

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Кудрявцев Максим Геннадьевич

Должность: Проректор по образовательной деятельности

Дата подписания: 15.12.2024 10:54:04

Уникальный программный ключ

790a1a8df2525774421adc1fc96457f0e902bfa9

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО»
(Университет Вернадского)**

Кафедра ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА И ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО выполнению
КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Направление подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование

Профиль «водоснабжение и водоотведение»

Форма обучения заочная

Квалификация бакалавр

Балашиха 2024

Настоящие методические указания разработаны в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки: 20.03.02 «Природообустройство и водопользование»

Составил: доцент. кафедры Природообустройства и водопользования

Заикина И.В.

Рецензент: зав. кафедры Природообустройства и водопользования

Тетдоев В.В.

Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели и задачи курса

Дисциплина «Комплексное использование водных ресурсов» является ведущей дисциплиной при подготовке по направлению «Природообустройство и водопользование». Изучение дисциплины позволяет студентам приобрести необходимые знания в области водохозяйственного строительства, направленного на удовлетворение перспективных потребностей общества в водных ресурсах, обеспечение их рационального использования и охраны, предотвращение и ликвидацию вредного воздействия вод и негативных последствий хозяйственной деятельности человека.

В процессе обучения студенты знакомятся с требованиями различных отраслей народного хозяйства к воде, методами формирования экологически и экономически оптимальной структуры ВХК с учетом особенностей его участников, водохозяйственными и водно-энергетическими расчетами, методами управления водными ресурсами. Важными вопросами дисциплины, которыми должны владеть студенты данной специальности, являются контроль за техническим состоянием и эксплуатацией водных объектов, анализ влияния водохозяйственной деятельности на окружающую природную среду и разработка природоохранных мероприятий, в том числе по восстановлению и охране водных объектов, воспроизводству водных ресурсов.

Освоение дисциплины осуществляется путем проработки рекомендуемой литературы и выполнения *курсового проекта* для студентов 5 курса.

Раздел 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

2.1. Общая часть

Курсовой проект выполняется с целью закрепления и приобретения навыков выбора схем комплексного использования водного источника; составления водохозяйственного баланса; проведения водохозяйственных и водно-энергетических расчетов; выбора типа и основных параметров ГЭС, определения экономической эффективности капитальных вложений ВХК и его участников; распределения затрат между отраслями, входящими в комплекс.

Исходными данными для проектирования служат:

1. Топографический план района строительства гидроузла (приложение 3).
2. Предполагаемый состав участников ВХК с указанием количественных показателей (приложение 1, табл. 1).
3. Гидрограф водоемкости расчетного года (приложение, табл. 1, 3).
4. Кривая связи уровней и объемов предполагаемого водохранилища (приложение 1, табл. 4).
5. Кривая связи уровней воды и расходов в нижнем бьефе гидроузла (приложение 1, табл. 5).
6. График нагрузки энергосистемы, в которой будет работать проектируемая ГЭС (приложение 1, табл. 2).
7. Величина минимальных санитарных попусков воды в нижний бьеф (приложение 1, табл. 2).

№ варианта принимается по последней цифре шифра.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки, объемом 25-30 страниц с приложением чертежей и графиков, выполняемых на миллиметровке, и чертежа формата А 1, выполняемого на ватмане с соблюдением основных требований ЕСКД и СПДС.

Пояснительная записка содержит следующие разделы:

1. Исходные данные, топографический план берется из задания.
2. Введение, в котором указываются задачи комплекса и предполагаемый состав участников ВХК.
3. Возможные схемы ВХК.

4. Составление водохозяйственного баланса ВХК.
5. Водно-энергетические расчеты ГЭС.
6. Подбор основного гидросилового оборудования.
7. Выбор типа и определение основных размеров сооружений гидроузла.
8. Мероприятия по охране окружающей среды в связи с созданием ВХК.
9. Библиографический список.

Содержание чертежей

1. Топографический план, на котором схематично должны быть показаны водопотребители, места водозаборов и сброса сточных вод.
2. План гидроузла .
3. Поперечный разрез по станционной плотине и зданию ГЭС в масштабе 1 : 500
4. Продольный разрез по водозаборному сооружению оросительной системы в масштабе 1 : 200.

2.2. Порядок выполнения курсового проекта

1. Исходные данные

1.1. Гидрологические данные

В качестве гидрологических данных заданы бассейн реки и гидрограф реки. Бассейн следует выбирать из табл.3 приложения 1 по последней цифре шифра.

Распределение стока реки по месяцам проводится в соответствии с заданными для каждого бассейна коэффициентами

$$Q_i = Q_{\text{ср}} \beta,$$

где Q_i - расход гидрографа в i - том месяце; β - коэффициент, который принимается для выбранного бассейна по табл. 3 приложения 1;

$Q_{\text{ср}}$ - средний расход гидрографа, который принимается по табл. 1 приложения 1 в соответствии с номером шифра (последняя цифра шифра).

1.2. Топографические данные.

К топографическим данным относятся:

- а) топографическая схема участка реки;
- б) кривая зависимости уровней воды в верхнем бьефе от объема водохранилища;
- в) кривая зависимости уровней воды в нижнем бьефе от расхода воды.

Топографическая схема принимается по планшетке, номер которой определяется по последней цифре шифра. Планшетки приведены в приложении 3. Данные для построения кривых связей $\nabla_{\text{ВБ}} = f(W)$ и $\nabla_{\text{НБ}} = f(Q)$ принимаются по табл. 4, 5 приложения 1 в соответствии с номером варианта.

1.3. Сведения о водопотребителях (принимаются в соответствии с шифром по табл. 1 приложения 1).

В качестве потребителей воды принимаются:

а) городское коммунально-бытовое хозяйство. Количество городских жителей N_r принимается по табл. 1 приложения 1, норма водопотребления q принимается по табл. 6 приложения 1 в соответствии со степенью благоустройства;

б) сельское коммунально-бытовое хозяйство. Количество сельских жителей N_c принимается по табл. 1 приложения 1, норма водопотребления q_c принимается по табл. 6 приложения 1 в соответствии со степенью благоустройства;

в) животноводство. Количество животных разного вида P_1 и P_2 принимается по табл. 1, нормы водопотребления - по табл. 10 приложения 1;

г) промышленность. Объем промышленной продукции B_1 и B_2 принимается по табл. 1, нормы $q_{\text{ПР1}}$ и $q_{\text{ПР2}}$ - по табл. 7 приложения 1.

- д) орошение. Площадь F принимается по табл. 1, норма водопотребления в соответствии с принятым бассейном по табл. 8, оросительная норма – по табл. 9 приложения 1;
- е) рекреация. Количество рекреантов N_p принимается по табл. 1, норма водопотребления $qr = 100$ л /сут. чел.;
- ж) санитарные попуски. $Q_{сан}$ принимается постоянным в течение года и равным минимальному расходу гидрографа, округленному до целого числа;
- з) ГЭС. Годовая выработка электроэнергии Δ принимается по табл. 1 приложения 1;
- и) рыбохозяйственные попуски. Характеризуются графиком попусков $Q_{рх}$, принимаемым по табл. 2 приложения 1;
- к) воднотранспортные попуски. Характеризуются графиком попусков $Q_{вт}$, принимаемым по табл. 2 приложения 1.

2. Введение

Во введении указывается целесообразность создания водохозяйственного комплекса данного административно - экономического района для удовлетворения нужд в воде различных его участников, приводятся соображения о преимуществах комплексного использования и охране водных ресурсов.

3. Составление предварительной структуры ВХК

3.1. В соответствии с исходными данными на топографической схеме нужно показать местоположение:

- города с промышленными предприятиями;
- сел;
- деревень;
- орошаемых площадей;
- домов отдыха, санаториев.

Необходимо показать места водозаборов (стрелкой) с санитарной зоной и водоотводов (стрелкой).

Необходимо также выделить прибрежные защитные полосы и водоохранные зоны.

В соответствии с выбранным НПУ необходимо показать площадь зеркала водохранилища.

3.2. Пример выбора предварительной структуры ВХК

Примем следующую предварительную структуру ВХК (табл.3 1).

Таблица 3.1

Предварительная структура ВХК

№ п/п	Участник ВХК	Показатель, характеризующий водопотребление	Занимаемая площадь, тыс. га	Расположение относительно створа	Тип водоснабжения
1	Город с промышленными предприятиями	$N_p=140$ тыс. чел. $V_1=40$ тыс. т/год $V_2=200$ тыс. т/год $V_3=30$ тыс. т/год	4,2 условно	верхний бьеф	поверхностное
2	СПК село коровник орошаемые площади	$N_c = 4,5$ тыс. чел. $P_1 = 5,5$ тыс. гол. $F=4$ тыс. га	0,5 условно 4	верхний бьеф левый берег	подземное подземное поверхностное
	село телятник орошаемые площади	$N_c = 5$ тыс. чел. $P = 3$ тыс. гол. $F=8$ тыс. га	0,5 условно 8		поверхностное поверхностное
	село птичник орошаемые площади	$N_c = 3$ тыс. чел. $P = 50$ тыс. гол. $F=1$ тыс. га	0,3 условно 1	нижний бьеф левый берег	поверхностное

3	ЗАО село птичник орошаемые площади	$N = 7$ тыс. чел. $P = 150$ тыс. гол. $F = 4,4$ тыс. га	0,7 условно 4,4	нижний бьеф правый берег	поверхностное
	село телятник	$N = 2$ тыс. чел. $P = 4$ тыс. гол.	0,2 условно	нижний бьеф правый берег	подземное
4	Санаторий	$N_{P1} = 1,5$ тыс. чел.	условно		поверхностное
5	Дом отдыха	$N_{P2} = 0,4$ тыс. чел.			»
6	ГЭС	$\Theta = 70$ тыс. МВтч			
7	Водный транспорт	по графику пусков			
8	Рыбное хозяйство	»			
9	Охрана природы	$Q = 4$ м ³ /с		попуск	

Примечание: При распределении сельских жителей, животных и орошаемых площадей, необходимо, чтобы в сумме их число равнялось заданным в таблице 1 приложения 1.

Приняты следующие графики потребления воды на рыбохозяйственные и водотранспортные попуски (табл.3.2.).

Табл.3.2

Графики потребления воды

Потребители	Расходы по месяцам, м ³ /с					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Рыбохозяйственные попуски	10,0	8,0	4,0	4,0	0	0
Водотранспортные попуски	8,0	8,0	8,0	10,0	10,0	0

Характеристика потребителей поверхностной воды дана в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Характеристика потребителей поверхностных вод

Потребители	Показатели, характеризующие потребление		Место возврата сточных вод	Система водоснабжения
	объем	норма		
1	2	3	4	5
Верхний бьеф				
Городское коммунально-бытовое хозяйство	$N_r = 140$ тыс. чел.	$q_r = 150$ л/сут. чел.	в. б.	прямоточная
Сельское коммунально-бытовое хозяйство	$N_{c^{вб}} = 5$ тыс. чел.	$q_c = 100$ л/сут. чел.	»	»
Животноводство	$P_1^{вб} = 3$ тыс. гол.	$q_{ж1} = 50$ л/сут. гол.	»	»
Промышленность	$B_1 = 40$ тыс. т/год $B_2 = 200$ тыс. т/год $B_3 = 30$ тыс. т/год	$q_1 = 3000$ м ³ /т $q_2 = 80$ м ³ /т $q_3 = 4000$ м ³ /т	»	»
Орошение	$F^{вб} = 12$ тыс. га	$M = 4300$ м ³ /га	в. б.	прямоточная
Рекреация	$N_p^{вб} = 1,5$ тыс. чел.	$q_p = 100$ л/сут. чел.	»	»
Нижний бьеф				

Сельское коммунально-бытовое хозяйство	$N_c^{нб} = 10$ тыс. чел.	$q_c = 100$ л/сут. чел.	н. б.	»
Животноводство	$P_2^{нб} = 200$ тыс. чел.	$q_{ж2} = 2,65$ л/сут. гол.	»	»
Орошение	$F^{нб} = 7,4$ тыс. га	$M = 4300$ м ³ /га	»	»
Рекреация	$N_p^{нб} = 0,4$ тыс. чел.	$q_p = 100$ л/сут. чел.	»	»
Попуски				
ГЭС	$\Xi = 70$ тыс. МВтч	$H = 360 - 280 = 80$ м		
Рыбохозяйственные	по графику			
Воднотранспортные	по графику			
Санитарные	$Q_{сан} = 4$ м ³ /с			

4. Расчет годового водохозяйственного баланса

4.1. Расчет приходной части годового ВХБ.

Приходная часть ВХБ подсчитывается по зависимости:

$$W_{ПРИХ} = \sum_1^n \omega_{СТ_j} + \sum_1^n W_{ВВ_j}^{6б}, \quad (4.1)$$

где $\omega_{СТ_j}$ - объем речного стока в i -том месяце с учетом потерь на испарение и фильтрацию; $W_{ВВ_j}^{6б}$ - объем возвратных (сточных) вод j -того водопотребителя, поступающие в верхний бьеф; n - число водопотребителей, сточные воды которых поступают в верхний бьеф.

Составляющие приходной части подсчитываются по зависимостям:

$$\omega_{СТ_j} = K_{П} Q_i t_i, \quad (4.2)$$

$$W_{ВВ_j}^{6б} = K_{В_j} W_j^{6б}, \quad (4.3)$$

где Q_i - месячный расход расчетного гидрографа; t - число секунд в месяце; $K_{П}$ - коэффициент потерь на испарение и фильтрацию; W_j - объем потребления воды j -тым водопотребителем, сточные воды которого поступают в верхний бьеф; $K_{В_j}$ - коэффициент возврата сточных вод j -того водопотребителя.

Расчет приходной части годового ВХБ приводится в строке 1 табл. 6 «Расчет годового ВХБ».

4.2. Расчет расходной части годового ВХБ.

Расходная часть годового ВХБ подсчитывается по зависимости:

$$W_{РАСХ} = \sum_1^n W_j^{уб} + \sum_1^m W_j^{нб} + \sum_1^n W_{разб_j}^{6б} + \max[W_{ГЭС}, W_{р.х.}, W_{в.м.}, W_{сх.}, W_{сан.}, W_{разб}^{6б}] + W_{подз}, \quad (4.4)$$

где W_j - объем потребления воды j -тым водопотребителем, расположенным в верхнем бьефе; $W_j^{нб}$ - объем потребления воды j -ным водопотребителем, расположенным в нижнем бьефе; n и m - количество водопотребителей в верхнем и нижнем бьефах соответственно; $W_{разб_j}^{6б}$ и $W_{разб_j}^{нб}$ - объемы воды, необходимые для разбавления сточных вод, поступающих в верхний и нижний бьефы соответственно; $W_{ГЭС}$, $W_{р.х.}$, $W_{в.м.}$, $W_{сх.}$, $W_{сан.}$ - объемы энергетических, рыбохозяйственных, воднотранспортных, сельскохозяйственных, санитарных попусков; $W_{подз}$ - отбор воды для подземного водоснабжения, гидравлически связанного с поверхностным.

Расчет объемов водопотребления

а) городского коммунально-бытового хозяйства (КБХ):

$$W_{Г}^{6б} = N_{Г} q_{Г} t / \eta_{Г}, \quad (4.5)$$

где $W_{\Gamma}^{6\bar{6}}$ - годовой объем водопотребления городского КБХ, расположенного в верхнем бьефе; $N_{\Gamma}^{6\bar{6}}$ - число жителей в городе; q_{Γ} - норма водопотребления в городском КБХ (все нормы даны в приложении 1); η_{Γ} - к. п. д. городских сетей водоснабжения;

б) сельского КБХ $W_{\text{С}}$:

$$W_{\text{С}}^{6\bar{6}} = N_{\text{С}}^{6\bar{6}} q_{\text{С}} t / \eta_{\text{С}}, \quad (4.6)$$

$$W_{\text{С}}^{н6\bar{6}} = N_{\text{С}}^{н6\bar{6}} q_{\text{С}} t / \eta_{\text{С}},$$

где $W_{\text{С}}^{6\bar{6}}$, $W_{\text{С}}^{н6\bar{6}}$ - годовые объемы водопотребления сельских КБХ соответственно в верхнем и нижнем бьефах; $N_{\text{С}}^{6\bar{6}}$, $N_{\text{С}}^{н6\bar{6}}$ - количество жителей в селах, расположенных соответственно в верхнем и нижнем бьефах; $q_{\text{С}}$ - норма водопотребления в селах; $\eta_{\text{С}}$ - к. п. д. сельских сетей водоснабжения;

в) животноводства $W_{\text{Ж}}$:

$$W_{\text{Ж}}^{6\bar{6}} = \sum_1^n P_j^{6\bar{6}} q_{\text{Ж}_j} t / \eta_{\text{Ж}}, \quad (4.7)$$

$$W_{\text{Ж}}^{н6\bar{6}} = \sum_1^m P_j^{н6\bar{6}} q_{\text{Ж}_j} t / \eta_{\text{Ж}},$$

где $W_{\text{Ж}}^{6\bar{6}}$, $W_{\text{Ж}}^{н6\bar{6}}$ - годовые объемы водопотребления животноводческих ферм, расположенных соответственно в верхнем и нижнем бьефах; $P_j^{6\bar{6}}$, $P_j^{н6\bar{6}}$ - количество голов скота j-того вида в верхнем и нижнем бьефах соответственно; n и m - количество видов животных на фермах в верхнем и нижнем бьефах; $q_{\text{Ж}_j}$ - норма потребления воды животным j-того вида; $\eta_{\text{Ж}}$ - к. п. д. сетей водоснабжения в животноводстве; $t = 365$ (число суток в году);

г) рекреации $W_{\text{Р}}$:

$$W_{\text{Р}}^{6\bar{6}} = \sum_1^n N_{\text{Р}}^{6\bar{6}} q_{\text{Р}_j} t / \eta_{\text{Р}}, \quad (4.8)$$

где $W_{\text{Р}}^{6\bar{6}}$ - годовой объем водопотребления в рекреационных учреждениях, расположенных в верхнем бьефах; $N_{\text{Р}_j}^{6\bar{6}}$ - количество отдыхающих в рекреационных учреждениях j-того вида, видов $q_{\text{Р}_j}$ - норма водопотребления в рекреационном учреждении j-того типа; $\eta_{\text{Р}}$ - к. п. д. сетей водоснабжения в рекреационных учреждениях;

д) промышленности $W_{\text{Пр}}$:

$$W_{\text{Пр}}^{6\bar{6}} = \sum_1^n B_j^{6\bar{6}} q_{\text{Пр}_j} t / \eta_{\text{Пр}}, \quad (4.9)$$

где $W_{\text{Пр}}^{6\bar{6}}$ - годовые объемы водопотребления промышленных предприятий j-того типа, расположенных в верхнем бьефе; $B_j^{6\bar{6}}$, $B_j^{н6\bar{6}}$ - годовые объемы промышленной продукции, выпускаемых на предприятиях j-того типа; $q_{\text{Пр}_j}$ - норма промышленного водопотребления на предприятии j-того типа; $\eta_{\text{Пр}}$ - к. п. д. сетей водоснабжения в промышленности;

е) орошения $W_{\text{Ор}}$:

$$W_{\text{Ор}}^{6\bar{6}} = \frac{F^{6\bar{6}} M}{\eta_{\text{Ор}}}, \quad (4.10)$$

$$W_{\text{Ор}}^{н6\bar{6}} = \frac{F^{н6\bar{6}} M}{\eta_{\text{Ор}}},$$

где $W_{\text{Ор}}^{6\bar{6}}$, $W_{\text{Ор}}^{н6\bar{6}}$ - годовые объемы водопотребления для орошения земель, расположенных в верхнем и нижнем бьефах; $F^{6\bar{6}}$, $F^{н6\bar{6}}$ - площади орошаемых земель, сточные воды с которых

возвращаются соответственно в верхний и нижний бьефы; M — оросительная норма; η_{OP} - к. п. д. оросительной сети.

Месячные объемы водопотребления для всех участников ВХК, кроме орошения, считаются равномерными в течении года и определяются по зависимости:

$$\omega_i = \frac{W_{разб}^{нб}}{12}, \quad (4.11)$$

Расчет объемов воды, необходимых для разбавления сточных вод в нижнем бьефе $W_{разб}^{нб}$

$$W_{разб}^{нб} = \sum K_{разб_j} K_{B_j} W_j^{нб}, \quad (4.12)$$

$W_{разб}^{нб}$ - годовой объем попусков в нижний бьеф, которые необходимы для разбавления сточных вод, поступающих в нижний бьеф; $K_{разб_j}$ - коэффициент разбавления, который зависит от степени загрязнения сточных вод; K_{B_j} - коэффициент возврата сточных вод j -того водопотребителя; $W_j^{об}$, $W_j^{нб}$ - годовой объем водопотребления j -тым водопотребителем, расположенным соответственно в верхнем и нижнем бьефах. При расчете ВХБ месячные попуски ω_{ij} можно определить как:

$$\omega_i = \frac{W_{разб}^{нб}}{12}, \quad (4.13)$$

Расчеты объемов попусков в нижний бьеф:

а) на нужды ГЭС:

$$W_{ГЭС} = 432 \frac{\mathcal{E}_{год}}{H}, \quad (4.14)$$

$$\omega_{ГЭС} = 36 \frac{\mathcal{E}_{год}}{H},$$

где $W_{ГЭС}$ - годовой объем попусков на нужды ГЭС; $\omega_{ГЭС}$ - месячный объем попусков на нужды ГЭС; $\mathcal{E}_{год}$ - годовая выработка электроэнергии на ГЭС; H - возможный напор на ГЭС, который определяется как разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах.

б) на рыбохозяйственные, водотранспортные, сельскохозяйственные и санитарные попуски:

$$\omega_{Пji} = Q_{Пji} t_i, \quad (4.15)$$

где $\omega_{Пji}$ - месячный объем попусков j -того вида; Q - расход попусков j -того вида в i -том месяце; t - число секунд в месяце;

в) объемы попусков, необходимых для разбавления сточных вод, поступающих в нижний бьеф:

$$W_{разб_j}^{нб} = \sum_1^n \omega_{ij} K_{B_j} K_{разб_j}, \quad (4.16)$$

где ω_{ij} - месячный объем водопотребления j -тым водопотребителем в i -том месяце, K_{B_j} - коэффициент возврата сточных вод j -того водопотребителя, $K_{разб_j}$ - коэффициент разбавления.

После определения месячных объемов попусков для каждого участника ВХК, в каждом месяце выбирается максимальный из них. В этом случае годовой объем попусков равен сумме объемов максимальных месячных попусков.

Объемы водопотребления из подземных источников можно определить по следующим формулам:

$$W_{ПОДЗ} = W_{ПС} + \sum W_{ПЖ_j} + \sum W_{разб_{П}}^{об}, \quad (4.17)$$

$$W_{ПС} = N_{ПС}^{об} q_c t' \eta_c,$$

$$W_{ПЖ_j} = P_{П_j}^{об} q_{Ж_j} t / \eta_{Ж}, \quad (4.18)$$

$$W_{разб_{П_j}} = K_{разб_j} K_{В_j} W_{П_j},$$

где $N_{ПС}^{об}$ - число сельских жителей в верхнем бьефе, использующих воду из подземных источников, гидравлически связанных с водохранилищем; $P_{П_j}^{об}$ - количество животных j-того вида на фермах, расположенных в верхнем бьефе, водоснабжение которых осуществляется из подземных источников; $W_{разб_{П_j}}$ - объем воды, необходимый для разбавления сточных вод этих водопотребителей; остальные обозначения прежние.

Объемы расходной части по месяцам заносятся в строки 2 и 3 табл. 4.3 «Расчет годового ВХБ».

В строке 4 табл. 4.3 подсчитывается итог годового ВХБ по зависимости:

$$\Delta W = W_{ПРИХ} - W_{РАСХ} \quad (4.19)$$

4.3. Пример расчета годового ВХБ

Расчет приходной части ВХБ

Расчет стока проводится в таблице 4.1 по зависимости (4.2).

Расчет стока с учетом потерь

Таблица 4.1

Месяц	Q, м ³ /с	Q _{ст} , млн. м ³ W _p
I	4,2	11,3
II	6,5	15,7
III	6,7	18,0
IV	14,9	38,6
V	26,6	71,3
VI	16,3	42,2
VII	13,9	37,3
VIII	10,8	28,9
IX	15,2	39,4
X	12,3	33,0
XI	13,2	34,2
XII	9,1	24,4
Год		394,3

Расчет проводится по зависимости (4.3). При этом принимается $k = 0,95$; t – число секунд в месяце. Расчет возвратных вод в верхний бьеф проводится по зависимости (4.3). Результаты расчета приходной части заносятся в строку 1 табл. 4.3.

4.4. Расчет расходной части ВХБ

Расчет проводится по зависимостям (4.4-4.16). Результаты расчетов заносятся в строку 2 табл. 4.3 «Расчет годового ВХБ».

При расчете коэффициенты возврата, разбавления и к.п.д. систем водоснабжения приняты по таблице 11 приложения.

Поскольку необходимо определить сумму максимальных попусков по месяцам, проводится расчет месячных попусков. Результаты расчетов сведены в таблицу 4.2.

Расчет месячных попусков воды в нижний бьеф, млн. м³

Таблица 4.2

Мес.	ГЭС	Рыбо-хоз.	Водно-транс.	Санит.	Разб. ст. воды	max °поп ₁	max °поп ₂	max °поп ₃	max °поп _з
I	31,5	0	0	10,5	0,39	31,5	10,5	10,5	10,5
II	31,5	0	0	10,5	0,39	31,5	10,5	10,5	10,5

III	31,5	0	0	10,5	0,39	31,5	10,5	10,5	10,5
IV	31,5	26,3	21,0	10,5	9,19	31,5	26,3	26,3	10,5
V	31,5	21,0	21,0	10,5	9,39	31,5	21,0	21,0	10,5
VI	31,5	0	21,0	10,5	9,49	31,5	21,0	10,5	10,5
VII	31,5	0	26,3	10,5	9,89	31,5	26,3	10,5	10,5
VIII	31,5	0	26,3	10,5	9,89	31,5	26,3	10,5	10,5
IX	31,5	0	26,3	10,5	9,39	31,5	21,0	10,5	10,5
X	31,5	0	0	10,5	0,39	31,5	10,5	10,5	10,5
XI	31,5	0	0	10,5	0,39	31,5	10,5	10,5	10,5
XII	31,5	0	0	10,5	0,39	31,5	10,5	10,5	10,5
Год	378,0	47,3	36,0	126,0	59,3	378,0	204,9	152,3	126,0

Таким образом, из 7 графы таблицы видно, что максимальные месячные и годовой объемы попусков на нужды ГЭС составляют $\max[W_{ГЭС}, W_{рх}, W_{ВГ}, W_{сан}, W_{разб}^{6б}]$ 31,5 и 378 млн. м³

Эти величины заносятся в строку 2 таблицы 4.3.

Водоснабжение из подземных источников, гидравлически связанных с поверхностными, не производится.

В результате расчетов (строка 1 – строка 2 – строка 3 = строка 4) определяется годовой ВХБ:

$$W_{прил} - W_{расх} = \Delta W$$

$$670,2 \text{ млн. м}^3 - 855,5 \text{ млн. м}^3 = - 185,3 \text{ млн. м}^3$$

Таблица 4.3

Водохозяйственный баланс, млн.м³

Статьи баланса	Месяцы												Итого за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Располагаемые водные ресурсы, в т.ч.	33,3	37,7	40,0	62,5	95,3	66,2	61,4	53,0	63,2	55,0	56,2	46,4	670,2
1.1.поверхностный сток	11,3	15,7	18,0	38,6	71,3	42,2	37,3	28,9	39,4	33,0	34,2	24,4	394,3
1.2.подземные воды	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.Возвратные воды, в т.ч.	22,0	22,0	22,0	23,9	24,0	24,0	24,1	24,1	23,8	22,0	22,0	22,0	275,9
КБХ города	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	7,7
КБХ сельское(ВБ)	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,1
Животноводство(ВБ)	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,1
Промышленность	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	256,0
Орошение (ВБ)	-	-	-	1,86	1,92	1,95	2,03	2,03	1,81	-	-	-	11,6
рекреация	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,16
2. Потребление воды участниками ВКХ, в т.ч.	56,12	56,12	56,12	75,82	76,42	76,72	77,52	77,52	75,52	56,12	56,12	56,12	796,2
КБХ города	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	9,6
КБХ сельское	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,8
Животноводство	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,4
Орошение (ВБ)	-	-	-	12,4	12,8	13,0	13,5	13,5	12,2	-	-	-	77,4
Орошение (НБ)	-	-	-	7,3	7,5	7,6	7,9	7,9	7,2	-	-	-	45,4
рекреация	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,2
Промышленность	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	284,4
попуски	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	378,0
3.Разбавление сточных вод, в т.ч.	0,39	0,39	0,39	9,19	9,39	9,49	9,89	9,89	8,99	0,39	0,39	0,39	59,3
КБХ сельское (НБ)	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,5
Животноводство (НБ)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	3,2
Орошение (НБ)	-	-	-	8,8	9,0	9,1	9,5	9,5	8,6	-	-	-	54,5
Итого по п.п 2+3	56,51	56,51	56,51	85,01	85,81	86,21	87,01	87,01	84,51	56,51	56,51	56,51	855,5
4. Баланс (1-2-3)	-23,21	-18,81	-16,51	-22,51	+9,49	-20,02	-25,61	-31,98	-21,31	-1,51	-0,31	-10,11	-185,3

4.5. Методы увязки годового ВХБ

Увязка годового водохозяйственного баланса проводится в том случае, если $\Delta W < 0$. Составляется таблица 4.4, аналогичная таблице 4.3, куда вносятся необходимые изменения.

При увязке годового ВХБ применяются различные методы:

1 метод. Введение оборотного водоснабжения в промышленном водоснабжении.

При введении оборотного водоснабжения в промышленности коэффициент возврата $K_{\text{в}} = 0$. Следовательно, $W_{\text{в пр}} = 0$ и $W_{\text{РАЗБ пр}} = 0$.

Объем потребления свежей воды в промышленности в этом случае равен объему суммы потерь и поэтому объем потребления воды в промышленности сокращается и равняется $0,2 W_{\text{пр}}$, где $W_{\text{пр}}$ - объем промышленного водопотребления при прямоточном водоснабжении.

Соответствующие изменения вносятся в табл. 4.4.

2 метод. Введение повторного водоснабжения для участников ВХК.

Повторное водоснабжение заключается в использовании коммунальных и животноводческих стоков для орошения.

При этом необходимо сопоставить объем воды, необходимый для орошения на ЗПО (земледельческих полях орошения) с объемом разбавленных коммунальных (городских) и животноводческих стоков.

Если имеется определенная площадь, подготовленная для орошения разбавленными сточными водами $F_{\text{ЗПО}}$, то объем воды, необходимый для орошения равен:

$$W_{\text{ЗПО}} = \frac{F_{\text{ЗПО}} \cdot M}{\eta_{\text{ор}}} \quad (4.20)$$

Если $W_{\text{ЗПО}} > (W_{\text{РАЗБ}_2}^{\text{вб}} + \sum W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}})$, то весь объем стоков, поступающих в верхний бьеф от городского коммунально-бытового хозяйства и животноводческих ферм, разбавленный в необходимой пропорции, может быть использован для ЗПО.

Тогда $W_{\text{ВВ}_2}^{\text{вб}} = 0$; $\sum W_{\text{ВВ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}} = 0$; $W_{\text{РАЗБ}_2}^{\text{вб}} = 0$; $W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}} = 0$. Соответствующие изменения вносятся в табл.4.4.

Если $W_{\text{ЗПО}} < (W_{\text{РАЗБ}_2}^{\text{вб}} + \sum W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}})$, но $W_{\text{ЗПО}} > \sum W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}}$, то необходимо использовать на ЗПО все разбавленные животноводческие стоки $\sum W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}}$ и часть $W_{\text{РАЗБ}_2}^{\text{вб}}$.

Тогда в верхний бьеф поступают городские сточные воды в количестве:

$$W_{\text{ВВ}_2}^{\text{вб}'} = \frac{W_{\text{РАЗБ}_2}^{\text{вб}} - (W_{\text{ЗПО}} - \sum W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}})}{K_{\text{РАЗБ}_2}}, \quad (4.21)$$

а объем воды, необходимый для их разбавления, будет равен:

$$W_{\text{РАЗБ}_2}^{\text{вб}'} = K_{\text{РАЗБ}_2} \cdot W_{\text{ВВ}_2}^{\text{вб}'}$$

Если же $W_{\text{ЗПО}} < \sum W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}}$, то имеет смысл увеличить $F_{\text{ЗПО}}$ для того, чтобы все животноводческие стоки использовались для орошения приферменных пастбищ. Тогда:

$$F_{\text{ЗПО}} = \frac{\sum W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}} \cdot \eta_{\text{ор}}}{M}, \quad (4.22)$$

Тогда городские сточные воды будут полностью поступать в верхний бьеф. Следовательно,

$$\sum W_{\text{РАЗБ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}} = 0; \quad W_{\text{ВВ}_{\text{жк}}}^{\text{вб}} = 0$$

3 метод. Уменьшение непроизводительных потерь воды.

Так как объемы безвозвратного потребления в орошении наибольшие, а к. п. д. оросительных систем – наименьший, следует заменить оросительную систему с малым к.п.д. на более прогрессивную (табл. 12 Приложения 1).

Тогда

$$W_{op}^{вб'} = \frac{W_{op}^{вб} \cdot \eta_{op}}{\eta_{op} + 1}, W_{op}^{нб'} = \frac{W_{op}^{нб} \cdot \eta_{op}}{\eta_{op} + 1}, \quad (4.23)$$

$$W_{ВВ_{op}}^{вб'} = K_{В_{op}} \cdot W_{op}^{вб'}, W_{РАЗБ_{op}}^{вб'} = K_{РАЗБ_{op}} \cdot W_{ВВ_{op}}^{вб'},$$

4 метод. Ограничение водопотребления.

Уменьшение водопотребления допустимо не для всех водопотребителей. Для таких участников ВХК как КБХ, животноводство, рекреация, санитарные попуски. ограничение водопотребления не допускается. Целесообразно уменьшить водопотребление на нужды гидроэнергетики, водного транспорта или рыбного хозяйства в низовьях рек, для чего необходимо внести соответствующие изменения в объем максимальных годовых попусков. Однако ограничение их ниже санитарных недопустимо.

При ограничении водопотребления на нужды орошения можно либо уменьшить площадь орошаемых земель, либо оросительную норму. Последнее предпочтительнее, так как изменение оросительной нормы вдвое уменьшает урожаи лишь на 20%.

При изменении объема водопотребления на орошение необходимо внести соответствующие изменения и в объемы воды, необходимые для их разбавления.

Новые объемы водопотребления, возвратных вод и вод, необходимых для разбавления, вносятся в табл.4.4.

Если в результате последовательного применения методов управления $\Delta W > 0$, увязку годового ВХБ можно считать законченной.

4.6. Пример расчета по увязке годового ВХБ

Так как в примере при подсчете годового ВХБ получили $\Delta W = -194,44$ млн. м³, то есть $\Delta W < 0$, необходимо провести увязку годового ВХБ. Применим последовательно рассмотренные методы управления. Все расчеты ведутся в таблице 4.4, причем объемы водопотребления годовые предварительно должны быть пересчитаны на месячные (водопотребление для всех участников ВХК, кроме орошения, водного транспорта и рыбного хозяйства, равномерное в течение года).

1 метод. Введение оборотного водоснабжения в промышленности.

Расчет ведется по формулам $W'_{ВВ_{ПР}} = 0$, $W'_{РАЗБ_{OP}} = 0$, $W'_{ПР} = 0,2W_{ПР}$, то есть $W'_{ПР} = 56,9$ млн. м³. Эти данные вносятся в соответствующую строку табл.7. Остальные показатели переносятся из табл.6 без изменения. Подсчитываются новые значения $W'_{ПРИХ} = 404,86$ млн. м³, $W'_{РАСХ} = 632,7$ млн. м³, $\Delta W' = -168,54$ млн. м³. Так как $\Delta W < 0$, необходимо продолжить увязку, применив следующий метод управления.

2 метод. Введение повторного водоснабжения.

Расчет ведется по формулам (4.20) - (4.23).

Возможная площадь ЗПО принимается равной 4 тыс. га. Тогда $W_{ЗПО} = 24,6$ млн. м³. Сравним ее с величиной $(W_{РАЗБ_{Ж}}^{вб}) = (0,8+1,5) \cdot 10^6 = 2,3$ млн. м³.

Поскольку $W_{ЗПО}$ больше $W_{РАЗБ_{Ж}}^{вб} = 2,3$ млн. м³, примем $W_{ВВ_{Ж}}^{вб'} = 0$, $W'_{РАЗБ_{Ж}} = 0$.

Эти данные вносятся в табл. 4.4. Тогда $W''_{ПРИХ} = 404,86$ млн. м³; $W''_{РАСХ} = 565,7$ млн. м³, $\Delta W'' = -160,84$ млн. м³. Поскольку $\Delta W'' < 0$, необходимо продолжить увязку, применив следующий метод управления.

3 метод. Ограничение водопотребления.

Присвоим водопотребителям следующие ранги:

- 1 ранг - коммунально-бытовое хозяйство, рекреация, животноводство, охрана природы;
- 2 ранг - промышленность и ТЭС;
- 3 ранг - орошение;
- 4 ранг - попуски на нужды рыбного хозяйства, водного транспорта и ГЭС.

В соответствии с этим ранжированием ограничение водопотребления, начнем с гидроэнергетики. Водопотребление на ГЭС осуществляется в виде попусков, поэтому ограничение водопотребления на ГЭС возможно путем уменьшения попусков в каждом месяце до максимальных значений, следующих за ГЭС водопотребителей. Расчет ведется в табл. 4.2, в которой считались попуски. Если ограничить попуски на ГЭС, то сумма максимальных значений попусков по месяцам, подсчитанная в графе 8 табл. 4.2, равна 204,9 млн. м³.

Следовательно, произойдет экономия водопотребления на величину $\sum \omega_{\text{поп}} - \sum \omega'_{\text{поп}} = 378,0 - 204,9 = 173,1$ млн. м³

4 метод. Изменение структуры ВХК.

Рассмотрим метод управления, основанный на переносе части орошаемых земель из верхнего бьефа в нижний. Объем возвратных вод, поступающих в верхний бьеф, уменьшится, но объем воды, необходимый для разбавления сточных вод орошения, поступающих в нижний бьеф увеличится, но останется меньше, предусмотренного в 3 методе управления.

Перенесем в нижний бьеф площади орошения, равные $0,3F^{6б}$, то есть 4 тыс. га. Тогда согласно формулам (4.3) и (4.10) для $F^{6б'} = 12 - 0,3 \cdot 12 = 8$ тыс. га и $F^{нб'} = 7,4 + 4 = 11,4$ тыс. га, $W_{OP}^{6б'} = 52,8$ млн. м³; $W_{OP}^{нб'} = 70,0$ млн. м³; $W_{ВВор}^{6б'} = 7,9$ млн. м³.

После внесения этих данных в таблицу 4.4 и перенесения туда без изменения остальных показателей, получим $W_{ПРИХ}''' = 410,06$ млн. м³; $W_{РАСХ}''' = 395,53$ млн. м³; $\Delta W''' = 14,53$ млн. м³. Поскольку $\Delta W > 0$, увязку годового ВХБ можно считать законченной.

Таблица 4.4

Увязанный водохозяйственный баланс, млн.м³

Статьи баланса	Месяцы												Итого за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Располагаемые водные ресурсы, в т.ч.	11,95	16,35	18,65	40,54	73,26	44,20	39,33	30,93	41,30	33,65	34,85	25,05	410,06
1.1.поверхностный сток													
1.2.подземные воды	11,3 0	15,7 0	18,0 0	38,6 0	71,3 0	42,2 0	37,3 0	28,9 0	39,4 0	33,0 0	34,2 0	24,4 0	394,3 0
1.3.Возвратные воды, в т.ч.	0,65	0,65	0,65	1,94	1,96	2,0	2,03	2,03	1,9	0,65	0,65	0,65	15,76
КБХ города	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	7,7
КБХ сельское(ВБ)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Животноводство(ВБ)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Промышленность	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Орошение (ВБ)	-	-	-	1,27	1,3	1,33	1,38	1,38	1,24	-	-	-	7,9
рекреация	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,16
2. Потребление воды участниками ВКХ, в т.ч.	16,16	16,16	16,16	51,67	46,95	47,25	53,35	53,35	46,00	16,16	16,16	16,16	395,53
КБХ города	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	9,6
КБХ сельское	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,8
Животноводство	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,4
Орошение (ВБ)	-	-	-	8,46	8,73	8,87	9,21	9,21	8,32	-	-	-	52,8
Орошение (НБ)	-	-	-	11,25	11,56	11,72	12,18	12,18	11,11	-	-	-	70,0
рекреация	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,2
Промышленность	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	56,83
попуски	10,5	10,5	10,5	26,3	21,0	21,0	26,3	26,3	21,0	10,5	10,5	10,5	204,9
3.Разбавление сточных вод, в т.ч.	0	0	0	13,35	13,87	14,03	14,6	14,6	13,55	0	0	0	84,0
КБХ сельское (НБ)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Животноводство (НБ)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Орошение (НБ)	-	-	-	13,35	13,87	14,03	14,6	14,6	13,55	-	-	-	84,0
4. Баланс (1-2-3)	-4,21	0,19	2,49	-11,13	26,31	-3,05	-14,02	-22,42	-4,7	17,49	18,69	8,89	14,53

5. Водно-энергетические расчеты.

5.1. Расчет параметров ГЭС и водохранилища годового регулирования стока

Из условия получения максимальной выработки электроэнергии на ГЭС оптимальная сработка находится в пределах:

$$h_{cp} = (0,15 - 0,25)H_{max} ,$$

где H_{max} - максимальный напор, определяемый как разность отметок НПУ и меженного уровня нижнего бьефа, который находят по кривой $\nabla_{НБ}=f(Q)$, построенной по данным табл.5 Приложения 1. По принятому h и кривой $\nabla_{ВБ}=f(W)$, построенной по данным табл.4 Приложения 1, определяется целесообразная величина полезной емкости водохранилища $V_{ПЛЗ}$. Следует проверить достаточность этого объема для полного годового регулирования стока.

Для этого на миллиметровке вычерчивается интегральная кривая притока воды к ГЭС (рис. 1). Подсчет координат интегральной кривой стока ведется в табличной форме (табл. 5.1). Объем стока по периодам (12 месяцев) W_i берется из таблицы увязанного водохозяйственного баланса (строка 4 табл.4.4). На том же месте над интегральной кривой, для проверки ее построения, вычерчивается годовой график расходов, которые могут быть использованы на ГЭС для выработки электроэнергии (без санитарных попусков). Расход за период определяется по формуле:

$$Q_i = \frac{W_i}{2,63} , \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.1)$$

Таблица 5.1

Координаты интегральной кривой

месяцы	Избыточный объем стока, млн. м ³	Расход за период, м ³ /с	Сумма объемов в нарастающем порядке, млн. м ³
1	2	3	4

Соединяя начальную и конечную точки интегральной кривой притока, получают интегральную прямую равномерного потребления воды при постоянном зарегулированном расходе $Q_{ЗАР}$.

Вертикальное расстояние между двумя касательными к верхней и нижней точками интегральной кривой притока, проведенными параллельно интегральной прямой потребления, дает величину полезного объема, необходимого для полного водохранилища годового регулирования стока $W_{ПОЛН}$.

Если $V_{ПЛЗ} > W_{ПОЛН}$, то целесообразно осуществлять полное годовое регулирование стока. Если $V_{ПЛЗ} < W_{ПОЛН}$, то целесообразно осуществлять неполное годовое регулирование стока.

1 вариант. Полное годовое регулирование стока

а) Выявление режима работы водохранилища и определение зарегулированного расхода.

Величина зарегулированного расхода при полном годовом регулировании равна среднегодовому расходу:

$$Q_{ЗАР} = \frac{W_{год}}{31,536} , \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.2)$$

Где $W_{год}$ - суммарный годовой сток, млн.м³, 31,536 - млн.секунд в году.

Вертикальные отрезки между нижней касательной и интегральной кривой притока определяют полезные объемы воды в водохранилище W_i в данный момент времени, т.е. характеризуют режимы водохранилища в объемах воды.

б) Определение напоров ГЭС.

Для этого строится график изменения уровней воды в водохранилище в верхнем и нижнем бьефах (график напоров).

Положение уровней воды в водохранилище определяется по кривой $\nabla H_{вб} = f(W)$ в соответствии с полным объемом воды в водохранилище на конец каждого периода ($W_{вхi}=W_i + W_{умо}$).

При полном регулировании стока уровень воды в нижнем бьефе, который определяется по кривой $\nabla H_{нб} = f(Q)$ по расходу, соответствующему зарегулированному расходу вместе с расходом санитарных попусков ($Q = Q_{зар} + Q_{сан}$), будет постоянным в течение всего года.

Разность уровней бьефов дает напор на соответствующий момент времени.

Все расчеты выполняются в табличной форме (табл. 5.2).

Определение напоров ГЭС по периодам

Таблица 5.2

Период	Объем воды в водохранилище, млн. м ³	Уровень ВБ, м	Средний уровень ВБ, м	Расход м ³ /с	Уровень НБ, м	Средний напор H_i , м	Продолжительность напора, т, мес.	Произведение $H_i t$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

По данным таблицы 5.2 определяется средневзвешенный напор:

$$H_{срвзв} = \frac{\sum H_i t_i}{\sum t_i}, \tag{5.3}$$

t_i - принимаем за единицу времени один месяц.

в) Расчеты суточного регулирования на ГЭС

Целью проведения расчетов является определение мощности $N_{пик}^{об}$, необходимой для покрытия части суточного графика нагрузки энергосистемы, выделенного для проектируемой ГЭС.

Порядок расчета мощности $N_{пик}^{об}$ следующий.

Определяется суточная выработка электроэнергии, которую возможно обеспечить на ГЭС за счет энергетических попусков. Расход попусков по месяцам одинаковый, но напоры разные, поэтому мощность на ГЭС в течении года непостоянна. Обычно принимается мощность определенной обеспеченности p , для чего строится график обеспеченности мощностей $N_i=f(P)$.

Мощности ГЭС определяются по зависимости:

$$N_i = 9,81 H_i Q_{ГЭС} \eta_a, \text{ где} \tag{5.4}$$

N_i - напор на ГЭС i -том месяце, определенный по табл.9; η_a - к.п.д. агрегатов на ГЭС; $Q_{зар}$ - зарегулированный расход.

Расчеты по определению располагаемых среднесуточных мощностей ГЭС сводятся в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

Координаты кривой обеспеченности

Месяц	Напор H , м	Расход $Q_{зар}$, м ³ /с	Мощность N_i , МВт	N_i в убывающем порядке	P , %

По данным таблицы 5.3 (графы 1 и 5) строится график обеспеченности среднесуточных мощностей ГЭС, по которому выбирается среднесуточная мощность ГЭС $N_{p\%}$, обеспеченная 8-10 месяцев в году ($P=70-85\%$).

По данным табл. 2 Приложения 1 строится график нагрузки энергосистемы и его анализирующая кривая $\mathcal{E} = f(N)$. Для ее построения график нагрузки энергосистемы разбивается на ряд полос, характеризующихся тем, что в течении времени Δt мощность этой полосы не меняется. Затем определяется выработка электроэнергии, соответствующая мощности полосы.

График $\mathcal{E} = f(N)$ строится как зависимость $\sum \Delta \mathcal{E} = f \sum \Delta N$, с помощью которой определяется мощность $N_{пик}$, соответствующая

$$\mathcal{E}_{сут} = N_{p\%} \cdot t \quad (5.5)$$

Где $N_{p\%}$ - мощность, определяемая по кривой обеспеченности и соответствующая принятой обеспеченности; t – число часов в сутках. $N_{пик}$ определяется графически.

г) Определение базисной мощности на ГЭС

Базисная мощность графика нагрузки энергосистемы, покрываемая за счет ГЭС, вырабатывается путем использования на ГЭС расходов воды, величины которых не меняются в течение года и суток.

Базисная мощность определяется по зависимости:

$$N_{БАЗ} = 9,81 H_{РАСЧ} Q_{БАЗ} \eta_a \quad (5.6)$$

где величины $H_{РАСЧ}$ и $Q_{БАЗ}$ определяются следующим образом

$$H_{РАСЧ} = \frac{\sum H_i}{12}; Q_{БАЗ} = Q_{САН} + \frac{W_{РАБВН}^{НБ}}{t}; t = 31,56 \cdot 10^6$$

д) Определение установленной мощности на ГЭС

Установленная мощность на ГЭС складывается из обеспеченной пиковой, базисной и резервной:

$$N_{уст} = N_{пик}^{об} + N_{баз} + N_{рез} \quad (5.7)$$

Резервная мощность $N_{рез}$ (нагрузочный, ремонтный и аварийный резервы) принимается в курсовом проекте в пределах 8-15% от мощности энергосистемы.

д) Определение расчетного расхода ГЭС

Расчетный расход определяется из формулы мощности:

$$Q_p = \frac{N_{уст}}{9,81 \cdot H_{срвзв} \eta_a}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.8)$$

е) Определение годовой выработки электроэнергии на ГЭС

Годовая выработка электроэнергии на ГЭС определяется по зависимости:

$$\mathcal{E}_{год} = \sum H_i t_i \eta_a (Q_{ГЭС} + Q_z + Q_{БАЗ}), \quad (5.9)$$

Где t_i - число часов в i -том месяце.

2 вариант. Неполное годичное (сезонное) регулирование стока

Порядок расчетов следующий:

а) Интегральная кривая притока продолжается до начала паводка следующего года (рис.2 Приложения 2). Строится вторая интегральная кривая, отстоящая по оси ординат от первой на величину $V_{плз}$. Внутренняя касательная к обеим кривым за меженный период определяет величину зарегулированного расхода $Q_{зар}$. Вертикальные расстояния между касательной и верхней интегральной кривой дают объемы воды в водохранилище на соответствующие месяцы.

б) Следует построить зарегулированный гидрограф и график изменения объемов воды в водохранилище. По графику и кривой $\nabla H_{вб} = f(W)$ определяют уровни верхнего бьефа. Уровни нижнего бьефа определяются по $(Q = Q_{зар} + Q_{сан})$ и кривой $\nabla H_{нб} = f(Q)$. Разность уровней бьефов дает напор за соответствующий период.

в) Остальные расчеты ведутся по **1 варианту**: определяются средневзвешенный напор $H_{ср.взв}$, обеспеченная среднесуточная мощность ГЭС $N_{р\%}$, обеспеченная пиковая мощность ГЭС $N_{пик}^{об}$, базисная мощность ГЭС $N_{баз}$, установленная мощность ГЭС $N_{уст}$ и расчетный расход $Q_{расч}$.

5.2. Пример расчета параметров ГЭС и водохранилища годичного регулирования

а) Определение напоров по месяцам.

Расчет уровней воды в верхнем и нижнем бьефах и напоров на ГЭС проведен в табл.5.4. Графики V_i и напоров приведены на рисунках 1 и 2.

Таблица 5.4

Расчет напоров на ГЭС и уровней воды в водохранилище

Месяц	Верхний бьеф				Нижний бьеф		Н, м
	V_i , млн. м ³	$Q_{пост}$, млн. м ³	W_i , млн. м ³	$\Delta ВБ$ м	Q_b , м ³ /с	$\Delta НБ$ м	
VII	53,0	47,0	100,0	880,0	6,0	803,0	77
VIII	45,3	«	92,3	879,0	«	«	76
IX	32,9	«	79,9	878,0	«	«	75
X	31,6	«	78,6	877,0	«	«	74
XI	35,4	«	82,4	878,0	«	«	75
XII	41,5	«	88,5	879,0	«	«	76
I	37,4	«	84,4	878,0	«	«	75
II	20,9	«	67,9	876,0	«	«	73
III	10,2	«	57,2	874,0	«	«	71
IV	0	«	47,0	873,5	«	«	70,5
V	14,1	«	61,1	875,0	«	«	72,0
VI	47,4	«	94,4	879,0	«	«	76,0

б) Построение кривой обеспеченности среднесуточных мощностей проводится по зависимости (5.4) и результаты расчетов заносятся в табл.5.5.

Таблица 5.5

Координаты кривой обеспеченности

Месяц	Напор Н, м	Расход $Q_{ГЭС}$, м ³ /с	Мощность N_1 , МВт	N_1 в убывающ. пор.	p , %
VII	77	1,9	1,28	1,23	8,3
VIII	76	»	1,22	1,22	16,0
IX	75	»	1,20	1,22	25,0
X	74	»	1,18	1,22	33,2
XI	75	»	1,20	1,20	41,5
XII	76	»	1,22	1,20	50,0
I	75	»	1,20	1,20	58,3
II	73	»	1,16	1,18	66,6
III	71	»	1,14	1,16	75,0
IV	70,5	»	1,13	1,15	83,3
V	72	»	1,15	1,14	91,6
VI	76	»	1,22	1,13	100,0

По результатам расчетов строится кривая (рис.3) и определяются $N_{p\%} = 1,16$ МВт; $\mathcal{E}_{сут} = 27,8$ МВтч.

в) Построение анализирующей кривой

Координаты анализирующей кривой рассчитываются в табл.5.6. График нагрузки энергосистемы разбит на 5 полос мощностью $\Delta N = 2$ МВт и одну полосу с мощностью $\Delta N = 4$ МВт (рис. 4).

Таблица 5.6

Координаты анализирующей кривой

ΔN , МВт	t, час	$\Delta \mathcal{E}$, МВтч	$\Sigma \Delta \mathcal{E}$, МВтч
2	24	48	48
2	22	44	92
2	20	40	132
2	14	28	160
2	8	16	176
4	2	8	184

Отложив от конца анализирующей кривой величину $\mathcal{E}_{сут} = 27,8$ МВтч и опустив перпендикуляр до пересечения с кривой, получим $N_{пик}^{об} = 7$ МВт.

г) Определение базисной мощности

Базисная мощность рассчитывается по зависимости (5.6).

$N_{расч} = 74,2$ м; $Q_{баз} = 4,02$ м³/с. Приняв $\eta_a = 0,85$, получим

$$N_{баз} = 9,81 \times 74,2 \times 4,02 \times 0,85 = 2,5 \text{ МВт.}$$

д) Определение установленной мощности ГЭС.

$$N_{уст} = 7,0 + 2,5 + 0,1 \times 14 = 10,9 \text{ МВт,}$$

где $N_{уст}$ - максимальная мощность графика нагрузки.

е) Определение расчетного расхода ГЭС

Расчетным называется максимальный расход ГЭС, пропускаемый через турбины в период максимальной нагрузки. Его величину найдем из формулы

$$Q_p = \frac{N_{уст}}{9,81 \cdot H_{ср.взв} \cdot \eta_a} = \frac{10900}{9,81 \cdot 57,22 \cdot 0,85} = 23 \text{ м}^3/\text{с}.$$

ж) Определение годовой выработки электроэнергии на ГЭС

$\mathcal{E}_{год}$ определяются по зависимости (5.9).

$$\mathcal{E}_{год} = 6 \times 0,85 \times 730 \times 890,5 = 32 \text{ тыс. МВтч},$$

где $T = 730$ - среднее число часов в месяце; $\sum H_i = 890,5 \text{ м}$

6. Подбор основного гидросилового оборудования ГЭС

На основе водно-энергетических расчетов по $N_{уст}$, $H_{ср.взв}$ и $Q_{расч}$ производится подбор оборудования ГЭС. Для этого первоначально выбирается число агрегатов с учетом неравномерности графика нагрузки ГЭС, ее мощности и технико-экономических соображений.

Имея в виду относительно небольшую неравномерность графика нагрузки ГЭС и большую мощность станции, число агрегатов (z_a) может быть принято от 2 до 4.

Мощность одного агрегата будет равна

$$N_a = \frac{N_{уст}}{z}, \quad (6.1)$$

а мощность турбины при к. п. д. генератора $\eta_r = 0,92 \div 0,97$

$$N_T = \frac{N_a}{\eta_r}, \quad (6.2)$$

По сводному графику областей применения турбин (рис.3 Приложения 2) по N_T и $H_{ср.взв}$ определяется тип турбины. Затем по частным графикам области применения выбранного типа турбины (рис.4, 5 и 6 Приложения 2) устанавливают диаметр рабочего колеса D_1 частоту вращения турбины n .

Допустимая высота отсасывания определяется из выражения:

$$H_3 \leq h_3 - \frac{\nabla}{900} \quad (6.3)$$

Где h_3 - величина, взятая с частного графика выбранной турбины $h_3=f(H)$;

∇ - абсолютная отметка положения рабочего колеса турбины, ориентировочно принимаемая равной $\nabla = \nabla^{мин} + h_3$.

Основные размеры турбины приведены на рис.8 Приложения 2.

Генераторы подбираются по мощности агрегата N_a и частоте вращения n (таблица 13 Приложения 1). Если мощность генератора $N_{гкат}$ отличается от требуемой N_a , то, сохранив его диаметр, изменяют длину активной стали l_a до ближайшей стандартной $l_{аст}$.

Стандартные длины активной стали: 33, 36, 40, 45, 50, 55, 60, 67, 75, 82, 90, 100, 110, 122, 135, 150, 165, 182, 200, 220, 245, 270, 300.

Тогда мощность вновь запроектированного генератора равна:

$$N_r = N_{гкат} \frac{l_{acc}}{l_{акка}} \quad (6.4)$$

При $n \geq 150$ об/мин принимается подвесной тип генератора, при $n \leq 75$ об/мин - зонтичный (рис. 7 Приложения 2). При $75 \leq n \leq 170$ об/мин в данном курсовом проекте допускается принять любой тип генератора.

6.1. Пример подбора основного гидросилового оборудования ГЭС

Выбор числа агрегатов

Число агрегатов и, в конечном итоге, уточненную установленную мощность ГЭС обосновывают технико-экономическими расчетами.

При выборе числа агрегатов руководствуются следующими соображениями:

С увеличением числа агрегатов удорожается строительство ГЭС, но повышается степень надежности снабжения электроэнергией потребителей, улучшается форма групповой рабочей характеристики ГЭС (агрегаты работают в зоне наибольших к.п.д.).

Число агрегатов зависит от типа турбин. Поворотно-лопастные, ковшовые и тихоходные радиально-осевые турбины имеют рабочую характеристику, поэтому на ГЭС с такими турбинами групповая характеристика турбин имеет пологую форму даже при небольшом числе агрегатов. У быстроходных радиально-осевых и у пропеллерных турбин при отклонении мощности от оптимальной резко падает к.п.д., поэтому групповая характеристика имеет пологую форму лишь при большом числе агрегатов.

Применение быстроходных турбин ведет к уменьшению размеров гидроагрегатов. При применении таких турбин снижается стоимость строительства ГЭС. Однако с повышением быстроходности у турбин растет кавитационный коэффициент, уменьшается высота отсасывания, что приводит к необходимости более низкого расположения турбин по отношению к уровню нижнего бьефа. Это удорожает строительство ГЭС.

Число агрегатов зависит от условий работы ГЭС – изолированно или в энергетической системе. В первом случае при установке одного агрегата выход его из строя нарушает снабжение электроэнергией всех потребителей. При работе ГЭС в крупной энергосистеме можно было бы допустить установку одного агрегата, так как его остановка не может сильно повлиять на работу системы.

В общем случае минимальным числом агрегатов считается два агрегата.

С учетом вышеприведенных соображений, а также имея в виду неравномерность графика нагрузки ГЭС и ее ответственность в энергосистеме, принимаем к установке на ГЭС четыре агрегата ($z_a=4$). Мощность одного агрегата равна

$$N_{\text{агр}} = \frac{N_y}{z_a} = \frac{10,9}{4} = 2,73 \text{ мВт}$$

Выбор типа турбин

Выбор типа турбин производится по сводному графику крупных гидротурбин. При этом определяем мощность турбины, которая должна быть больше мощности генератора на величину потерь в нем

$$N_t = \frac{N_{\text{агр}}}{\eta_{\text{ген}}} = \frac{2,73}{0,96} = 2,84 \text{ мВт}$$

Где $\eta_{\text{ген}}$ - к.п.д. генератора, равный 0,96

На сводном графике мощности турбины $N_t=2,84$ мВт и расчетному напору $H_p=57,22$ м соответствует турбина РО 75/702

Определение диаметра рабочего колеса D_1 и частоты вращения турбины n .

По частному графику области применения турбин (рис.5 Приложения 2) определим $D_1=3,6$ м и $n=150$ об/мин.

Определение допустимой высоты отсасывания

Допустимая высота отсасывания определяется по формуле (6.3). При этом h_s - величина, взятая с частного графика выбранной турбины (рис. Приложения 2), равна 1,4м.

∇ - абсолютная отметка оси рабочего колеса D_1 , определяется из выражения $\nabla = \nabla_{\text{мин}} + h_s = 152,0 + 1,4 = 153,4$ м.

$\nabla_{\text{мин}}$ - минимальная отметка воды в НБ определяется при $Q_{\text{сан}}=4 \text{ м}^3/\text{с}$ по графику $\nabla_{\text{НБ}}=f(Q)$.

$$H_s = 1,4 - \frac{153,4}{900} \approx 1,24 \text{ м}$$

Подбор генераторов

Генераторы подбираются по номинальной мощности агрегата $N_{\text{агр}}=2,73 \text{ мВт}$ и частоте вращения турбины $n=150 \text{ об/мин}$.

По каталогу этим параметрам соответствует генератор СВ 750/165-40¹.

Его параметры $N_{\text{ген}}^{\text{кат}}=3,1 \text{ мВт}$, $\eta=97,3 \%$ (табл.13 Приложения 2). Мощность этого генератора больше требуемой на 14%. Для уменьшения мощности генератора до требуемой необходимо уменьшить длину его активной стали (l_a) (цифра в знаменателе в марке генератора). Требуемая длина активной стали находится по формуле:

$$l_a = \frac{N_{\text{ген}}}{N_{\text{ген}}^{\text{кат}}} l_a^{\text{кат}} = \frac{2,73}{3,1} 165 = 147,7 \text{ см}$$

Округляем полученную величину до ближайшей большей стандартной. Тогда $l_a^{\text{ст}} = 150 \text{ см}$ и мощность генератора будет составлять

$$N_{\text{ген}} = N_{\text{ген}}^{\text{кат}} \frac{l_a^{\text{ст}}}{l_a^{\text{кат}}} = 3,1 \frac{150}{165} = 2,9 \text{ мВт}$$

При таком генераторе излишек мощности составит $\frac{2,9 - 2,73}{2,73} 100\% = 6,8\%$ (меньше 10%), что является допустимым. Уточненная установленная мощности ГЭС будет равна

$$N_{\text{уст}} = 2,9 \cdot 4 = 11,6 \text{ мВт}$$

Выбор типа генератора

При частоте вращения $n \geq 150 \text{ об/мин}$ принимается подвесной тип генератора (рис. 7 Приложения 2).

Основные размеры гидрогенератора

Внешний диаметр статора

$$D_{\text{ст}}=1,1 D_a=1,1 \times 7,5=8,25 \text{ м}$$

(D_a - первая цифра в марке генератора в см).

Высота статора

$$l_{\text{ст}} = l_a + \frac{\pi D_i}{2p}$$

Где D_i - диаметр расточки статора (табл.13 Приложения 2);

$2p$ - число пар полюсов (последняя цифра в марке генератора)

$$l_{\text{ст}} = 1,5 + \frac{3,14 \cdot 6,95}{40} \approx 2 \text{ м}$$

Высота верхней крестовины $h=0,2 D_i=0,2 \times 6,95=1,4 \text{ м}$.

Вес генератора

¹ СВ 750/165-40, где СВ- синхронный вертикальный, 750- D_a - внешний диаметр статора генератора, см. 165- l_a - длина активной стали генератора, см. 40-число пар полюсов.

$$G_r = G_r^{\text{кат}} \frac{I_a^{\text{ст}}}{I_a^{\text{кат}}} = 590 \frac{150}{165} = 536 \text{ т}$$

Вес ротора генератора

$$G_p = G_p^{\text{кат}} \frac{I_a^{\text{ст}}}{I_a^{\text{кат}}} = 285 \frac{150}{165} = 259 \text{ т}$$

G_r и G_p взяты из каталога генераторов (табл.13, приложения 1).

7. Выбор типа и определение основных размеров сооружений комплексного гидроузла

В основные сооружения комплексного гидроузла входят: водоприемник ГЭС, плотина, здание ГЭС, водозаборное сооружение оросительной системы.

7.1. Определение основных параметров водоприемника ГЭС

а) ширина водоприемника принимается равной

$$B_3 \approx 2D_{\text{тр}} \quad (7.1)$$

где $D_{\text{тр}}$ - диаметр турбинного водовода.

$$D = 1,3D_1 \quad (7.2)$$

где D_1 - диаметр рабочего колеса турбины

б) высота входного отверстия водоприемника определяется по допустимой скорости течения

$$h_a = \frac{Q_t}{B_v V} \quad (7.3)$$

где $V=1-1,2$ м/с, Q расход одной турбины $Q_t = \frac{Q_{\text{расч}}}{z_b}$.

Верх водоприемника должен быть заглублен под минимальный уровень верхнего бьефа (УМО) на величину $1 \div 2$ м и отметка его порога будет равна:

$$\nabla^{\text{пор}} = \nabla^{\text{умо}} - h_a - 2,0 \quad (7.4)$$

7.2. Определение параметров плотины

Отметка гребня плотины определяется запасом над максимальным уровнем воды в водохранилище, равным $2 \div 3$ м

$$\nabla^{\text{гр}} = \nabla^{\text{нпу}} + (2 \div 3) \quad (7.5)$$

Верховая грань стационарной плотины принимается вертикальной, низовая грань из условия устойчивости может быть выполнена с заложением $m = 0.8$.

7.3. Определение основных параметров здания ГЭС

Здание станции принимается с высоким верхним строением. Компонуется с учетом возможного использования стандартных элементов (подкрановых колонн и балок, стропильных балок и плит перекрытия). Принимается каркасный тип здания со стандартным шагом колонн 6 м.

Длина здания определяется суммой ширин турбинных блоков (B) и шириной монтажной площадки:

$$L = B(z_a + 1) \quad (7.6)$$

Где B – ширина одного турбинного блока, $B=4D_1$,
 z_a - число агрегатов

Ширина машинного зала принимается из условия размещения в нем генераторов, щитов управления и распределительных устройств с допустимыми проходами между оборудованием и стенками здания. При диаметре рабочего колеса турбины 1,6-3,0 м ширину здания целесообразно принять равной 12 м.

Высота машинного здания определяется размерами нижнего блока и верхнего строения. Высота нижнего блока до пола машинного зала определяется толщиной плиты основания, размерами изогнутой отсасывающей трубы, размерами турбины и турбинного помещения, ориентировочно:

$$H_{\text{нб}}=3,5(D_1+1) \quad (7.7)$$

Высота верхнего строения определяется размерами оборудования и условиями его монтажа ориентировочно

$$H_{\text{вс}}=4,3(D_1+1) \quad (7.8)$$

Полная высота здания:

$$H_{\text{зд}}=H_{\text{нб}} + H_{\text{вс}} \quad (7.9)$$

7.4. Определение основных параметров водозаборного сооружения для оросительной системы, расположенной в нижнем бьефе

Водозаборное сооружение необходимо расположить в теле грунтовой плотины на отметке, обеспечивающей поступление воды в водохранилище. Водозабор следует принять по типу затопленной трубы, расчет которой ведется по формуле:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2qz} \quad (7.10)$$

Задаваясь количеством труб и их размерами, можно определить перепад уровней z и соответственно отметки верха и дна труб, а также командную отметку оросительной системы.

При разработке схемы комплексного гидроузла с приплотинной ГЭС на чертеже необходимо представить: поперечный разрез по оси стационарной секции плотины и зданию ГЭС (рис.9 Приложения 2), продольный разрез по оси водозаборного сооружения оросительной системы (рис.10 Приложения 2) и план гидроузла.

Все конструкции основных сооружений гидроузла на чертеже должны быть привязаны к уровням бьефов. Откладывая на чертеже величину H_s (вниз от оси турбины при положительной величине H_s и вверх при отрицательной величине H_s), получают предельное положение минимального уровня нижнего бьефа. При этом верхняя кромка отсасывающей трубы должна быть заглублена под минимальный уровень на величину около 0,5 м. Полученный уровень воды фиксируют соответствующей отметкой. В соответствии с масштабом наносят остальные уровни бьефов и характерные отметки сооружений.

Плотина, входящая в состав гидроузла, состоит из 4 частей: правобережная и левобережная грунтовые глухие части, водосливная бетонная часть и стационарная бетонная часть.

Глухие части плотины следует принять грунтовыми: земляными с заложением откосов $m_{\text{в}}=3,5\div 4$, $m_{\text{н}}=3\div 3,5$ или каменно-набросными ($m_{\text{в}}=1,2\div 1,3$; $m_{\text{н}}=1,3\div 1,4$). Водосливная часть не рассчитывается, а условно принимается бетонной, состоящей из 2-4 пролетов по 10-20м.

7.5. Пример расчета параметров основных сооружений комплексного гидроузла

Компоновка здания ГЭС

Вертикальная компоновка нижнего блока выполнена из условия соблюдения двух основных требований:

1. Отметка рабочего колеса отличается от минимального уровня воды в НБ на величину H_s .

2. Верхняя кромка отсасывающей трубы заглублена под минимальный уровень воды в НБ >0.5 м.

Размеры нижнего блока и верхнего строения здания ГЭС в первом приближении могут быть определены по формулам (7.6)÷(7.9).

Высота нижнего блока

$$H_{\text{нб}} \approx 3,5(D_1+1) \approx 3,5(3,6+1) \approx 16,4$$

Принимаем каркасный тип верхнего строения со стандартным шагом колонн 6м.

Длина здания равна

$$L = B(z_a - 1) = 4 * 3,6(4+1) = 72 \text{ м.}$$

С учетом стандартного шага колонн принимаем длину здания $L = 72$ м.

Высота верхнего строения ориентировочно равна

$$H_{\text{вс}} \approx 4,3(D_1+1) \approx 20,2 \text{ м.}$$

Полная высота здания

$$H_{\text{зд}} = H_{\text{нб}} + H_{\text{вс}} \approx 36,6 \text{ м.}$$

Ширина машинного зала определяется условиями обеспечения прохода шириной не менее $1 \div 1,5$ м между съемным перекрытием генератора и стенами и между агрегатами и шкафами КРУ, а также щитами управления не менее 2,5 м. Кроме этого, минимальное приближение транспортируемой части оборудования к стенам, генераторам, шкафам КРУ должно быть не менее 0,3 м.. Пролет здания принимается стандартным (в данном случае 18 метров).

Разрез по зданию ГЭС представлен на рис.9 Приложения 2.

Плотина

Принимаем глухую часть плотины каменно-набросной с заложением откосов: верхового $m=2,5$, низового $m=2,25$.

Водосливную и станционную части плотины выполняем бетонными и с заложением низового откоса $m=0,8$, верховой откос - вертикальным. Длина станционной плотины определяется размерами агрегатных блоков. Водосливную часть плотины примем состоящей из четырех водопропускных отверстий шириной по 20 м².

Отметка верха плотины определяется запасом над минимальным уровнем воды в водохранилище.

Отметка гребня плотины

$$\nabla_{\text{гр}} = \nabla_{\text{НПУ}} + 2\text{м} = 880 + 2 = 882\text{м}$$

Водоприемник ГЭС

Водоприемник служит для непосредственного приема воды из водохранилища. Он оборудуется сороудерживающими решетками, ремонтными и аварийно-ремонтными затворами. Размеры водоприемника определяются по формулам (7.1)÷(7.4).

Ширина водоприемника равна

$$B_{\text{в}} = 2,0 \quad D_{\text{тр}} = 4,7 \times 2 = 9,4\text{м}$$

Где $D_{\text{тр}}$ - диаметр турбинного трубопровода $D_{\text{тр}} = 1,3 \quad D_1 = 4,7\text{м}$.

Допустимая скорость течения в водоприемнике принята равной 0,8 м/с, тогда высота водоприемника равна

$$h_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{турб}}}{B_{\text{в}} V} = \frac{93,75}{9,4 \cdot 0,8} = 11\text{м.}$$

Верх водоприемника заглублен на 2 метра под минимальный уровень, верхнего бьефа (УМО), тогда отметка его порога будет:

$$\nabla_{\text{пор}} = \nabla_{\text{УМО}} - h_{\text{в}} - 2,0 = 870 - 11 - 2 = 857$$

Водозаборное сооружение для оросительной системы

² Ширина водосливного фронта обычно определяется расчетами, но так как в данном случае гидротехнические данные отсутствуют, выполнить такие расчеты не представляется возможным. Поэтому размеры отверстий принимаются конструктивно.

Водозаборное сооружение необходимо расположить в теле глухой части плотины на отметке, обеспечивающей поступление воды в оросительный канал при любом уровне воды в водохранилище.

Водозаборное сооружение принимаем по типу затопленной трубы, расчет которой ведется по формуле (7.10). Расчет его проводится для максимального оросительного расхода, определяемого по формуле:

$$Q_{\max} = \frac{q_{\max} F_{\text{ор}}}{\eta_{\text{ос}}} = \frac{0,5 \cdot 40}{0,8} = 25 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для сохранения более высокой командной отметки оросительного канала необходимо стремиться к получению меньшей величины z , но это приводит к увеличению размеров водозаборного сооружения. Примем водозабор, состоящим из двух труб прямоугольного сечения $1,5 \times 1,8$ м. Из формулы (7.10) получим, что перепад между уровнем воды в водохранилище и уровнем в оросительном канале равен:

$$z = \left(\frac{Q_{\max}/2}{\mu \omega \sqrt{2g}} \right)^2 = \left(\frac{12,5}{0,8 \cdot 2,7 \cdot 4,49} \right)^2 = 1,7 \text{ м},$$

где μ - коэффициент расхода трубы, $\mu = 0,8$.

ω - площадь сечения одной трубы, $\omega = 1,8 \times 1,5 = 2,7 \text{ м}^2$.

Скорость движения воды в трубе

$$V_{\text{тр}} = \frac{Q}{\omega} = \frac{12,5}{2,7} = 4,62 \text{ м/с}$$

Для того чтобы труба работала полным сечением и в нее не засасывало воздух, верхняя кромка трубы заглубляется под минимальный уровень ВБ на величину

$$h_{\text{загл}} = (2 \div 3) \frac{V_{\text{тр}}^2}{2g} = 2,2 \div 3,3 \text{ м}.$$

Принимаем $h_{\text{загл}} = 2,3$ м. Тогда отметка верха трубы будет равна

$$\nabla_{\text{верхтр}} = \nabla_{\text{УМО}} - 2,3 = 868 - 2,3 = 865,7 \text{ м}.$$

Отметка дна трубы

$$\nabla_{\text{днатр}} = \nabla_{\text{верхтр}} - h_{\text{тр}} = 867,7 - 1,8 = 865,9 \text{ м}.$$

Разрез по водозабору оросительной системы показан на рис.10 Приложения 2.

8. Мероприятия по охране окружающей среды в связи с созданием ВХК

В этом разделе необходимо осветить, какие положительные и отрицательные изменения вносит в окружающую среду водохозяйственное строительство, и перечислить меры, снижающие ущерб, наносимый гидротехническим строительством.

При затоплении водохранилищ происходит затопление значительных площадей, большая часть которых используется в сельскохозяйственных целях.

Потери сельскохозяйственной продукции, в целях сохранения прежнего уровня сельскохозяйственного производства, должны компенсироваться путем проведения таких мероприятий, как освоение равновеликой площади новых земель, проведение мелиоративных работ на имеющихся сельскохозяйственных угодьях, дающих дополнительный урожай, эквивалентный теряемому, или интенсификация старопахотных земель с помощью агрономических приемов. Расходы, связанные с этими мероприятиями, относятся на смету водохозяйственного комплекса.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

Исходные данные

№ варианта	Средний расход гидрографа $Q_{\text{ср}} \text{ м}^3/\text{с}$	Отдельное приложение	Численность населения, тыс. чел.		Площадь орошаемых земель F , тыс. га	Вид и численность животных, тыс. гол		Вид и годовой объем промышленной продукции тыс. т./год		Годовая выработка э/энергии, Э, тыс. МВт	Средний расход рыбозавода, тыс. чел	Число отдыхающих $N_{\text{отд}}$, тыс. чел
			Городского $N_{\text{г}}$	Сельского $N_{\text{с}}$		P_1	P_2	B_1	B_2			
1	5	1	100	20	5	Коровы 4	Телята 6	100	500	50	3.0	1.0
2	6	2	110	22	6	Свиньи 5	Птица 100	40	400	55	3.5	2.0
3	7	3	112	24	7	Овцы 10	Птица 110	120	300	60	4.0	1.8
4	8	4	114	25	8	Коровы 10	Телята 12	130	500	65	4.0	1.5
5	9	5	115	26	9	Свиньи 5	Овцы 20	140	550	68	3.0	2.0
6	10	6	116	27	10	Птица 120	Овцы 22	150	600	70	3.5	1.8
7	11	7	117	28	11	Коровы 8	Телята 6	160	620	72	4.0	2.0
8	12	8	118	29	12	Птица 115	Свиньи 12	170	640	74	4.5	2.0
9	13	9	119	30	13	Коровы 8	Телята 6	180	660	75	4.0	2.0
0	14	10	120	20	14	Коровы 7	Телята 9	190	700	76	5.0	1.5

Таблица 2

Исходные данные для всех вариантов

месяц	Объемы попусков			График подачи воды на пруды рыбозавода
	Санитарные $Q_{\text{с}}$	Рабочезаязственные $Q_{\text{рх}}$	Водно-транспортные $Q_{\text{вт}}$	
I	Q_{min}	0	0	0
II	Q_{min}	0	0	0
III	Q_{min}	0	0	0
IV	Q_{min}	$3Q_{\text{с}}$	$2Q_{\text{с}}$	$Q_{\text{рз}}$
V	Q_{min}	$3Q_{\text{с}}$	$2Q_{\text{с}}$	$0,1Q_{\text{рз}}$
VI	Q_{min}	$3Q_{\text{с}}$	$2Q_{\text{с}}$	$0,1Q_{\text{рз}}$
VII	Q_{min}	$2Q_{\text{с}}$	$3Q_{\text{с}}$	$0,2Q_{\text{рз}}$
VIII	Q_{min}	$2Q_{\text{с}}$	$3Q_{\text{с}}$	$0,2Q_{\text{рз}}$
IX	Q_{min}	$Q_{\text{с}}$	$Q_{\text{с}}$	$0,3Q_{\text{рз}}$
X	Q_{min}	0	0	0
XI	Q_{min}	0	0	0
XII	Q_{min}	0	0	0

Таблица 3

Значение коэффициента β (отношение расхода гидрографа i -того месяца к среднегодовому $Q_{ср}$) для различных бассейнов

№ варианта	Бассейн	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Москва	0,54	0,43	0,32	0,64	1,02	1,44	1,86	2,16	1,42	0,89	0,63	0,51
2	Ока	0,25	0,24	0,21	1,25	1,60	1,82	2,40	2,41	1,55	1,08	0,66	0,40
3	Ока	0,42	0,45	0,52	1,29	2,45	2,24	1,69	0,77	0,90	0,92	1,18	0,91
4	Волга	0,21	0,23	0,27	0,85	1,77	1,84	1,56	0,99	1,44	0,63	0,45	0,45
5	Волга	0,48	0,65	0,52	1,07	1,98	1,54	1,32	1,08	0,75	0,49	0,65	1,56
6	Дон	0,35	0,31	0,30	0,65	1,92	2,05	2,52	1,26	0,72	0,50	0,41	0,41
7	Кубань	0,31	0,32	1,9	5,3	3,4	1,5	0,87	0,67	0,38	0,41	0,44	0,41
8	Иртыш	0,13	0,12	0,11	7,18	3,55	1,77	0,46	0,36	0,32	0,46	0,34	0,22
9	Сулак	0,56	1,68	3,0	4,1	1,15	0,62	0,54	0,78	0,54	0,6	0,64	0,77
10	Терек	0,77	3,6	2,2	1,65	0,93	0,67	0,24	0,1	0,19	0,34	0,76	0,46

Таблица 4

Кривая связи уровней воды и объемов водохранилища в верхнем бьефе гидроузла

№ планшетки	Координаты	№ точек на кривой				
		1	2	3	4	5
1	∇ВБ, м	930	935	940	945	950
	W, млрд. м ³	2,50	2,65	2,85	3,15	3,50
2	∇ВБ, м	380	385	390	395	400
	W, млрд. м ³	1,50	1,64	1,85	2,15	2,50
3	∇ВБ, м	480	485	490	495	500
	W, млрд. м ³	2,5	2,62	2,8	3,02	3,30
4	∇ВБ, м	340	345	350	355	360
	W, млрд. м ³	2,0	2,12	2,30	2,60	2,95
5	∇ВБ, м	250	255	260	265	270
	W, млрд. м ³	1,0	1,16	1,32	1,56	1,80
6	∇ВБ, м	490	495	500	505	510
	W, млрд. м ³	2,0	2,15	2,65	2,95	3,00
7	∇ВБ, м	440	445	450	455	460
	W, млрд. м ³	2,1	2,25	2,45	2,75	3,10
8	∇ВБ, м	345	350	355	360	365
	W, млрд. м ³	1,5	1,8	2,15	2,45	2,70
9	∇ВБ, м	575	580	585	590	595
	W, млрд. м ³	1,50	1,64	1,83	2,08	2,40
10	∇ВБ, м	140	145	150	155	160
	W, млрд. м ³	3,1	3,27	3,37	3,65	4,00

Таблица 5

Кривая связи уровней воды и расходов в нижнем бьефе гидроузла

№ планшет-ки	Уровни воды при расходах				
	0	$\frac{1}{4} Q_{\max}$	$\frac{1}{2} Q_{\max}$	$\frac{3}{4} Q_{\max}$	Q_{\max}
1	865,0	867,5	868,5	869,3	870,0
2	330,0	332,5	333,6	334,3	335,0
3	415,0	417,5	418,5	419,3	420,0
4	275,0	277,5	278,5	279,3	280,0
5	184,0	186,5	187,5	188,3	189,0
6	380,0	382,5	383,5	384,3	385,0
7	273,0	275,5	276,5	277,3	278,0
8	310,0	312,0	313,5	314,3	315,0
9	475,0	477,5	478,5	479,3	480,0
10	80	82,5	83,5	84,5	85,0

Здесь Q_{\max} – максимальный расход расчетного гидрографа, округленный (в большую сторону) до целого числа, делящегося на 10, например, если максимальный расход гидрографа 34 м³/с, $Q_{\max}=40\text{м}^3/\text{с}$

Таблица 6

Нормы водопотребления в коммунально-бытовом хозяйстве в зависимости от степени благоустроенности района жилой застройки в л/сут на 1 жителя

Степень благоустроенности	Норма водопотребления
Водоразборные колонки	50-125
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией без ванн	125-150
То же с газовыми нагревателями	180-230
Застройка зданиями, оборудованными водопроводом, канализацией и системой централизованного горячего водоснабжения	275-400

Таблица 7

Нормы промышленного водопотребления (куб. м/т в год)

№ варианта	Предприятие	Норма водопотребления	Предприятие	Норма водопотребления
1	Суконные ф-ки	4000	Азотнотуковый комбинат	1000
2	Ф-ки верхнего трикотажа	1980	Птицекомбинат	80
3	Кожевенные заводы	260	Фабрика лавсана	950
4	Обувные заводы	600-800	Мясокомбинат	100
5	Шелкомотальные ф-ки	7250	К-т по производству шелковых тканей	945
6	Завод химич. Удобрений	600	Птицекомбинат	80
7	Содовый завод	100	Мясокомбинат	100
8	Глиноземный завод	200	Завод кордного волокна	2000
9	Ф-ка вискозного шелка	2300	Мясокомбинат	100
10	Завод резино-технических изделий	330	Мясокомбинат	100

Таблица 8

Средневзвешенные нормы водопотребления на орошение структурного гектара (75%)

№ варианта	Область	Норма, м ³ /га
1	Московская	4300
2	Рязанская	4500
3	Тульская	4550
4	Саратовская	4200
5	Самарская	4300
6	Ростовская	4150
7	Краснодарский край	4500
8	Зап. Сибирь	Без орошения
9	Сев. Кавказ	3200
10	Ставропольский край	4500

Таблица 9

Распределение оросительной нормы по месяцам в долях μ ор.

Регион	Месяцы					
	IY	Y	YI	YII	YIII	IX
Центральный район	-	0,15	0,20	0,25	0,20	-
Поволжье	0,05	0,15	0,20	0,25	0,20	0,15
Юг России	0,10	0,15	0,20	0,20	0,20	0,15

Таблица 10

Нормы водопотребления в животноводческих комплексах

Вид животных	Норма, q л/сут. на голову
Коровы	155-200
Телята	30-50
Свиньи	50-85
Овцы	10
Птица	0,5-2,65

Таблица 11

Коэффициенты возврата и разбавления для водопотребителей и к.п.д. систем водоснабжения

Отрасль	K_v	$K_{разб}$	η
Городское коммунально-бытовое хозяйство	0,8	5	0,8
Сельское коммунально-бытовое хозяйство	0,3	10	0,7
Животноводство	0,3	15	0,7
Промышленность	0,9	12	0,9
Орошение	0,15	8	0,7
Рекреация	0,8	5	0,9

Таблица 12

Коэффициенты полезного действия оросительных систем

Тип систем	К.п.д.
Старые системы с необлицованными каналами	0,50 – 0,55
То же с облицованными каналами	0,70 – 0,80
Закрытые системы с трубопроводами	0,90 – 0,95

Номенклатура генераторов

Тип генератора	Скорость вращения <i>n</i> , об/мин	Мощность <i>N</i> , кВт	К.п.д.	Диаметр расточки статора, <i>D_i</i> , см	Вес	
					ротора <i>G_p</i> , т	общий <i>G</i> , т
CB250/82-8	750	8960	96,8	190	25	64
CB250/110-8	750	12000	97,0	190	33	86
CB250/165-8	750	18000	97,2	190	50	130
CB250/67-10	600	5000	96,6	195	22	47
CB250/100-10	600	8960	96,9	195	32	70
CB250/135-10	600	12000	97,1	195	43	95
CB250/200-10	600	18000	97,3	195	64	140
CB250/82-12	500	6000	96,8	200	28	62
CB250/122-12	500	8960	97,0	200	41	90
CB250/150-12	500	12000	97,2	200	50	110
CB325/90-12	500	12000	96,8	265	45	100
CB325/135-12	500	18000	97,2	265	70	150
CB325/182-12	500	25000	97,2	260	90	200
CB250/55-16	375	3000	95,8	205	18	40
CB250/67-16	375	4000	96,3	205	23	49
CB250/100-16	375	6000	96,6	205	34	72
CB325/55-16	375	6000	96,5	275	28	59
CB325/82-16	375	8960	96,8	275	40	84
CB325/110-16	375	12000	97,0	275	55	118
CB325/165-16	375	18000	97,3	275	85	178
CB425/90-16	375	18000	96,8	360	65	160
CB425/122-16	375	25000	97,2	360	90	210
CB425/182-16	375	36000	97,2	360	130	310
CB250/60-20	300	3000	95,8	210	21	43
CB250/82-20	300	4000	96,1	210	29	59
CB325/67-20	300	6000	96,45	280	35	71
CB325/100-20	300	8960	96,7	280	58	120
CB325/122-20	300	12000	96,9	280	63	130
CB425/75-20	300	12000	96,8	365	65	112
CB425/110-20	300	18000	97,0	365	80	168
CB425/150-20	300	25000	97,2	365	110	228
CB425/220-20	300	36000	96,35	365	165	385
CB550/165-20	300	50000	97,2	485	180	400
CB250/75-24	250	3000	95,5	210	27	50
CB250/100-24	250	4000	95,7	210	35	70
CB325/82-24	250	6000	96,4	280	42	85
CB425/67-24	250	9600	96,3	375	50	100
CB425/90-24	250	12000	96,8	375	68	136
CB425/135-24	250	18000	97,0	370	100	198
CB425/200-24	250	28000	97,15	370	150	310
CB550/200-24	250	50000	97,3	490	220	500
CB650/200-24	250	72000	97,2	585	275	700

CB325/50-28	214,3	3000	95,5	285	27	55
CB325/67-28	214,3	4000	95,8	285	36	71
CB325/100-28	214,3	6000	96,15	285	55	108
CB425/55-28	214,3	6000	96,2	380	43	85
CB425/75-28	214,3	8960	96,6	380	58	114
CB425/100-28	214,3	12000	96,7	380	78	154
CB425/150-28	214,3	18000	96,9	375	115	226
CB550/60-28	214,3	12000	96,5	500	55	109
CB550/90-28	214,3	18000	96,9	495	100	195
CB550/122-28	214,3	25000	97,0	495	135	265
CB550/165-28	214,3	36000	97,2	495	180	350
CB650/165-28	214,3	50000	97,2	590	230	500
CB650/220-28	214,3	72000	97,3	590	310	700
CB325/60-32	187,5	3000	95,3	285	32	62
CB325/75-32	187,5	4000	95,5	285	40	78
CB425/60-32	187,5	6000	96,0	380	45	88
CB425/90-32	187,5	8000	95,9	380	70	130
CB425/122-32	187,5	12000	96,6	380	95	185
CB550/67-32	187,5	12000	96,5	500	75	146
CB550/100-32	187,5	18000	96,8	495	112	216
CB550/135-32	187,5	25000	97,0	495	150	290
CB650/67-32	187,5	18000	96,5	590	95	204
CB650/100-32	187,5	25000	97,0	590	140	300
CB650/135-32	187,5	36000	97,15	590	190	410
CB650/182-32	187,5	50000	97,25	590	250	550
CB650/220-32	187,5	60000	97,3	590	300	660
CB325/60-36	166,7	3000	94,6	290	32	62
CB325/82-36	166,7	4000	95,4	290	45	87
CB425/67-36	166,7	6000	96,0	380	52	100
CB425/100-36	166,7	8960	96,3	380	80	150
CB550/60-36	166,7	8960	96,2	505	67	130
CB550/75-36	166,7	12000	96,3	505	85	165
CB550/114-36	166,7	18000	96,8	505	120	230
CB650/75-36	166,7	18000	96,6	595	100	200
CB650/100-36	166,7	25000	96,9	595	140	274
CB650/150-36	166,7	36000	96,15	595	210	410
CB750/75-36	166,7	25000	97,8	690	125	240
CB750/100-36	166,7	36000	96,05	690	185	470
CB750/150-36	166,7	50000	97,2	690	255	580
CB750/220-36	166,7	72000	97,3	690	370	850
CB550/67-60	100	6000	95,4	510	75	140
CB650/67-60	100	8960	95,8	610	95	178
CB650/82-60	100	12000	96,1	610	115	215
CB650/122-60	100	18000	96,3	605	175	330
CB750/100-60	100	18000	96,5	700	170	320
CB900/67-60	100	18000	96,5	850	145	267
CB900/90-60	100	25000	96,7	850	200	370
CB900/122-60	100	36000	96,9	850	270	500
CB900/165-60	100	50000	97,0	850	365	680
CB1100/165-60	100	72000	97,2	1045	480	1000

Таблица 14

Суточный график нагрузки местной энергосистемы, тыс. кВт

вариант	Часы суток											
	0 -2	2 -4	4 -6	6 -8	8 -10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	40	70	80	60	60	50	70	80	100	80	70
2	40	48	56	64	56	48	40	56	64	80	72	56
3	40	50	50	70	60	50	60	60	70	90	70	50
4	30	24	36	48	42	42	367	42	60	54	48	42
5	42	28	35	49	56	42	35	49	63	70	56	49
6	30	36	42	48	42	36	30	42	48	60	54	42
7	75	90	105	120	105	90	75	105	120	150	135	105
8	32	40	56	64	48	40	32	56	64	80	64	48
9	40	32	48	64	56	56	48	64	80	72	64	56
0	40	50	50	70	50	50	60	60	70	90	70	50