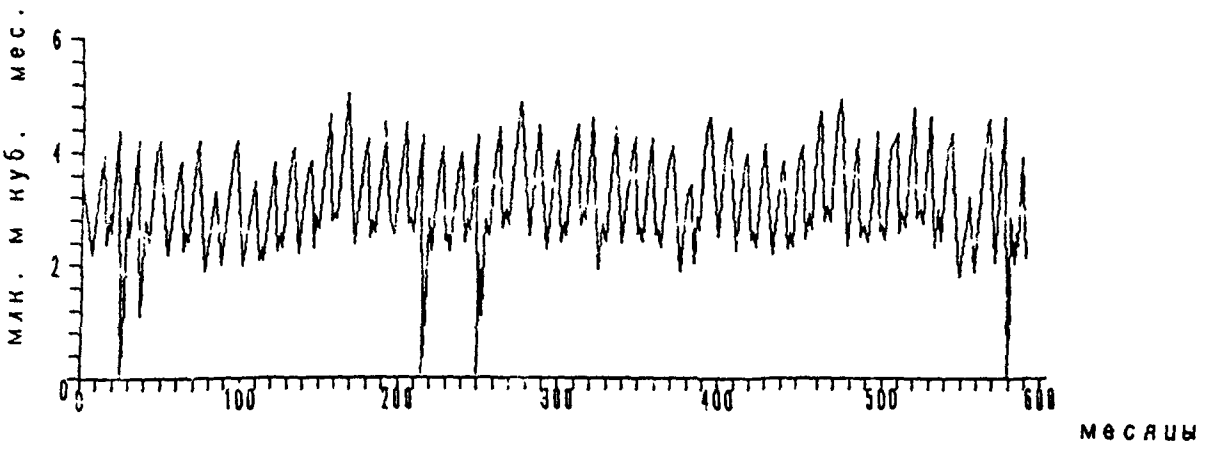


Рис.8б. Хронологический график потерь воды на дополнительное испарение в градирнях (неблагоприятная 50-летняя реализация)

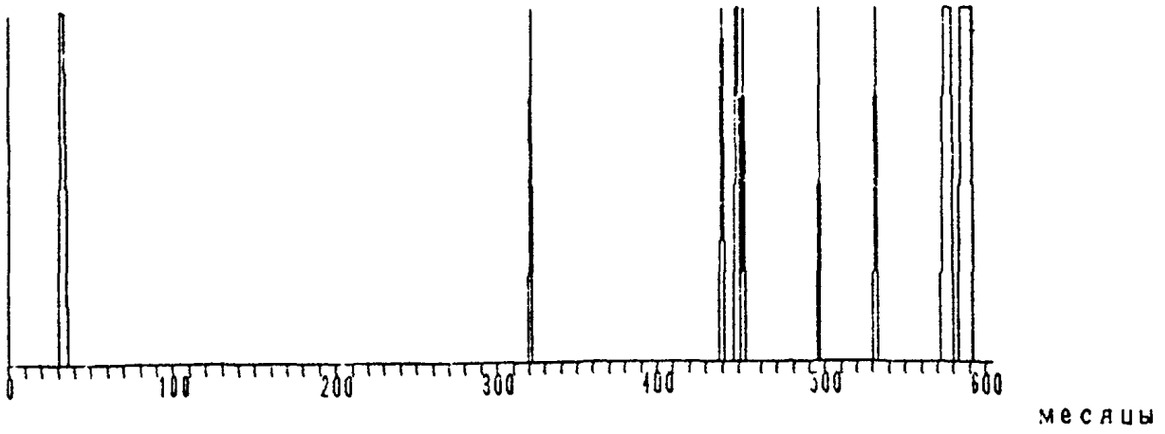


Рис.9а. Хронологический график эксплуатации подземного водозабора (средняя 50-летняя реализация).

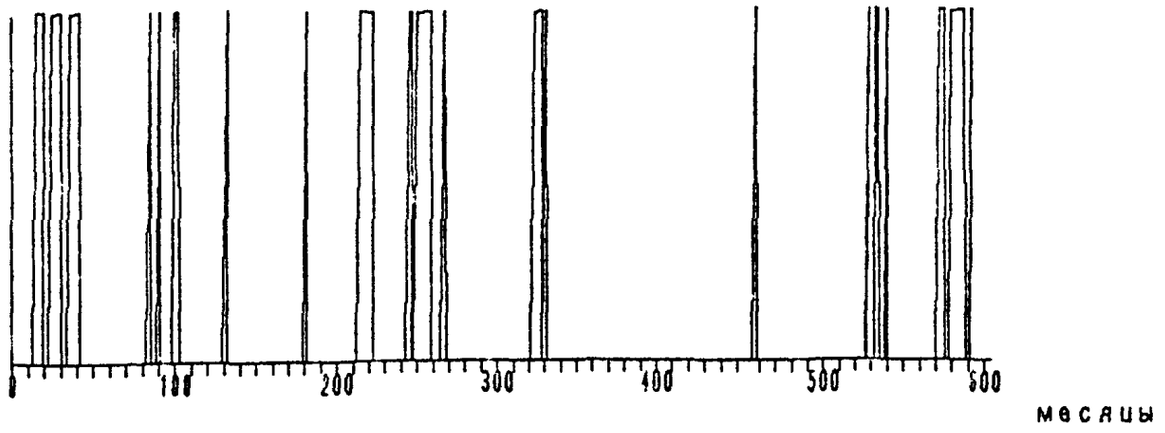


Рис.9б. Хронологический график эксплуатации подземного водозабора (неблагоприятная 50-летняя реализация)

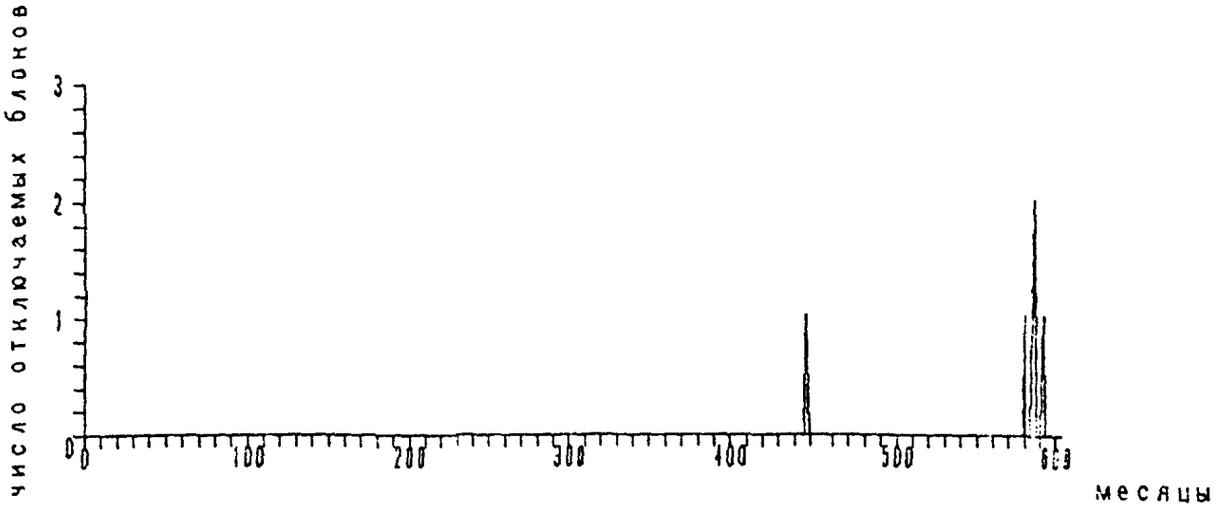


Рис.10а. Хронологический график отключения блоков (средняя 50-летняя реализация)

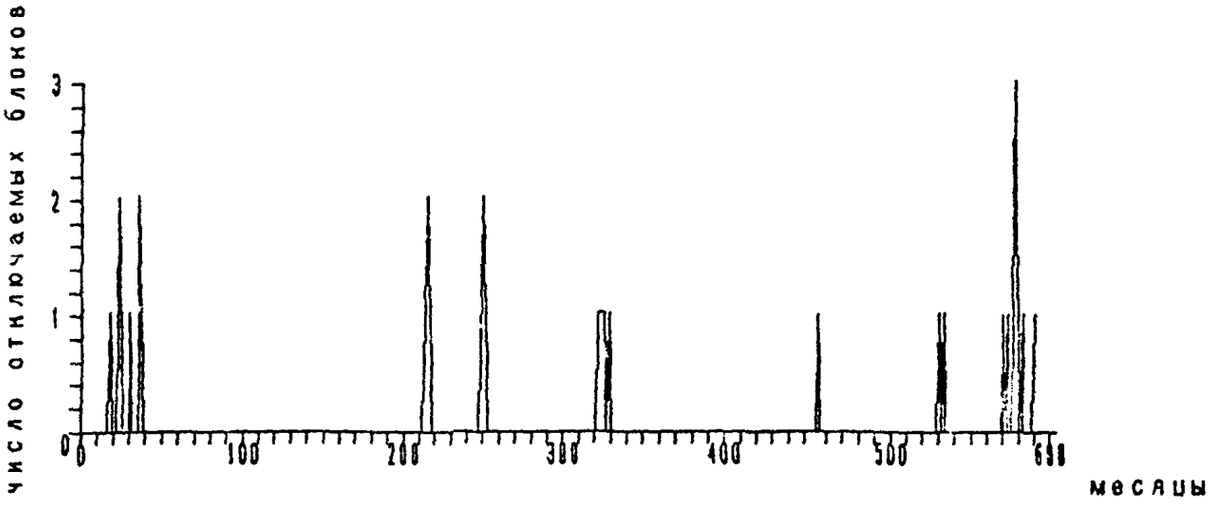


Рис.10б. Хронологический график отключения блоков (неблагоприятная 50-летняя реализация)

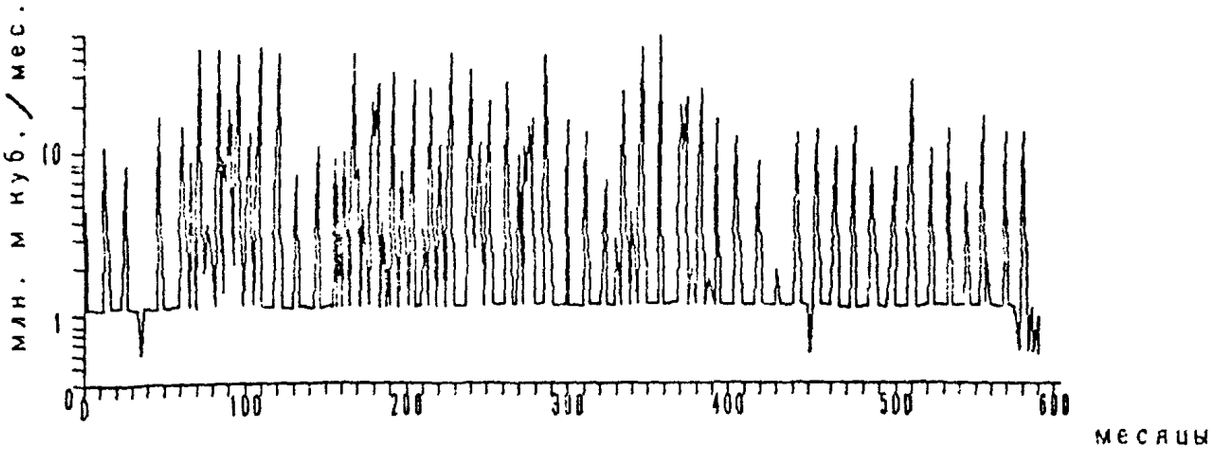


Рис.11а. Хронологический график попусков воды в р.Сьежа (средняя 50-летняя реализация)

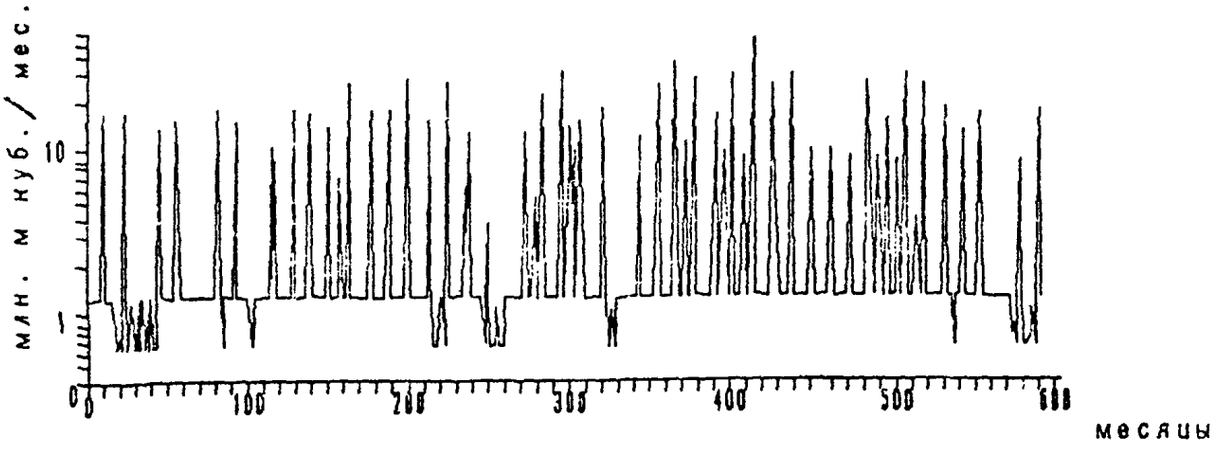


Рис.11б. Хронологический график попусков воды в р.Сьежа (неблагоприятная 50-летняя реализация)

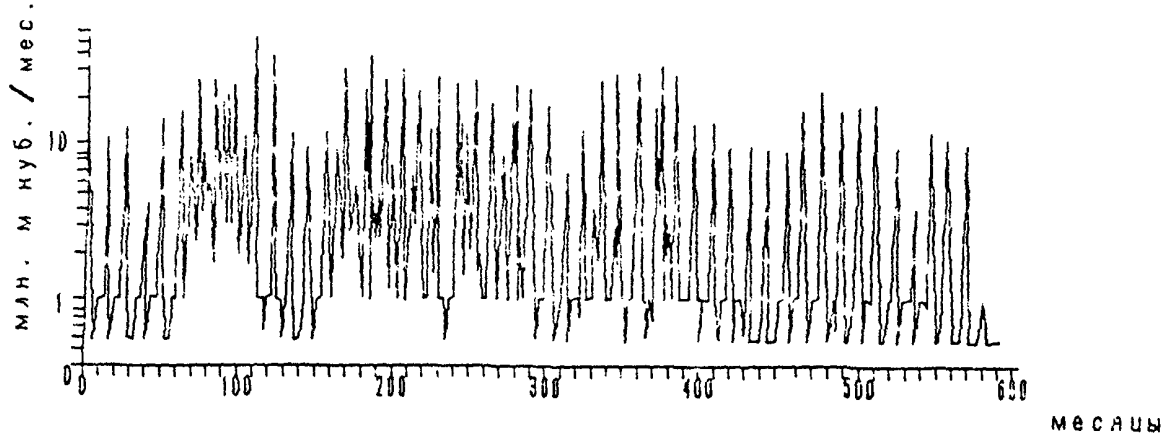


Рис. 12а. Хронологический график попусков воды в р. Кеза (средняя 50-летняя реализация)

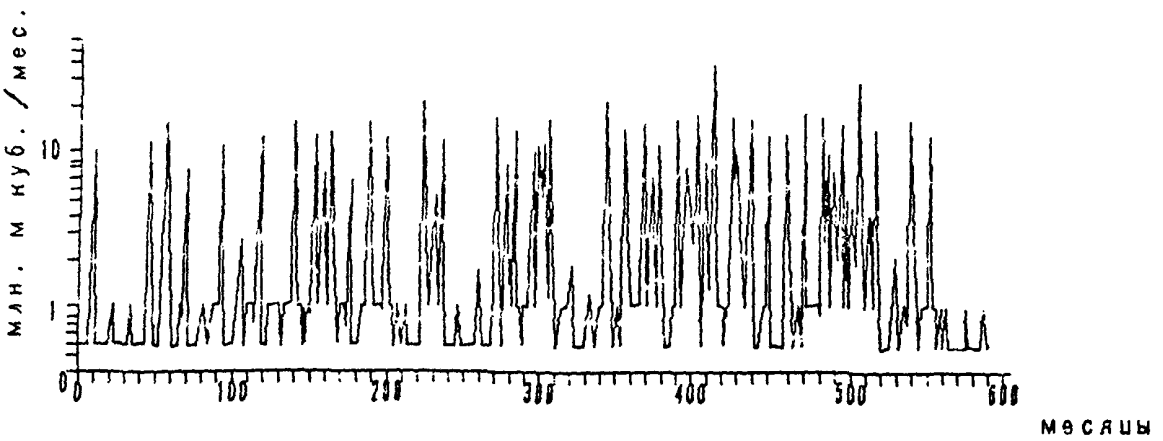


Рис. 12б. Хронологический график попусков воды в р. Кеза (неблагоприятная 50-летняя реализация)

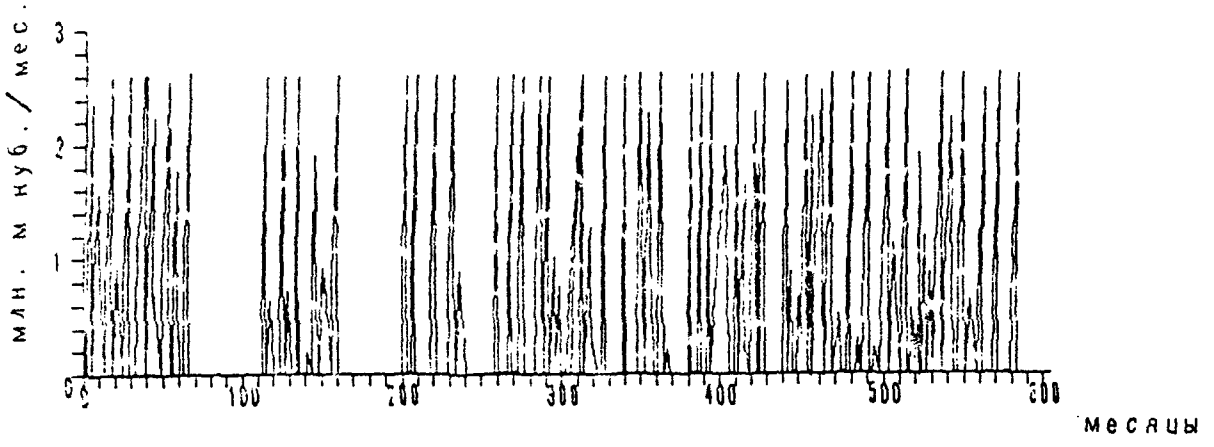


Рис.13а. Хронологический график поступления воды из оз.Кезадра в оз.Удомля (средняя 50-летняя реализация)

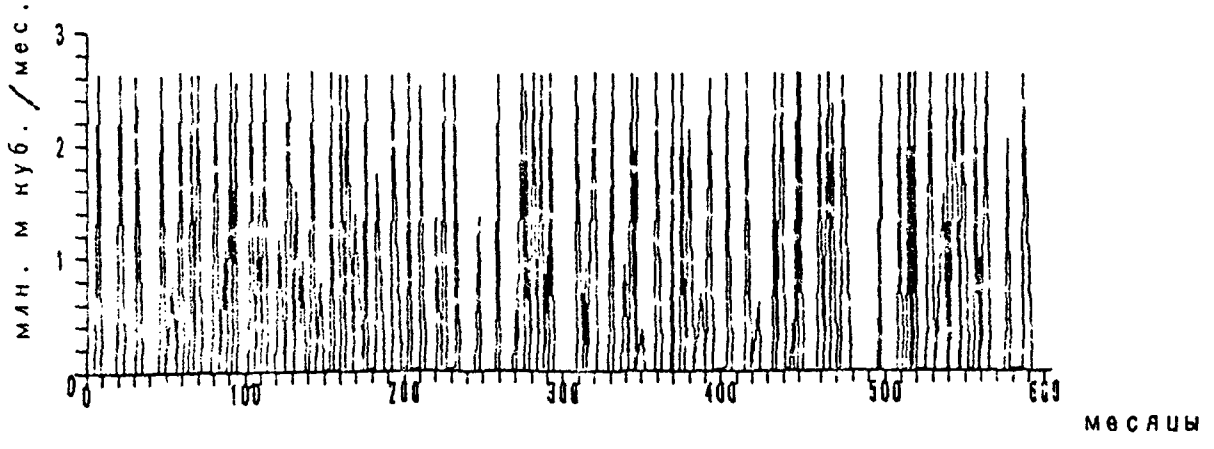


Рис.13б. Хронологический график поступления воды из оз.Кезадра в оз.Удомля (неблагоприятная 50-летняя реализация)

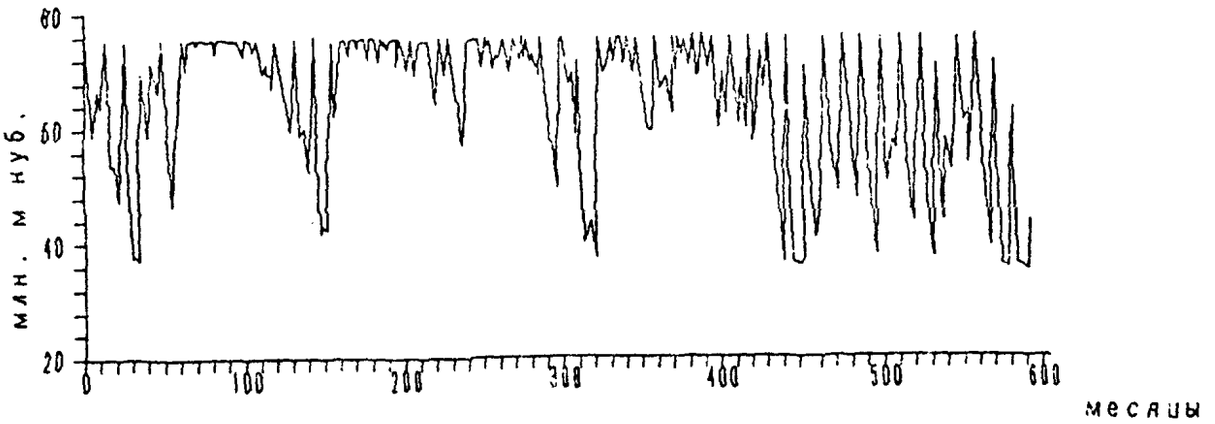


Рис.14а. Хронологический график запасов воды в оз.Удомля-Песьво (средняя 50-летняя реализация)

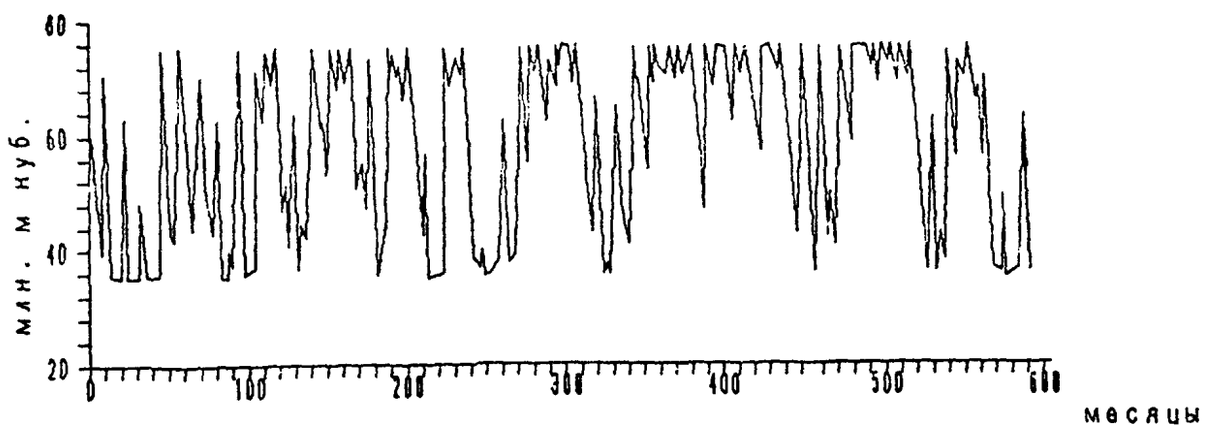


Рис.14б. Хронологический график запасов воды в оз.Удомля-Песьво (неблагоприятная 50-летняя реализация)

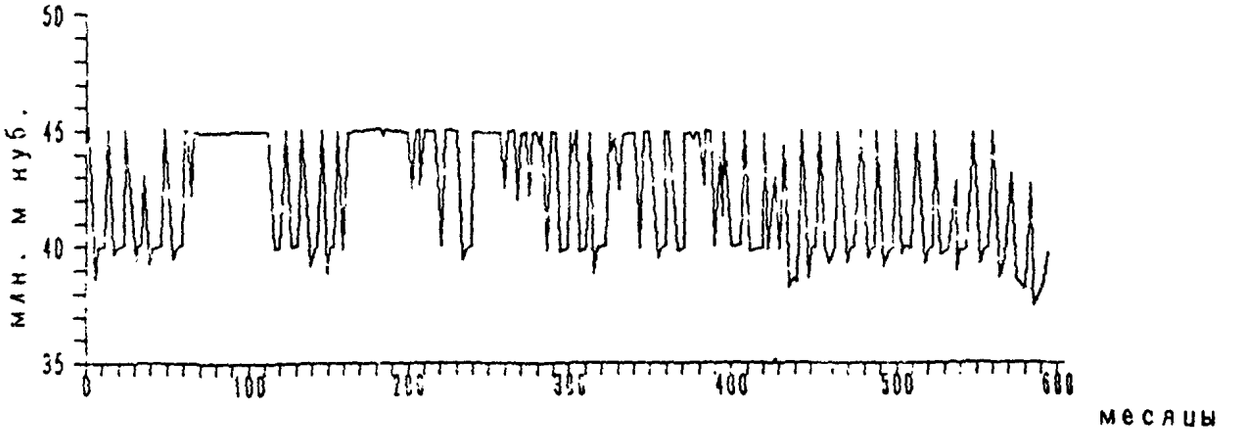


Рис.15а. Хронологический график запасов воды в оз.Кезадра (средняя 50-летняя реализация)

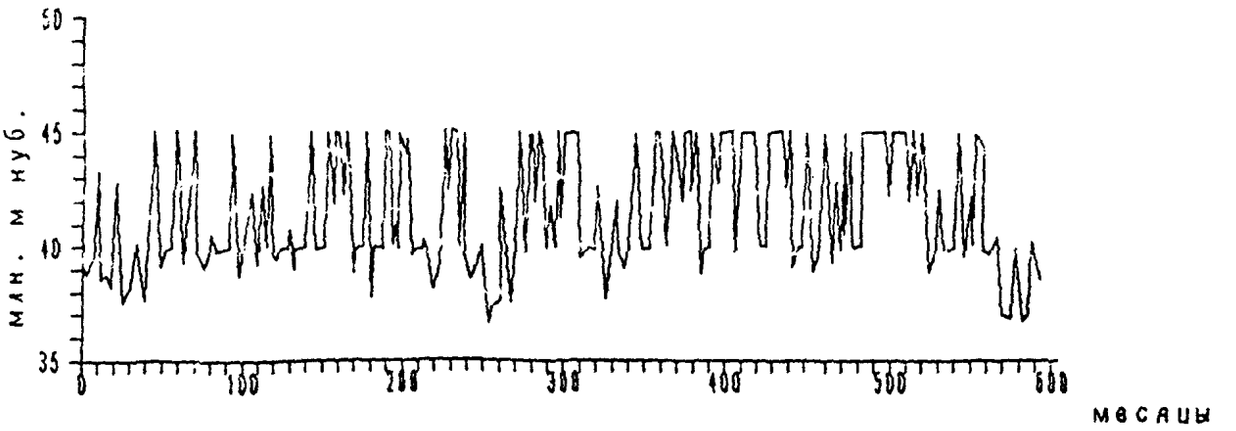


Рис.15б. Хронологический график запасов воды в оз.Кезадра (неблагоприятная 50-летняя реализация)

Таблица 3

Число перебоев продолжительностью t и более месяцев за 10000 лет эксплуатации АЭС в составе 4 энергоблоков при использовании только поверхностных вод (вариант 1) и подземных вод (варианты 2-4) при различной производительности подземного водозабора (1.25, 1.50 и 1.75 м.куб/сек соответственно).

Ва-ри-ант	Глу-бина пере боя	Продолжительность перебоя t месяцев											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	<=12	<=18	<=24
1	>=1	3329	2661	2067	1550	1190	920	708	553	267	7	6	1
	>=2	3240	2518	1941	1390	1041	810	627	446	216	3	3	1
	>=3	3086	2321	1727	1185	872	678	542	347	174	2	2	0
	=4	2662	1977	1329	867	665	534	424	0	0	0	0	0
2	>=1	2505	1430	901	455	187	155	59	26	14	0	0	0
	>=2	1676	842	467	206	35	6	0	0	0	0	0	0
	>=3	626	295	86	13	0	0	0	0	0	0	0	0
	=4	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	>=1	1520	830	510	230	58	11	3	0	0	0	0	0
	>=2	724	424	111	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	>=3	266	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	=4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	>=1	953	579	266	79	9	0	0	0	0	0	0	0
	>=2	477	267	25	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	>=3	115	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	=4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Из рис.8-15 следует:

- потери на дополнительное испарение, наряду с сильно выраженным сезонным ходом, заметно изменяются от года к году (рис.8а и 8б). Провалы графика потерь отвечают остановке одного или более блоков АЭС; для характерной неблагоприятной реализации (рис.8б) имеет место случай снижения до нуля потерь на дополнительное испарение (полная остановка АЭС);

- повторяемость случаев ограничения мощности за счет дефицита воды в средних гидрометеорологических условиях может быть очень редкой и обычно ограничивается остановкой одного блока

(рис.9а); для неблагоприятной гидрометеорологичекой ситуации перебои зачастую не ограничиваются одним блоком (рис.9б);

- соответственный характер имеет хронологический график работы подземного водозабора: в средних гидрометеорологических условиях изъятие подземных вод может не требоваться 10-20 лет подряд (рис.10а); в неблагоприятных - подземный водозабор будет работать, в среднем, 1 раз в 3-4 года (рис.10б);

- заданная величина санитарно-экологического попуска в средних гидрометеорологиеских условиях обеспечивается практически бесперебойно в р.Съежу, а в р.Кезу допустимые для зимнего периода ограничения будут иметь место часто (рис.12а и 11а); в неблагоприятных условиях, естественно, ограничения попуска будут более частыми, но за пределы допускаемого минимума они не выходят (рис.11б и 12б);

- указанные характеристики работы КАЭС и попусков в реки Съежа и Кеза отвечают почти ежегодной работе на полную пропускную способность тракта переброски вод из оз.Кезадра в оз.Удомля (рис.13а и 13б);

- в хронологических графиках уровня озер-водохранилищ отчетливо виден характерный многолетний ход. При этом в средних условиях уровень по нескольку лет подряд может незначительно колебаться относительно нормальной подпорной отметки (рис.14а и 15б); полная сработка полезной емкости будет редкой. В неблагоприятных условиях сработка уровня до отметки мертвого объема имеет место в среднем 1 раз в несколько лет. В оз.Кезадра при неблагоприятных климатических условиях наблюдаются случаи сработки уровня ниже отметки мертвого объема.

Водохозяйственные расчеты, выполненные по моделированным рядам составляющих водного баланса большой длительности (10000 лет), позволяют оценить различные ситуации с водоснабжением КАЭС в ближайшем будущем, например, за 50 лет. С этой целью на рис.16 приведены кривые обеспеченности нескольких характеристик водоснабжения станции, отвечающие 200 пятидесятилетним реализациям (полученным из исходного ряда в 10000 лет).

Из рис.16а видно, что с вероятностью около 20% за 50 лет эксплуатации не будет ни одного перебоя в подаче воды на охлаждение; с вероятностью 50% число лет с перебоями не будет превышать двух, а с вероятностью 5% достигать 8. Соответственно,

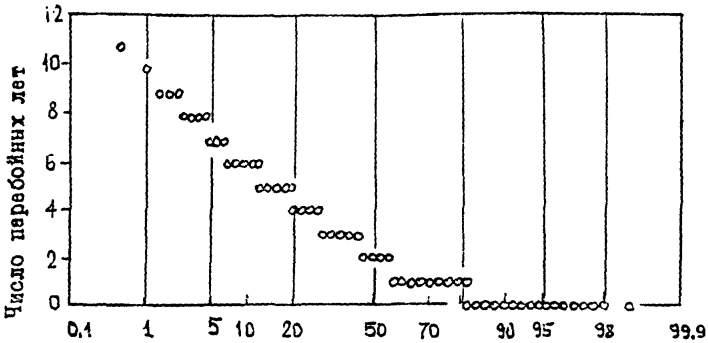


Рис.16а. Кривая обеспеченности числа лет с перебоями в подаче воды на охлаждение АЭС за 50 лет эксплуатации

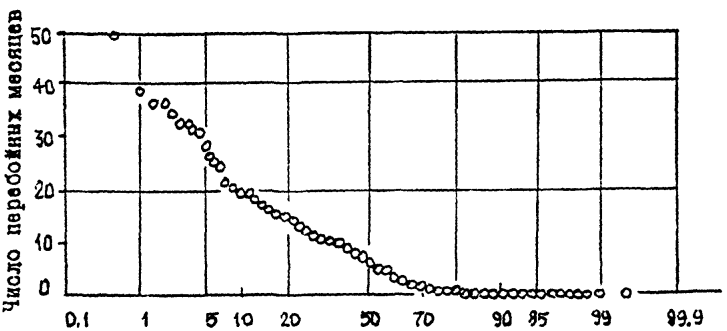


Рис.16б. Кривая обеспеченности числа перебойных месяцев в подаче воды на охлаждение АЭС за 50 лет эксплуатации.

число перебойных месяцев за 50-летний период (рис.16б) с вероятностью 30% будет нулевым, с вероятностью 50 % составит 5, а с вероятностью 5% достигнет 25.

За такой же период с вероятностью около 10% не будет перебоев в осуществлении заданных санитарно-экологических попусков и весенне-летних промывок русла (рис.16в и 16г). С вероятностью 50 % количество перебоев в их осуществлении составит 3-4, а с вероятностью 5 % число перебоев составит 12 в первом случае и 8 во втором.

Большой неравномерностью отличается необходимая регулярность использования подземных горизонтов для водоснабжения (рис.16д). С вероятностью 5% не потребуется ни одного включения за 50 лет; с вероятностью 50 % число месяцев работы за 50 лет составит около 20 и лишь с вероятностью 5% достигнет 50-60. Совершенно очевидно, что исходя из реалий, использование подземных горизонтов не может быть столь редким - режим эксплуатации должен быть более равномерным. Он подлежит обоснованию в Правилах эксплуатации КАЭС.

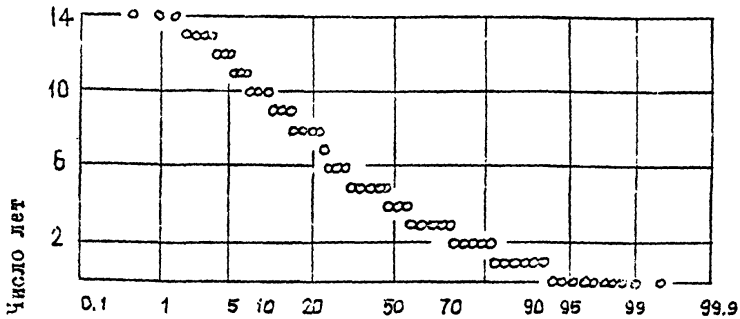


Рис.16а Кривая обеспеченности числа лет с перебоями санитарно-экологического попуска в.р.Съежу за 50 лет эксплуатации.

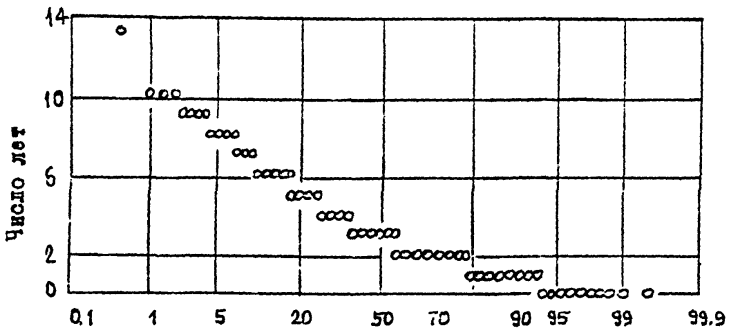


Рис.16б Кривая обеспеченности числа лет с перебоями весенне-летнего попуска на промывку русла р.Съежа за 50 лет эксплуатации.

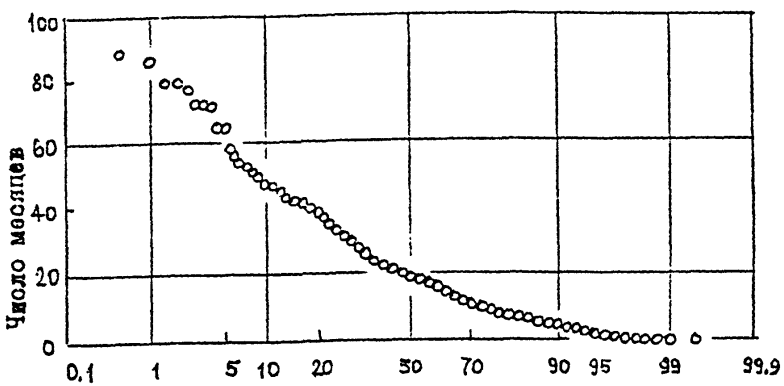


Рис.16 Кривая обеспеченности числа месяцев работы подземного водозабора за 50 лет эксплуатации.

Коэффициенты корреляции между оценками параметров

Параметры распределения	Нормальное распределение	Гамма распределение
Среднее значение	R_{xy}	R_{xy}
Дисперсия σ^2	R_{xy}^2	$\frac{R_{xy}(R_{xy}+2Cv_xCv_y)}{(1+2Cv_x^2)^{1/2}(1+2Cv_y^2)^{1/2}}$
Стандартное отклонение σ	R_{xy}^2	$\frac{R_{xy}(R_{xy}+2Cv_xCv_y)}{(1+2Cv_x^2)^{1/2}(1+2Cv_y^2)^{1/2}}$
Коэффициент изменчивости Cv	$\frac{R_{xy}(R_{xy}+2Cv_xCv_y)}{(1+2Cv_x^2)^{1/2}(1+2Cv_y^2)^{1/2}}$	R_{xy}^2
Коэффициент асимметрии Cs	R_{xy}^3	R_{xy}^3
Отношение Cs/Cv	R_{xy}^3	R_{xy}^3

Приложение 8

Расчет ледово-термических характеристик нижних бьефов и рек, вытекающих из водоемов-охладителей

Изменение температуры воды вдоль потока ниже створа впадения подогретых вод при $\beta_ш = \beta_{ш.ст.} = const$ рассчитывается по формуле:

$$t = (t_{вт} - V_э)\exp[-\frac{\alpha_1\beta(1-\beta_{ш.ст.})}{c\rho Q_\Sigma}(x - x_{ст.})] + V_э \qquad (1)$$

где: $\beta_{ш.ст.}$ - степень покрытия шуго-ледяных образований в створе впадения подогретых вод; $t_{ст}$ определяется по формуле (2.49).

Изменение толщины шуговых образований по длине потока ниже стока теплых вод на участке таяния шуги при $\beta_ш = \beta_{ш.ст.}$ определяется из выражения:

$$\frac{\alpha_ш h_ш}{\lambda_ш} = -1 + 1/(2\alpha_ш\beta_{ш.ст.}t/\alpha_1(t - V_э) - 1 + \beta_{ш.ст.}). \qquad (2)$$

где: $\alpha_ш$ - коэффициент теплообмена между водой и шугой, движущейся вместе с потоком:

$$\alpha_ш = 0.0693V^{0.8}(c\rho)^{0.8}\lambda^{0.8}/h_ш^{0.2}$$

где: $\lambda_ш$ - коэффициент теплопроводности шуги; $h_и$- толщина шуго-ледяных образований: $h_ш = h_и\beta_{ш.ст.}$; $h_и$- минимальная устойчивая толщина льда на кромке.

Оценка длины полыньи по определению расположения створа в котором таяние прекращается:

$$x_{lim} = -\frac{c\rho Q_\Sigma}{\alpha_1\beta(1-\beta_{ш.ст})}\ln\{\frac{-V_э}{t_{ст} - V_э}[\frac{\alpha_1(1-\beta_{ш.ст})}{\alpha_ш\beta_{ш.ст}} - 1]\} \qquad (3)$$

Если полного таяния шуги не происходит, то в створе стока может образоваться ледяной покров.

Оценка длины полыньи на основании расчета положения створа, в котором имеет место полное таяние (толщина шуговых образований равна 0).

$$x_{h_ш=0} = -\frac{c\rho Q_\Sigma}{\alpha_1\beta(1-\beta_{ш.ст})}\ln\{\frac{-V_э}{t_{ст} - V_э}[\frac{\alpha_1(2-\beta_{ш.ст})}{2\alpha_ш\beta_{ш.ст}} - 1]\} \qquad (4)$$

Если $x_{lim} > x_{h_в=0}$, то имеет место полное таяние шуги и расчет таяния шуги под влиянием тепловых стоков ведется только до продольной координаты $x = x_{h_в=0}$. Затем по формуле (1) находится температура воды в этом створе и весь расчет ледовотермического режима н.б. начинается сначала, но за исходную температуру принимается температура воды в створе $x = x_{h_в=0}$.

Если $x_{lim} < x_{h_в=0}$, то шуга полностью не тает. Расход в створе Xlim в этом случае

$$Q_ш = \beta V h_{шlim} \beta_{ш.ст} \qquad (5)$$

Начиная с этого створа имеет место обычный процесс шугообразования.

Уменьшение расхода шуги за счет таяния удлиняет шугообразующий участок на величину:

$$\Delta x_ш = [2h_н \sigma \rho_ш V / \alpha_1(-V_э)]\Delta X_ш \qquad (6)$$

$\Delta X_ш$ определяется по графику (рис.1) как разность значений параметра X при двух значениях параметра Qш:

$$\overline{Q}_{ш.ст} = Q_{ш.ст} / bh_н V = V\beta_{ш.ст} h_{ш.ст} b / bh_н V = \beta^2_{ш.ст} \qquad (7)$$

$$\overline{Q}_{ш.lim} = Q_{ш.lim} / bh_н V = \beta_{ш.ст} h_{ш,xlim} / h_н \qquad (8)$$

Если полного таяния шуги не происходит, то в створе стока может образовываться ледяной покров.

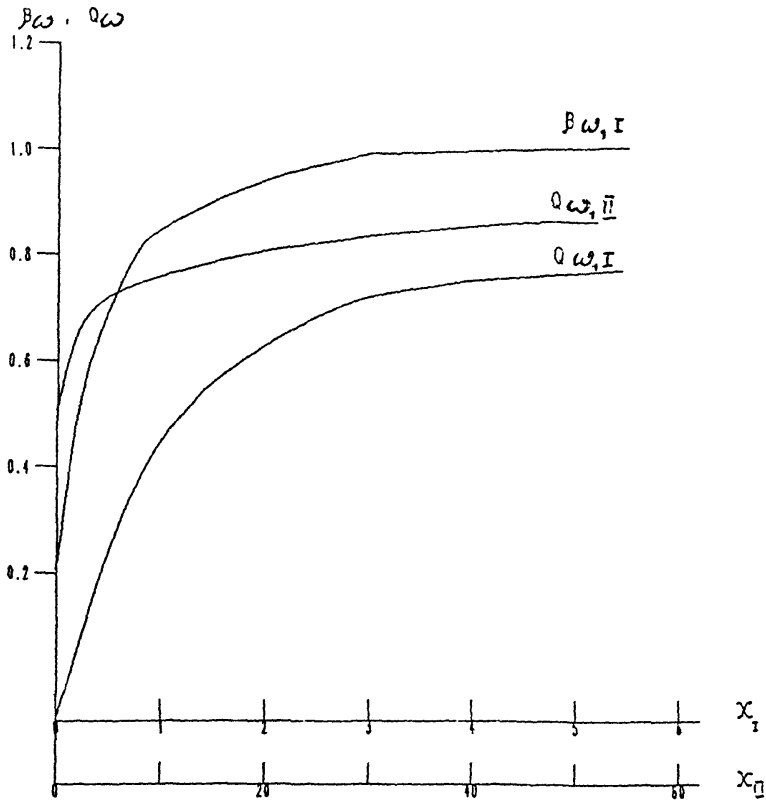


Рис. 1. Степень покрытия водной поверхности шугой (β) и расход шуги (в безразмерной параметрической форме)

Приложение 9

Расчет таяния льда в случае расположения стока теплых вод под ледяным покровом

В этом варианте выполняется расчет таяния льда.

Изменение температуры воды под ледяным покровом рассчитывается по формуле:

$$t = t_{ст} \exp[-\alpha_2 b(x - x_{ст}) / c\rho Q_\Sigma \qquad (1)$$

Где: $t_{ст}$- температура стока до смешения с основным потоком; α_2- коэффициент теплоотдачи от воды ко льду.

Рассматривается уравнение теплового баланса на границе фазового перехода в виде:

$$\sigma\rho_л \frac{dh_л}{d\tau} = S_B + \frac{V_э}{\frac{1}{\alpha_э} + \frac{h_л}{\lambda_л}} \qquad (2)$$

где: $S_B = \alpha_2 t_в$; ρл - плотность льда; λл - коэффициент теплопроводности льда, σ - скрытая теплота льдообразования.

Если $\frac{\alpha_2 t_в}{\alpha_э(-V_э)} \geq (\frac{\alpha_э h_л}{\lambda_л} + 1)^{-1}$, то имеет место таяние ледяного покрова;

Если $\frac{\alpha_2 t_в}{\alpha_э(-V_э)} < (\frac{\alpha_э h_л}{\lambda_л} + 1)^{-1}$, то толщина льда увеличивается.

Длина полыньи ниже стока определяется из условия равенства температуры воды на кромке льда нулю градусов:

$$x_{пол} = (c\rho Q_\Sigma / \alpha_1 b)\ln(1 - q_{ст} / c\rho Q_\Sigma V_э \qquad (3)$$

где: $q_{ст}$ - мощность стока; $\frac{q_{ст}}{c\rho Q_\Sigma} = t_{ст}$ - температура в створе стока;

α_1 - коэффициент теплообмена воды с воздухом, b - ширина потока; С, ρ - удельная теплоемкость и плотность воды соответственно; $Q_\Sigma = Q_0 + Q_{ст}$; Qo - расход основного потока, Qст - расход стока, Vэ - эквивалентная температура воздуха.

Приложение 10

Расчет интенсивности шугообразования и общего количества шуги

Интенсивность шугообразования Pz рассчитывается по данным о теплообмене водной поверхности с атмосферой So и характеристикам волнения по формуле :

$$P_z = \frac{S_0}{h_b\sqrt{\eta m/\tau_b}} \frac{ch[(h-z)/(h_b\sqrt{\eta m/\tau_b})]}{ch[h/(h_b\sqrt{\eta m/\tau_b})]} \qquad (1)$$

где: Pz - интенсивность шугообразования на глубине z, вт/м куб., h - глубина водоема, м; h_b и τ_b - соответственно высота (м) и период (с) волны; m - период появления первичных кристаллов льда, с; η - безразмерный коэффициент, равный 0.028.

Период появления первичных кристаллов льда определяется по формуле:

$$m = 0.116 L\rho_л h/S_0 \qquad (2)$$

где: L - удельная теплота ледообразования, равная 335 кДж/кг, ρ - плотность льда, равная 920 кг/м куб.

Для глубоководных водоемов при определении m вместо h используется глубина активной зоны, равная ~ $9h_b$

Значения h_b и τ_b определяются по номограммам.

Общее количество шуги, образующееся в период замерзания водоема-охладителя, за любой интервал времени определяется на основе данных о теплопотерях и размерах участка ледообразования по формуле:

$$N = 86.4 f \sum_{i=1}^{n} K_0 S_0 \tau/(\rho_л h) \qquad (3)$$

где: N - общее количество льда на участке, м куб.; f - площадь расчетного участка, м кв.; τ - период времени, сут.; Ко - коэффициент уменьшения теплообмена замерзающей акватории по сравнению с теплообменом открытой поверхности:

$$K_0 = 1 - 0.18\alpha - h_л B\alpha \qquad (4)$$

где: α - коэффициент, характеризующий степень покрытия водной поверхности льдом в долях единицы, определяемый по выражению $\alpha = 163 S_0/(L\rho_л h_b)$; B - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от толщины льда (шуги) hл:

$\alpha = 163S_0/(L\rho_л h_b)$; B - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от толщины льда (шуги) hл:

hл, м	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
B	2,4	2,2	2,0	1,5	1,3	1,1

a - коэффициент, характеризующий количество льда, приходящего на единицу водной поверхности, кг/м кв., вычисляется по формуле: $a = 0.53\rho_л h_b$.

Приложение 11

Оценка изменения площади ледового покрытия за зиму

При наличии материалов наблюдений за характеристиками ледово-термического режима ВО АЭС для оценки влияния тепловых сбросов на площадь ледового покрытия в ВО рекомендуется использовать следующий полуэмпирический подход:

1. Определяется приближенно величина интеграла ледового покрытия за зиму на основе данных стандартных наблюдений за продолжительностью осенних, зимних и весенних ледовых явлений, выполненных до ввода АЭС (рис.1 а) по формуле:

$$S_{инт} = \left(\frac{t_{ос}}{2} + t_{зим} + \frac{t_{вес}}{2}\right) \qquad (1)$$

2. По данным о температуре воздуха за период до ввода АЭС и после ввода АЭС вычисляется среднезимняя (октябрь-апрель) температура - показатель суровости зимы.

3. Для оценки влияния суровости зимы на ледовые условия строится эмпирическая связь интегральной площади ледового покрова (п.1) и среднезимней температуры воздуха Т ср (рис.2).

4. Для периода эксплуатации АЭС аналогично определяется приближенно интеграл от площади ледового покрытия ВО за зиму (рис.1 б)

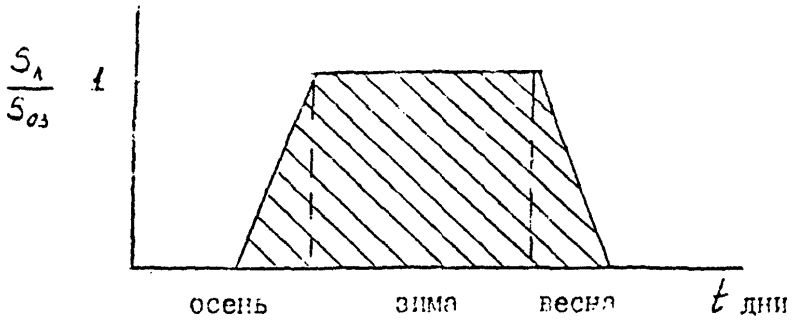
$$S_{инт} = \sum (t_{i+1} - t_i)\frac{S_{i+1} + S_i}{2} \qquad (2)$$

5. По данным за период эксплуатации оценивается среднезимняя тепловая нагрузка

$$Qцирк.(tст.- tзаб.) \qquad (3)$$

6. Определяется разность теоретического интеграла от площади ледового покрытия, вычисленного по соответственным величинам среднезимних температур воздуха для периода эксплуатации АЭС (п.3) и фактических значений интеграла, полученных из наблюденных характеристик площади ледового покрова (п.4). При этом значения Тср берутся для соответствующих лет.

а)



б)

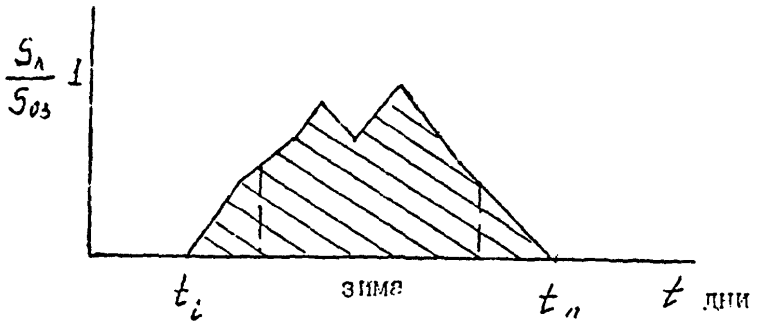


Рис. I Схема интегральной величины ледового покрытия на озерах Песьво и Удомля до ввода КАЭС -а) и после ввода КАЭС - б).

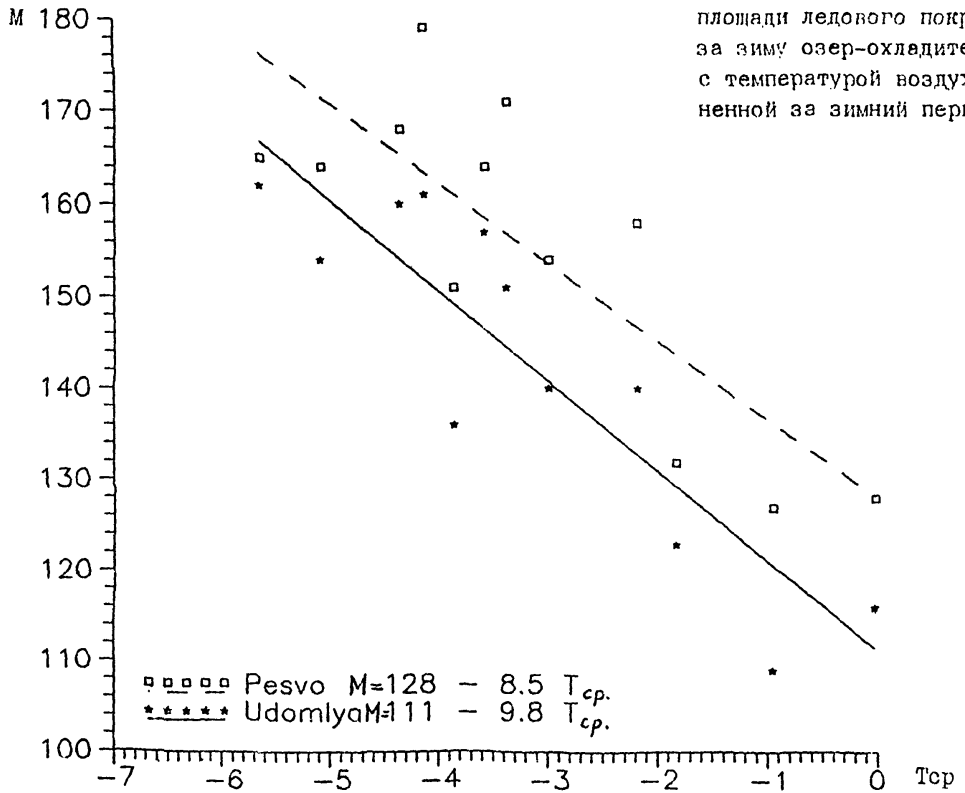


Рис. 2 Связь интегральной площади ледового покрытия за зиму озер-охладителей с температурой воздуха, осредненной за зимний период

7. Исследуется зависимость этой разности (п.6) от тепловой нагрузки АЭС на водоем-охладитель (рис.3).

8. Исследуется зависимость отношения фактических и теоретических величин интеграла площади ледового покрова от тепловой нагрузки.

Использование этого подхода позволяет вычислить зависимость площади льда на ВО от тепловой нагрузки АЭС путем раздельного учета ее зависимости от среднезимней температуры (показатель суровости зимы) и от тепловой нагрузки. Полученные связи интегральных характеристик площади ледового покрытия с величинами среднезимней температуры воздуха и тепловой нагрузкой могут быть использованы для оценки различий в площади льда ВО при изменяющихся гидрометеорологических условиях и режима работы АЭС для рассмотренного диапазона величин.

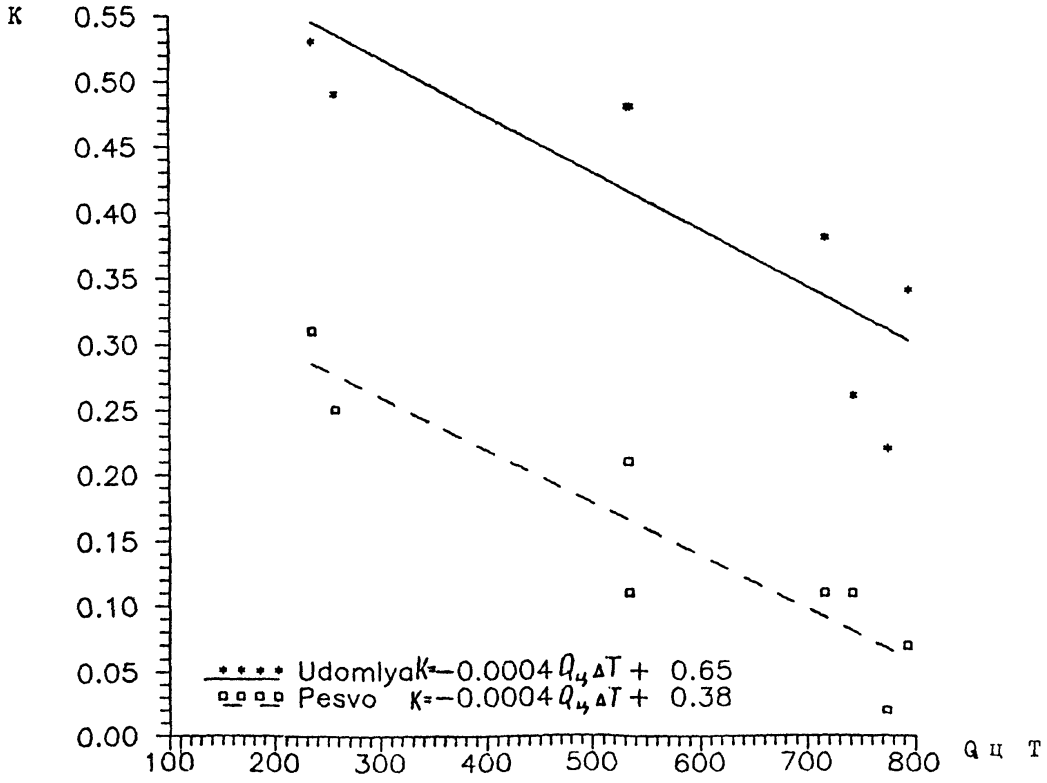


Рис. 3. Связь интегральной площади ледового покрытия озер-охладителей с тепловой нагрузкой. К – отношение площадей

Приложение 12

Таблицы гидрофизических характеристик

Таблица 1.

Значения коэффициента B

hл, м	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
B	2,4	2,2	2,0	1,5	1,3	1,1

Таблица 2.

Значения коэффициента ψ

X, км	5	10	20
ψ	0,57	0,35	1,21

Таблица 3.

Значения коэффициента K*

S, м/с	h, м							
	5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36
0,	0,18	0,15	0,07	0	0	0	0	0
0,002	0,27	0,23	0,16	0,09	0,02	0	0	0
0,005	0,38	0,34	0,27	0,20	0,13	0,06	0	0
0,010	0,46	0,43	0,35	0,29	0,21	0,15	0,10	0,05
0,020	0,55	0,52	0,44	0,37	0,30	0,23	0,18	0,15
0,050	0,66	0,63	0,56	0,49	0,41	0,35	0,30	0,25
0,100	0,76	0,71	0,64	0,57	0,51	0,43	0,38	0,33
0,200	0,85	0,80	0,73	0,66	0,59	0,52	0,47	0,42
0,300	0,90	0,86	0,79	0,72	0,64	0,58	0,52	0,47
0,400	0,93	0,90	0,82	0,75	0,67	0,61	0,55	0,52
0,500	0,96	0,92	0,85	0,77	0,70	0,63	0,58	0,53

Таблица 4

Значения выражения $\exp(-Ch_e^{0,6})$ для различных значений hл

hл	exp(.)	hл	exp(.)	hл	exp(.)	hл	exp(.)
1	0,848	26	0,311	51	0,174	76	0,110
2	0,778	27	0,303	52	0,170	77	0,108
3	0,727	28	0,295	53	0,167	78	0,106
4	0,685	29	0,288	54	0,164	79	0,104
5	0,648	30	0,281	55	0,161	80	0,102
6	0,617	31	0,274	56	0,158	81	0,100
7	0,589	32	0,267	57	0,155	82	0,098
8	0,563	33	0,261	58	0,152	83	0,096
9	0,541	34	0,255	59	0,149	84	0,094
10	0,519	35	0,249	60	0,146	85	0,092
11	0,499	36	0,243	61	0,143	86	0,090
12	0,480	37	0,237	62	0,140	87	0,089
13	0,463	38	0,231	63	0,137	88	0,086
14	0,447	39	0,226	64	0,134	89	0,085
15	0,432	40	0,221	65	0,132	90	0,084
16	0,419	41	0,216	66	0,130	91	0,083
17	0,406	42	0,211	67	0,128	92	0,082
18	0,394	43	0,207	68	0,126	93	0,081
19	0,382	44	0,203	69	0,124	94	0,080
20	0,370	45	0,199	70	0,122	95	0,079
21	0,360	46	0,194	71	0,120	96	0,078
22	0,350	47	0,190	72	0,118	97	0,077
23	0,340	48	0,186	73	0,116	98	0,076
24	0,330	49	0,182	74	0,114	99	0,075
25	0,320	50	0,176	75	0,112	100	0,074

Таблица 5

Величины объемной теплоты таяния для нижнего и верхнего стоя стаивания, Дж/см.куб.

S	L*	L**	S	L*	L**
0,42	307	308	20,0	276	297
2,10	305	307	25,2	270	295
3,35	303	306	29,3	264	293
4,19	301	305	33,5	258	291
8,37	295	304	37,7	251	280
12,6	289	301	41,9	245	287
16,7	283	299			

Таблица 6

Плотность свежевыпавшего снега, кг/м.куб.

Источник	U , м/с				
	3	5	10	15	20
Г.Д.Рихтер	60	100	200	260	330
В.М.Котляков			310	380	410
Изучения на Рыбинском водохранилище		100	250	340	

Значения коэффициентов C1, C2 и C3

Таблица 7

Диапазоны температуры поверхности льда (снега), (град.С)	C1	C2	C3
0 ... -4,5	8,22	2,95	9,80
-4,6 ... -10,6	7,90	2,65	8,46
-10,7 ... -17,0	7,55	2,26	7,74
-17,1 ... -29,0	7,06	1,31	6,90
-29,1 ... -40,0	6,50	0,63	6,06

Изменение параметра β

Таблица 8

Водохранилище	Диапазон изменений β
Кременчугское	1,6 ± 0,2
Цимлянское	1,8 ± 0,3
Бухтарминское	1,6 ± 0,4
Новосибирское	2,0 ± 0,2

Приложение 13

Нормативы и расчетные методики для прогноза качества воды

1. Предельно допустимые значения показателей качества воды (ПДЗ)

Таблица 1

ПДК обязательных показателей качества воды

Ингредиент	Единицы измерения	Умеренный уровень загрязнения	Рекреационное водопользование без ограничений	Централизованное хоз. питьевое водоснабжение	Рыбохозяйственное водопользование
$N-NH_4$	мг/л	4	1	1	0.39
$N-NO_2$	- " -	3	1	1	0.02
$БПК_n$	- " -	8	3	7	3
ХПК	- " -	-	15	-	-
t самого жаркого месяца в водных объектах, где не обитают холодноводные рыбы (лососевые, сиговые)	°С	- t + 3	- t + 3	- t + 3	28
t самого жаркого месяца в водных объектах, где обитают холодноводные рыбы	- " -	- t + 3	- t + 3	- t + 3	20
Приращение t самого жаркого месяца в водных объектах, где не обитают холодноводные рыбы	- " -	- t + 3	- t + 3	- t + 3	-
Приращение t самого жаркого месяца в водных объектах, где обитают холодноводные рыбы	- " -	- t + 3	- t + 3	- t + 3	5
Зимняя t в водных объектах, где не обитают холодноводные рыбы	- " -	- t + 3	- t + 3	- t + 3	8
Зимняя t в местах нерестилищ налима	- " -	- t + 3	- t + 3	- t + 3	2
Зимняя t в водных объектах, где обитают холодноводные рыбы	- " -	- t + 3	- t + 3	- t + 3	5
Нефтепродукты	мг/л	-	-	-	0.05
Керосин технический	- " -	0.04	0.01	0.01	-
Керосин окислен.	- " -	0.04	0.01	0.01	-
Керосин тракторный (ГОСТ 1842-52)	- " -	0.04	0.01	0.01	-
Бензин	- " -	0.4	0.1	0.1	-
Fe общее	- " -	1.2	0.3	5	0.1
Минерализация	г/л	-	1	1ю5	Данные местных рыбохозорганизаций
Взвешенные вещества для водоемов, где их фоновая концентрация в межень менее или равна 30 мг/л	мг/л	-	$C_ф$+0.75	10000	$C_ф$+0.75
Взвешенные вещества для водоемов, где их фоновая концентрация больше 30 мг/л	- " -	-	1.05 $C_ф$	10000	1.05 $C_ф$

Обозначения таблицы 1:

$N\text{-}NH_4$ - аммонийный азот;

$N\text{-}NO_2$ - нитритный азот;

БПКп - полное биохимическое потребление кислорода;

ХПК - химическое потребление кислорода;

t - температура воды;

$\bar{t}$ - максимальная среднемесячная температура воды за последние 10 лет;

$C_ф$ - фоновая концентрация.

2. Расчет массообмена между эпилимнионом и гиполимнионом

Поток загрязняющего вещества между эпилимнионом и гиполимнионом определяется по соотношению:

$$G = \frac{D_z F}{L} (C_e - C_h), \qquad (1)$$

где G - поток загрязняющего вещества, г/с;

F - площадь поверхности раздела между эпилимнионом и гиполимнионом, $м^3$;

C_e и C_h - концентрации загрязняющего вещества в эпилимнионе и гиполимнионе соответственно, $г/м^3$;

L - среднее характерное расстояние между эпилимнионом и гиполимнионом, м;

D - коэффициент вертикальной турбулентной диффузии, м:

$$\frac{D_z}{D_{zo}} = (1 + 3.33\ R_i)^{-1.5}$$

R_i - число Ричардсона: $$R_i = \frac{g}{\rho}\frac{d\rho}{dz} \Big/ \left(\frac{du}{dz}\right)^2$$

$$D_{zo} = \frac{1}{Pr} - A_{zo}$$

Pr - число Прандтля;

A_{zo} - коэффициент турбулентной вязкости:

$$A_{zo} = k\ z\ U_*\ (1 - z/h)$$

k - константа Кармана (≈ 0.4);

z - расстояние до дна, м;

U_* - динамическая скорость, м/с;

h - глубина водоема, м;

p - плотность, кг/м^3;

U - средняя горизонтальная скорость течения, м/с;

g- ускорение силы тяжести, м/с^2.

3. Расчет водообмена между сегментами водоема

3.1. Разбиение водоема на сегменты

3.1.1. При отсутствии плотностной стратификации выделенные сегменты водоема должны удовлетворять следующим требованиям:

а). Максимальный линейный размер сегмента не должен превышать 20 км.

б). Вытянутость сегмента, соотношение максимальной длины к средней ширине, не должна превышать 20.

в). Минимальный период водообмена каждого из выделенных сегментов должен быть больше величины расчетного периода Δt - шага расчета по времени:

$$T_в = \frac{2W}{Q_{пр} + Q_{от}} >> \Delta t \qquad (2)$$

где T - период водообмена, сут;

W - объем сегмента, м^3;

$Q_{пр}$, $Q_{от}$ - расход притока и оттока, м^3 /сут;

Δt - расчетный шаг, сут.

Величина Δt обычно выбирается равной 5 сут, а размер сегмента водоема так, чтобы $T_в = (6 \div 10)\ \Delta t$.

г). Если технологический водозабор осуществляется из того же водоема, разбиение водохранилища на сегменты осуществляется таким образом, чтобы водозабор и водовыпуск находились в разных сегментах.

3.1.2. Разбиение водоема на сегменты при наличии плотностной стратификации

Осуществляется по требованиям, изложенным в пункте 3.1.1., и дополнительному правилу:

сегменты, выделенные по правилам п.3.1.1. на акваториях, характеризующихся плотностной стратификацией, делятся на два сегмента по слою скачка.

3.2. Расчет горизонтального водообмена между сегментами

Определение горизонтального водообмена между отдельными сегментами водохранилища производится на основе водного баланса ($м^3$). Изменение объема воды в чаше водохранилища за расчетный интервал времени

$$\Delta W = \sum^{n} W_{пi} + \sum^{n} W_{осi} - \sum^{n} W_{исi} - \sum^{n} W_{отi} + \sum^{n} W_{сбi} + \sum^{n} W_{лi} + \sum^{n} W_{фi}, \qquad (3)$$

где

$W_{пi}$- объем поверхностного (речного) стока в i-тый сегмент водохранилища;

$W_{осi}$- объем осадков на площадь зеркала сегмента;

$W_{исi}$- объем испарения;

$W_{отi}$- объем отборов воды и попусков в нижний бьеф;

$W_{сбi}$- объем сбросов сточных вод в сегмент;

$W_{лi}$- потери (поступление) воды на льдообразование (таяние);

$W_{фi}$- потери (поступление) воды за счет фильтрации;

n - число сегментов.

Зная запас воды в водохранилище на начало и конец расчетного периода и определив по батиграфической кривой отметки уровня Z_1 и Z_2 на начало и конец расчетного периода по частным батиграфическим кривым, построенным для каждого из сегментов водохранилища, определяются значения W_c - приращения объема по каждому из отсеков водохранилища, при этом должно соблюдаться условие:

$$\Delta W = \sum^{n} W_{ci}, \qquad (4)$$

Теперь для всех сегментов водохранилища, расположенных в зоне выклинивания подпора и в передних частях крупных заливов, имеющих общую границу только с одним соседним j-тым сегментом, можно определить величину водообмена W_{Bij} с этим сегментом:

$$W_{bik} = W_{Ni}+W_{Oci}-W_{Ici}-W_{Oti}+W_{Csi}+W_{Ji}+W_{Fi}-W_{Ci} , \qquad (5)$$

При этом величина водообмена W_{Bij} между i-тым и j-тым сегментами может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Положительное значение показывает. что вода поступает из i-того отсека в j-тый; отрицательное - наоборот.

На последующих шагах расчета определяют номера сегментов, имеющих общую границу только с одним, ранее не рассчитанным отсеком (сегментом). Так, если сегмент j граничит только с сегментами i и k, и водообмен между сегментами i и j уже определен, то водообмен между сегментами j и k определяется по формуле:

$$W_{bij} = W_{Nj}+W_{Ocj}-W_{Icj}-W_{Otj}+W_{Csj}+W_{Jj}+W_{Fj}+W_{Bij}-W_{Cj} , \qquad (6)$$

Такая схема позволяет рассчитывать водообмен между отсеками в водохранилищах самой различной конфигурации. При этом существует *только одно ограничение* - граница раздела между сегментами должна полностью охватывать все живое сечение потока, т.е. проходить от берега до берега.

Кроме этого, при прогнозе качества воды необходимо учитывать составляющую водообмена, обусловленную ветро-волновыми течениями:

$$Q_{ВЕТ}=1.3U_{ВЕТ}\Omega_{jk} , \qquad (7)$$

где $U_{ВЕТ}$ - скорость ветрового течения (ориентировочно можно принимать $U_{ВЕТ} = 0.014*V_a$ (V_a - скорость ветра); Q_{jk} - площадь сечения между j-ым и к-ым сегментами.

4. Расчет содержания загрязняющих веществ в сбросных водах

Содержание загрязняющих веществ в сбросных водах определяется по соотношению:

$$C_{сб} = C_{вз} + \frac{G^{(д)}}{Q_{сб}}, \qquad (8)$$

где $C_{вз}$ - концентрация загрязняющего вещества в створе водозабора;

$G^{(д)}$ - дополнительный поток примеси, попадающий в воду во время прохождения технологического цикла;

$Q_{сб}$ - расход сбросных вод.

Биомасса фитопланктона в сбросных водах определяется как

$$B_{сб} = f\, B_{вз}, \qquad (9)$$

f - коэффициент, учитывающий гибель планктона при прохождении технологического цикла (f = 0.6 - 0.7);

$B_{сб}$, $B_{вз}$ биомасса в сбросных и забираемых водоемах, кг.

Точное значение f можно определить путем организации специальных натурных исследований на АЭС-аналоге.

Содержание аммонийного азота, фосфатного фосфора и БПК с учетом гибели фитопланктона:

$$C_{сб}^{ам} = C_{вз} + \gamma(1-f)B_{вз}, \qquad (10)$$

$$C_{сб}^{ф} = C_{вз} + \gamma_1(1-f)B_{вз},$$

$$C_{сб}^{БПК} = C_{вз} + \gamma_2(1-f)B_{вз},$$

Коэффициенты γ и γ_1 показывают содержание азота и фосфора в биомассе фитопланктона (γ= 0.013; γ_1 = 0.009), коэффициент γ_2 показывает увеличение БПК при отмирании фитопланктона (γ_2 = 1.5).

5. Расчет концентраций загрязняющих веществ в сегменте водного объекта при изменении термического режима

5.1. Консервативные примеси

Расчет концентраций консервативной примеси в сегменте водохранилища выполняется по формулам (11) и (12)

а) при постоянном объеме:

$$C = C_p + (C_o + C_p)\exp[-(\Sigma Q_{пр} + \Sigma Q_c + Q_{сб} - Q_{исп})\Delta t/W],$$

$$\text{где } C_p = \frac{\Sigma C_{пр}\, Q_{пр} + \Sigma (C_c Q_c + C_{сб} Q_{сб} + G)}{\Sigma Q_{пр} + \Sigma (Q_c + Q_{сб} - Q_{исп})}, \qquad (11)$$

б) при переменном объеме:

$$C = C_p + (C_o + C_p)\ (W_o/W)^B, \qquad (12)$$

$$\text{где } C_p = \frac{\Sigma C_{пр}\, Q_{пр} + \Sigma (C_c Q_c + C_{сб} Q_{сб} + G)}{\Sigma Q_{пр} - \Sigma Q_{от} + \Sigma (Q_c + Q_{сб} - Q_{исп})}$$

$$B = \frac{\Sigma Q_{пр} + \Sigma (Q_c + Q_{сб} - Q_{исп})}{\Sigma Q_{пр} + \Sigma (Q_c + Q_{сб} - Q_{исп} - Q_{от})},$$

где

$Q_{пр}$ -расход поверхностного притока в сегмент, $м^3$/сут;

ΣQ_c - приток воды из смежных сегментов, $м^3$/сут;

$Q_{сб}$ - расход сбросных вод, $м^3$/сут.;

$\Sigma Q_{от}$ - отток из сегмента, включая водозабор, $м^3$/сут.;

$Q_{исп}$ - испарение из сегмента водохранилища, $м^3$/сут;

G - поток вещества из диффузных неконтролируемых источников. Определяется по отдельным прогностическим методикам НИИ, г/сут.;

$C_{пр}$, C_c, $C_{сб}$ - соответственно концентрации загрязняющих веществ в речном притоке, притоке из смежных сегментов и сбросных водах, мг/л.

Расчет концентраций загрязняющих веществ в наиболее загрязненной струе в реке определяется по формуле (13).

$$C_{max} = \left\{ C_{сб} - (C_ф - C_{сб}) \left[\sum_{n=1}^{\infty} erfc \frac{(2n-1)B - B_2}{2\sqrt{t}} - \sum_{n=1}^{\infty} erfc \frac{(2n-1)B + B_2}{2\sqrt{t}} \right] \right\}, \qquad (13)$$

где $erfc(z)=1-erf(z)$; $erf(z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-x^2} dx$ - интеграл ошибок;

$C_ф$ - концентрация загрязняющего вещества в реке перед сбросом, мг/л;

B - ширина реки, м.

Параметры B_2 и t определяются по соотношениям:

$$B_2 = B\,Q_{сб} / (Q_р + Q_{сб}) ; \qquad t = D_y x/U$$

Здесь $Q_{сб}$ и Qр - расход сбросных вод и реки соответственно;

x - расстояние до контрольного створа, м;

U - скорость течения реки, м/с;

D_y - коэффициент поперечной дисперсии:

$$D_y/(U_*H) = A(B/H)^{3/2}$$

H и U_* - глубина потока и динамическая скорость ($A \approx 2*10^{-3}$)

5.2. Неконсервативные примеси

Расчет концентраций неконсервативной примеси в сегменте водохранилища осуществляется по формулам (14) и (15):

а) при постоянном объеме

$$C = C_р + (C_о + C_р)\,\exp[-(\Sigma Q_{пр} + \Sigma Q_с + Q_{сб} - Q_{исп} + K_н W)\Delta t/W\,],$$

где
$$C_р = \frac{\Sigma C_{пр}\,Q_{пр} + \Sigma C_с Q_с + C_{сб} Q_{сб} + G}{\Sigma Q_{пр} + \Sigma Q_с + Q_{сб} - Q_{исп} + K_н W}, \qquad (14)$$

б) при переменном объеме

$$W = W_р + (\Sigma Q_{пр} - Q_{от} + Q_{сб} - Q_{исп} + \Sigma Q_с)\Delta t,$$

$$C = C_р\,[1-(W_о/W)^A] + C_о (W_о/W)^A, \qquad (15)$$

$$A = \frac{\Sigma Q_{пр} + \Sigma Q_с + Q_{сб} - Q_{исп} + K_н W_{ср}}{\Sigma Q_{пр} + \Sigma Q_с + \Sigma Q_{сб} + Q_{исп} - Q_{от}}, \qquad W_{ср} = \frac{W + W_о}{2}$$

Здесь

$K_н$ - коэффициент неконсервативности, сут. , определяется по таблице 2;

$Q_{пр}$- расход поверхностного притока в сегмент, м /сут;

$Q_{с}$- приток воды из смежных сегментов, м /сут;

$Q_{сб}$- расход сбросных вод, м /сут;

$Q_{от}$- отток из сегмента (включая водозабор), м /сут;

$Q_{исп}$- испарение из сегмента водохранилища, м /сут;

G - поток вещества из диффузных (неконтролируемых) источников (определяется методом подбора при верификационных расчетах), г/сут;

$C_{пр}$, $C_{с}$, $C_{сб}$- соответствующие концентрации загрязняющих веществ, мг/л.

Влияние температуры на процессы биохимической трансформации вещества определяется по выражению:

$$K_H = K_{20}(1.12(1+T)^{-0.022})^{T-20} \quad , \qquad (16)$$

где K_{20} - константа неконсервативности, определенная для данного загрязняющего вещества при температуре 20° С, Т - температура воды в сегменте, ° С.

Расчет концентраций неконсервативных примесей в реке производится по формуле (13).

5.3. Фитопланктон

Расчет биомассы фитопланктона в сегменте водохранилища может осуществляться на основе трансцендентного уравнения (17)

$$\frac{2aB+b-\sqrt{b^2-4ad}}{2aB_o+b-\sqrt{b^2-4ad}}\cdot\frac{2aB_o+b+\sqrt{b^2-4ad}}{2aB+b+\sqrt{b^2-4ad}}\cdot\left(\frac{ab^2+bB+d}{aB_0^2+bB_o+d}\right)^{\beta}=\frac{\exp(2a\sqrt{b^2-4ad}}{(2a\varepsilon_o-b\varepsilon_1)\Delta t} \qquad (17)$$

$$\beta=\varepsilon_1\sqrt{b^2-4ad}/(2a\varepsilon_0-b\varepsilon_1)$$

Здесь B и B_0 - биомасса фитопланктона на начало и конец расчетного периода в сегменте, г;

$a = -\varepsilon_1(R+S+M+Q_{от}/W)$;

$b = \mu/H-\varepsilon_0(R+S+M+Q_{от}/W)+\varepsilon_1(\sum B_{пр}Q_{пр}+\sum B_cQ_c+B_{сб}Q_{сб})/W$;

$d = \varepsilon_0(\sum B_{пр}Q_{пр}+\sum B_cQ_c+B_{сб}Q_{сб})/W$;

μ- интенсивность роста фитопланктона;

$$\mu = \mu_{max}(1.04)^{-|T_{опт}-T|}\left(\frac{C_N}{C_N+K_N^{(m)}}\right)\left(\frac{C_P}{C_P+K_P^{(m)}}\right)\left(\frac{C_C}{C_C+K_C^{(m)}}\right)F(I), \qquad (18)$$

μ_{max}- максимальная скорость роста фитопланктона (1.2 1/сут);

$T_{опт}$ - оптимальная температура для развития фитопланктона;

C_N, C_P, C_C- концентрации биогенных элементов (азота, фосфора, углерода) в воде;

$K_N^{(m)}$, $K_P^{(m)}$, $K_C^{(m)}$- константы полунасыщения Михаэлиса-Ментен (0.2; 0.03; 0.5 мг/л);

F(I) - функция, учитывающая влияние освещенности на рост биомассы;

$$F(I) = 1/(\varepsilon_0 H+\varepsilon_1 BH)\, f(I/I_0) \quad ,$$

$$f(I/I_0)=\begin{cases} 1+\ln(I/Io) , & Io>Ik \\ I/Io , & Io<Ik \end{cases}$$

Io- интенсивность светового потока на поверхности воды;

Ik- константа насыщения светового потока [27];

ε_0- коэффициенты поглощения света водой ($\varepsilon_0=1.5/\Delta h_0$, Δh_2 - прозрачность воды по диску Секки, м);

ε_1- коэффициент поглощения света в результате развития биомассы (0.18 л/мг м);

H - средняя глубина отсека, м;

R и M - интенсивность снижения биомассы в результате респирации и смертности планктона;

$R = 0.1 * 1.05^{T-20}$; $M=4*10^{-3}T$; (1/сут)

S=w/H- скорость осаждения фитопланктона;

w - гидравлическая крупность фитопланктона ($\approx 10^{-5}$/с).

5.4. Азотосодержащие компоненты

Расчет изменения концентраций азотосодержащих веществ в сегменте водохранилища может выполняться по соотношениям:

$$C_1 = A_1\exp(-a_1t) + E_1 + F_1\exp(-\gamma t),$$

$$C_2 = A_2\exp(-a_2t) + E_2 + D_2\exp(-a_1t) + F_2\exp(-\gamma t),$$

$$C_3 = A_3\exp(-a_1t) + E_3 + D_3\exp(-a_1t) - A_2\exp(-a_2t) + F_3\exp(-\gamma t), \qquad (19)$$

В этих соотношениях, полученных с учетом влияния фитопланктона на соединения азота, используются следующие обозначения:

C_1, C_2 и C_3 - концентрации аммонийного, нитритного и нитратного азота, г/м ;

$A_1 = C_1^\circ - (P_1 - \nu\alpha RW/a_1W) - (\nu\beta R/a_1 - \gamma)$, $a_1 = K_1 + Q_{от}/W$;

$E = (P_1 - \nu\beta RW)/aW_1$; $F = \nu\beta R/(a_1 - \gamma)$;

$A_2 = C_2^\circ - E_2 - D_2 - F_2$; $a_2 = K_2 + Q_{от}/W$;

$E_2 = (P_2 + E_1W)a_2 W$; $D_2 = K_1A_1/(K_2 - K_1)$; $F_2 = K_1F_1/(K_2 - \gamma + Q_{от}/W$;

$A_3 = C_3^\circ + A_2 - E_3 - K_2D_2 - F_3$; $a_3 = K_2 + Q_{от}/W$;

$E = (P_3 + K_2E_2W - \nu\mu\alpha W)/Q_{от}$; $F_3 = (K_2F_2 - \nu\mu\beta)Q_{от}/W - \gamma$;

$\alpha = \mu/H\gamma + P_B/W\gamma - \varepsilon_0/\varepsilon_1$, $\beta = B - \alpha$,

$\gamma = R + S + M + Q_{от}/W$;

ν - стехиометрический коэффициент (≈ 0.013);

P_1, P_2, P_3, P_B - при поступлении в отсек аммонийного, нитритного, нитратного азота и биомассы планктона из всех источников;

K_1 и K_2 - коэффициенты неконсервативности для аммонийного и нитритного азота (п.6).

5.5. Фосфаты и БПК

Для расчета концентраций фосфатного фосфора и БПК с учетом развития биомассы фитопланктона может использоваться выражение (19). В этом случае входящие в него параметры определяются таким образом:

а) для фосфатного фосфора:

$A_1 = C_4^\circ - (P_4 - \nu_1\alpha RW)/Q_{от} - \nu_1\beta R/(Q_{от}/(W - \gamma))$;

$E_1 = (P_4 - \nu_1\alpha RW)/Q_{от}$; $F_1 = \nu_1\beta R/(Q_{от}/(W - \gamma))$;

б) для БПК:

$A_1 = C_5^\circ - (P_5 - \nu_2\alpha RW)/a_5 - \nu_2\beta R/(a_5 - \gamma)$;

$E_1 = (P_5 - \nu_2\alpha RW)/a_5$;

$F_1 = \nu_2\beta R/a_5 - \gamma)$; $a_5 = K_5 + Q_{от}/W$

Здесь C_4° и C_5° - содержание фосфатного фосфора и БПК на начало расчетного периода; P_4 и P_5 - поступление фосфора и БПК в

отсек; K_5 - коэффициент неконсервативности по БПК. Значения параметров ν_2 и ν_3 равны 0.009 и 1.5 соответственно.

5.6. Растворенный кислород

Расчет содержания кислорода в воде водохранилища.

Содержание кислорода в сбросной воде принимается равным концентрации насыщения при температуре, равной температуре сбросной воды.

Содержание кислорода в сегменте водохранилища оценивается по формуле:

$$L = A_4 e^{-a_4 t} + E_4 + A_5 e^{-a_5 t} - \gamma_1 A_1 e^{-a_1 t} - \nu_5 K_1 \alpha F_1/a_4 \, e^{-\gamma t} -$$

$$\nu_6 K_2 A_2/(K_a - K_2)\, e^{-a_2 t} - \nu_6 K_2 D_2/(a_4 - a_1) e^{-a_1 t} - \nu_6 K_2 F_2/(a_4 - \gamma)\, e^{-\gamma t},$$

где $A_4 = L_0 - E_4 + A_5 K_5/(K_a - K_5) + \nu_5 K_1 A_1/K_1 + P_1/(a_1 a_4 W) +$

$$\nu_6 K_2 D_2/(a_4 - a_1) + F_3/(a_4 - \gamma);$$

$$E_4 = L_H K_a/a_4 + P_L/a_4 W - K_5 P_5/a_4 (a_{от} + K_5 W) + (\nu_3 \mu - \nu_4 R)\, \alpha/a_4 +$$

$$\beta/(a_4 - \gamma) - \nu_5 K_1 E_1/a_4 - \nu_6 K_2 E_2/a_4;$$

$$A_5 = C_5^{\circ} - P_5/(Q_{от} + K_5 W); \quad a_4 = K_a + Q_{от}/W; \quad a_5 = K_5 + Q_{от}/W$$

Здесь L_H - концентрация насыщения кислорода при температуре поверхности воды, мг/л;

K_a - коэффициент рекреации;

C_5 и K_5 - величина БПК и ее коэффициенты неконсерввативности;

ν_5 и ν_6 - потребление кислорода на окисление аммонийного и нитритного азота (3.5 мг/мг и 1.1 мг/мг соответственно);

ν_3 и ν_4 - производство кислорода при фотосинтезе (ν_3=1.5 мг/мг) и его потребление при дыхании фитопланктона (ν_4=2.0 мг/мг);

P_L и P_5 - поступление кислорода и БПК с притоком и из других сегментов

6. Таблицы кинетических коэффициентов

Таблица 2

Рекомендуемые значения коэффициентов гидрохимических моделей

Наименование коэффициента	Единицы измерения	Численные значения
Азот аммонийный	1/сут	0.05
Азот нитритный	--"--	0.1
Азот нитратный	--"--	0.0
Фосфор фосфатов	--"--	0.0
$БПК_5$	--"--	0.1
Нефтепродукты	--"--	0.005
ХПК	--"--	0.05

Приложение 14

Перечень нормативных документов

Таблица 1

Перечень нормативных документов, регламентирующих минимально-допустимые попуски

NN п/п	Нормативный документ	Год утверждения и ввода в действие	Кем утверждены	Регламентируемые расчетные гидрологические условия	
				для незарегулированных водотоков	для зарегулированных водотоков
1	Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, п.37.2 а и б	утверждены 16.05.1974г. М., 1975	Минводхоз СССР Минздрав СССР Минрыбхоз СССР	Наименьший (минимальный) среднемесячный расход воды года 95%-ой обеспеченности по данным органов гидрометеослужбы	Установленный гарантированный расход ниже плотины (санитарный попуск)
2	Временные указания по установлению минимальных допустимых расходов воды в реках РСФСР, п.4	N 1-10-18/11 от 15.01.84г.	Минводхоз РСФСР	Минимальные допустимые расходы воды в реках после забора ее всеми потребителями в размере	
				Не менее 75% от минимального среднемесячного расхода воды 95% обеспеченности	Не менее установленного гарантированного санитарного расхода ниже плотины
3	Санитарные правила проектирования строительства и эксплуатации водохранилищ СанПиН 3907-85, п.4.2	утверждены 1.07.85г., вводятся вновь М., 1987	Минздрав СССР		Минимальный санитарный попуск в нижний бьеф гидроузла должен быть не менее минимального среднесуточного расхода водотока в бытовом гидрологическом режиме летней и зимней межени 95% обеспеченности
4	Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. СанПиН 4630-88, п.4.6.2.	утверждены 4.07.88г., вводятся вновь с 1.01.89 М.,1988	Минздрав СССР	Минимальный среднесуточный расход воды года 95% обеспеченности по данным органов гидрометеослужбы	Установленный гарантированный расход ниже плотины (санитарный попуск), при обязательном исключении возможности обратных течений в нижнем бьефе
5	Инструкция воднадзора (ИВН) Методические указания о составе, содержании, порядке разработки, согласовании, утверждении и уточнении схем комплексного использования и охраны водных ресурсов ИВН 33-5.1.07-87	утверждены 09.03.87г. вводятся в действие 01.04.87г.	Минводхоз СССР	Природоохранные и санитарные требования учитываются в те периоды, когда отраслевые требования не предъявляются. Природоохранный попуск должен обеспечить разбавление загрязнений в реку и сохранить естественную жизнь реки. Кроме сохранения минимального расхода, природоохранный попуск должен обеспечить периодические промывки рек во время половодий и паводков. Объем природоохранного попуска должен приниматься в размере 75% от объема половодья 95%-ой обеспеченности в течение половодного периода, в остальные месяцы объем попуска должен обеспечивать сохранение минимального среднемесячного расхода года 95%-ой обеспеченности. Объем санитарного попуска должен обеспечивать расход в реке не менее 75% от минимального среднемесячного расхода года 95%-ой обеспеченности	

Таблица 2

Нормируемые параметры по различным документам

NN п. п	Нормативы	Характеристика водоема или водотока (категория водопользования)	Предельно допустимые значения температур	Допустимая величина перегрева воды над естествен-ной	Место расположения контрольного створа
1.	Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Москва. 1988 г. (СанПиН 4630-38) Утверждены: Министерство. здравоохранения СССР	Водоемы и водотоки хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: 1.Непроточные водоемы 2.Проточные водоемы		3 град.С	1.0 км в обе стороны от места водозабора водопотребителя 1.0 км выше по течению от места водозабора потребителя
2.	Правила охраны поверхностных вод. Москва, 1991. Госкомитет СССР по охране природы	Водоемы и водотоки: 1.Хозяйственно-питьевого водопользования 2.Коммунально-бытового водопользования 3.Рыбохозяйственного водопользования	Для водоемов, где обитают холодноводные рыбы: летом-20°С; зимой- 5°С. На местах нерестилищ налима: не более 2°С. Для остальных водоемов: летом-28°С; зимой-8°С	3 град.С 3 град.С 5 град.С	В водотоках - 1.0 км выше по течению до пункта водопользования В водоемах -- на акватории в радиусе 1.0 км от пункта водопользования Не далее 500 м от места водовыпуска

Приложение 15
(справочное)

Ориентировочные расходы охлаждающей воды систем техводоснабжения атомных электростанций с блоками НП-640 и НП-1100

Тип и марка турбины	Основная система				Вспомогательная система				Система, важная для безопасности АЭС		
	Конденсаторы турбин				Вспомогательное оборудование		Отделение холодильных машин				
	Расход пара, т/час	Расход воды, $м^3$/час	Температурный перепад, град.С	Объем потерь воды, $м^3$/час	Расход воды, град.С	Температурный перепад, град.С	Расход воды, $м^3$/час	Температурный перепад, град.С	Расход воды, $м^2$/час	Температурный перепад, град.С	Объем потерь воды, $м^3$/час
Блок АЭС НП-640 Одна турбина К-600-6,9/50	1847.0	98000.0	10		3080.0	7.14	2000.0	3	3100.0	7.0	
АЭС НП-640 Шесть турбин К-600-6,9/50	11082.0	487200.0	10	10300	18480.0	7.14	9000.0	3	18600.0	7.0	558
Блок АЭС НП-1100 одна турбина К-1100-6,9/50	3600.0	180000.0	10		4200.0	до 10	2000.0	5	7200.0	до 10	
АЭС НП-1100 четыре турбины К-1100-6,9/50	14400.0	720000.0	10	14900	16800.0	до 10	9000.0	5	28800.0	до 10	864

Приложение 16
(справочное)

Классификация систем охлаждения по влиянию на безопасность АЭС

NN п/п	Наименование систем и их элементов	Категория	
		По условиям ответственности по ПИН АЭ-5,6	По сейсмостойкости по ПНАЭ Г-5-006-87
1	Основная система охлаждающей воды в составе:		
1.1	Гидросооружения пристанционного узла: насосные станции, градирни, брызгальные бассейны, каналы, трубопроводы камеры переключения и т.д.	III	IIб
1.2	Внешние гидросооружения плотины, гидроузлы, дамбы, каналы, насосные станции подпитки и продувки с трубопроводами и др.	III	IIб
2	Вспомогательная система охлаждающей воды в составе: насосной станции, трубопроводов, охладителей и др.	III	IIб
3	Система охлаждающей воды ответственных потребителей важных для безопасности в составе: насосные станции, брызгальные системы, трубопроводы, каналы, камеры переключений, насосная станция подпитки с водозаборными сооружениями и напорными трубопроводами	I	I

Приложение 17
(справочное)

Расчетные обеспеченности расходов воды водоисточников технического водоснабжения АЭС

NN п/п	Системы охлаждения	Минимальные расходы	
		Обеспеченность	Повторяемость
1	Основная и вспомогательная системы охлаждения: - среднемесячные расходы источника для водохранилища-охладителя; - среднесуточные расходы источника для охладителя-градирни или брызгального бассейна.	95% 97%	1 раз в 20 лет 1 раз в 33 года
2	Система охлаждения ответственных потребителей, важных для безопасности АЭС: - среднесуточные расходы воды источника, охладитель - брызгальный бассейн	99%	1 раз в 100 лет

Приложение 18
(справочное)

Предельно допустимые концетрации (ПДК) химических ингредиентов в добавочной воде

Ингредиенты	ПДК
Общее солесодержание, мг/л	до 800
Показатель концентрации водородных ионов, РН	- 6,5 - 8,5
Жесткость, мг-экв/л общая	- до 7
карбонатная	- до 2,5
Хлориды,мг/л	- до 150
Сульфаты, мг/л	- до 400
Нитраты, мл/л	- до 10
Фосфаты, мг/л	- до 2
Окисляемость, мг О2/л	- до 20
Взвешенные вещества, мг/л	- до 50

gost.e-ecolog.ru