

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Аспирант А. П. ОРЛОВА

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВОДНЫХ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАЛАНСОВ
В ВОДОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
РАСЧЁТАХ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ—1955

Руководитель: чл.-кор. АН КазССР, доктор-техн. наук,
проф. В. П. ЗАХАРОВ

85273.
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР

Технический редактор З. П. Горьковая

P05861 Подписано к печати 10/V-55 г. Бумага $60 \times 92 \frac{1}{16} = 0,5$ бум.—1,0.
Печ. л. Изд. л. 1,0 Тираж 125.

Типография Издательства АН УзССР, Хорезмская, 9, Заказ 502
Отпечатано в тип. Дортранжелдориздата. Зак. № 1938.
Ташкент — 1955

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Директивами XIX Съезда КПСС по пятилетнему плану в разделе о развитии гидроэнергетики, орошения земель и о развёртывании крупного комплексного гидростроительства по районам Средней Азии предусматривается строительство оросительных и обводнительных систем при полном комплексном использовании водных источников рек Сыр-Дарьи, Зеравшана, Кашка-Дарьи. Что касается перспективы, то вырисовываются еще более грандиозные задачи использования стока реки Аму-Дарьи, в более отдалённом будущем, переброска части стока сибирских рек в Среднюю Азию.

Решение этих колоссальных по масштабу проблем обуславливается специфическими особенностями нашего гидростроительства, непосредственно вытекающими из социалистической структуры народного хозяйства:

1) параллельное гармоническое развитие всех отраслей водного хозяйства: гидроэнергетики, водоснабжения, мелиорации земель, водного транспорта и др.;

2) комплексный характер развития всех отраслей с выделением в каждом отдельном случае основного водопотребителя и с увязкой требований его с интересами остальных претендентов на воду.

С развитием разнородных отраслей водного хозяйства и постепенным приближением к полному использованию водных ресурсов усложняются взаимодействия между элементами водного хозяйства и водный бассейн превращается в единую сложную водохозяйственную систему. Основными определяющими характеристиками такой системы являются:

1) высокий уровень использования стока,

2) комплексность элементов составляющих сложную водохозяйственную систему.

Под комплексностью её элементов понимается: водохозяйственная, гидрологическая и территориальная комплексность.

Решать задачи комплексного использования стока в совершенной форме с научным обоснованием можно только

балансовыми расчётами, так как путем составления балансов по всей водохозяйственной системе в целом и по её элементам в любые отрезки времени можно учесть: режимы всех источников питания системы; потребность всех отраслей водного хозяйства; всю сложность питания различных участков системы различными источниками питания; учесть влияние всех регулирующих элементов системы.

При регулировании стока и его расчётах в сложной водохозяйственной системе большое значение приобретает комплексность регулирующих элементов системы. При наличии такой комплексности питание участков системы, расположенных ниже водохранилища, происходит не только от него, но и от других источников питания. Водохранилище в этом случае покрывает недостаток воды, который меняется во времени. При этом оно работает на переменный режим потребления.

Таким образом, расчеты регулирования стока на постоянный режим потребления не являются реальностью. Они должны быть проведены на переменную отдачу по балансовым расчётам. Работа водохранилища, в таком случае, приобретает компенсированный характер. Расчёты регулирования стока и обеспеченности водоподачи таких водохранилищ должны производиться для водохозяйственной системы не на основе анализа рядов гидрологических данных (стоков), а на основе анализа рядов балансовых разностей по системе, отнесённых к створу водохранилища. Таким образом, комплексное и наиболее полное использование водных ресурсов, требующее расчётов на переменную отдачу, может быть решено проведением водных и связанных с ним водоземельных и энергетических балансовых расчетов. Данные балансовые расчеты осуществляются проектирующими организациями.

Однако степень изученности методического построения различных балансов неодинакова. Имеется специальная литература по составлению водоземельных балансовых расчётов и энергобалансов, но методике составления водного баланса в нашей технической литературе отведено довольно скромное место. Данный вопрос нашёл частичное отражение у В. П. Захарова в его докторской диссертации: "Методика энергэкономических расчётов комплексного регулирования стока" и ряде руководящих указаний самих проектных организаций при решении тех или других частных задач водного баланса. Поэтому составление водных балансов ведется в проектных организациях без установленной обобщённой методики с учётом в каждом отдельном случае

только местных особенностей системы и других практических соображений.

Задачей реферируемой работы является:

1) проанализировать методы водных балансовых расчётов, применяемых различными проектными организациями;

2) обобщить и дать методику составления водных балансов:

а) при отсутствии регулирования стока в системе и

б) при наличии такового в зависимости от местоположения и назначения регулирующих ёмкостей;

3) разработать приёмы определения энергопусков по каскаду ГЭС в зависимости от расположения водохранилища;

4) выявить возможность применения для расчётов компенсированного регулирования стока по балансовым разностям существующих методов расчёта, разработанных для расчётов зарегулированного стока в данном створе.

II. МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ВОДНЫХ БАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ

На основании анализа водных балансовых расчётов по бассейнам рек Средней Азии, в частности, по бассейну реки Сыр-Дарья и Чирчик-Ангрен-Келесу выявлены цели и задачи водных балансовых расчётов и обобщена методика их составления,

Балансовые расчёты, выполняемые проектными организациями отвечают различным задачам: во-первых могут быть задачи, которые решаются непосредственно балансовыми расчётами;

во-вторых задачи, решаемые последующими водохозяйственными и энергэкономическими расчётами на основе балансовых расчётов.

К первой группе относятся: определение требований к источнику орошения всех видов потребления и использования воды; определение режима работы тракта и пропускной его способности; определение энергетических пусков по тракту; определение сбросов.

Ко второй группе относятся: техно-экономическое обоснование необходимости и возможности регулирования стока; определение объема водохранилищ и их расположения; техно-экономическое обоснование пропускной способности гидроузла и трактов; определение установленных мощностей гидроэлектрических станций и т. д.

При решении каждой из этих задач, исходными данными для составления баланса являются его приходная и расходная части. Результатом баланса является балансовая раз-

ность, которая может быть знакопеременной величиной—либо избыток, (Z^+), либо недостаток стока (Z^-). Балансовые расчёты, проведенные за какой либо период времени, желательно 20—30 лет и более, дают ряд балансовых разностей, который и является основой дальнейших расчетов.

В общем виде баланс выражается следующим образом:

$$Z^{\pm} = \left[(a + b) + \sum_1^n C \right] - \left(\sum_1^m Q + \sum_1^k h \right)$$

Где Z^{\pm} — балансовая разность (избыток или недостаток),

a — расход основного створа,

b — расход створов боковой поверхностной приточности,

$\sum_1^n C$ — сумма всех видов дополнительных вод: русловых, родниковых, возвратных, сбросных и т. д.,

$\sum_1^m Q$ — сумма всех видов потребления: ирригационного, промышленного, хозбытового и др.,

$\sum_1^k h$ — сумма всех видов потерь: в системе, в водохранилищах и т. д.

Для составления водных балансовых расчётов по сложной водохозяйственной системе необходимо разделить её на балансовые участки. Основными принципами деления системы на балансовые участки должны быть: 1) по возможности минимальное число расчётных участков, 2) на отдельные балансовые участки должны выделяться те части водного баланса, которые различаются друг от друга источниками питания. 3) границы участков определяются створами водохранилищ и подкомандностью различным водным трактам.

Помимо вышеуказанных положений при делении системы на балансовые участки необходимо учитывать наличие целого ряда специфических территориальных и хозяйственных особенностей бассейна.

Первым этапом расчёта после того, как система разбита на участки, является составление поучастковых водных балансов, где происходит балансирование внутренних ресурсов участка с потреблением. Вторым этапом расчётов является составление потребительских балансов по трактам или цепочкам участков на базе внутриучастковых. Эти балансы составляются цепочным методом по водным трактам. При этом избытки внутренних ресурсов вышележащих

участков покрывают в той или иной мере недостатки их на нижележащих участках и в итоге выясняется при подсчёте сверху вниз суммарный сброс внутренних ресурсов и при подсчёте снизу вверх, суммарное требование по водному тракту к основному источнику питания, т. е. сумма всех недостатков по участкам.

Третьим и последним этапом балансового расчёта является результирующий баланс, который основывается на потребительских балансах по трактам и представляет собой сопоставление итогового требования по трактам с ресурсами основного источника питания.

В расчётах по вышеуказанным стадиям необходимо учитывать, что:

1) в поучастковом балансовом расчёте должны заканчиваться все операции по учёту дополнительных вод,

2) потребительские балансовые расчёты должны быть выполнены на базе полученных поучастковых балансовых разностей,

3) результирующие балансовые расчеты должны быть выполнены по основному створу, неизмененному человеческой деятельностью и по створам водохранилищ.

Методика составления балансов при регулировании стока рассматривается в зависимости от расположения водохранилища и его функций. Анализируется несколько случаев:

1. Водохранилище проектируется на основном источнике питания, но ниже основного створа. В этом случае этапы балансового расчёта несколько усложнены, хотя поучастковый и частично результирующий балансы составляются так же, как в случаях отсутствия регулирования стока. Потребительский баланс составляется на базе поучастковых балансов цепочным методом для участков выше и ниже водохранилища. Результирующие балансы составляются по основному створу, а затем по створу у водохранилища.

2. Водохранилище проектируется внутри системы. В этом случае, потребительский баланс составляется для участков ниже водохранилища и для остальных участков бассейна до незарегулированного источника питания. Результирующий баланс составляется в начале по основному створу, а затем по створу внутрисистемного водохранилища. Данным результирующим балансом определяется режим подачи воды в водохранилище за счёт остатков ресурсов основного источника питания, (полученных по первоначальному результирующему балансу) и потребления из водохранилища, (полученного на основании потребительского баланса).

3. Водохранилище проектируется верховое на основном источнике питания и внутрисистемное. В этом случае, пот-

ребительские балансы составляются отдельно для участков ниже внутрисистемных водохранилищ и для остальной части системы ниже верхнего водохранилища. Результирующий баланс составляется по створу верхнего водохранилища, связывая требование (по потребителскому балансу) с расходом основного створа, и затем по створу внутрисистемного водохранилища. Режим питания внутрисистемных водохранилищ определяется по избыткам ресурсов в верхнем водохранилище и по потребностям, предъявляемым к внутрисистемным водохранилищам.

Как видно, при данной методике расчёта расход основного источника питания не передаётся от участка к участку, а учитывается только в результирующем балансовом расчёте по основному створу. Данное обстоятельство упрощает расчёт и повышает его точность. В некоторых балансовых расчётах проектных организаций этого положения не придерживаются, также не придерживаются того, чтобы проводить полный учёт всех категорий дополнительных вод в поучастковом балансовом расчёте, перенося это в потребителский баланс, а иногда и в результирующий балансовый расчёт.

В результате водных балансовых расчётов получаются ряды балансовых разностей, которые:

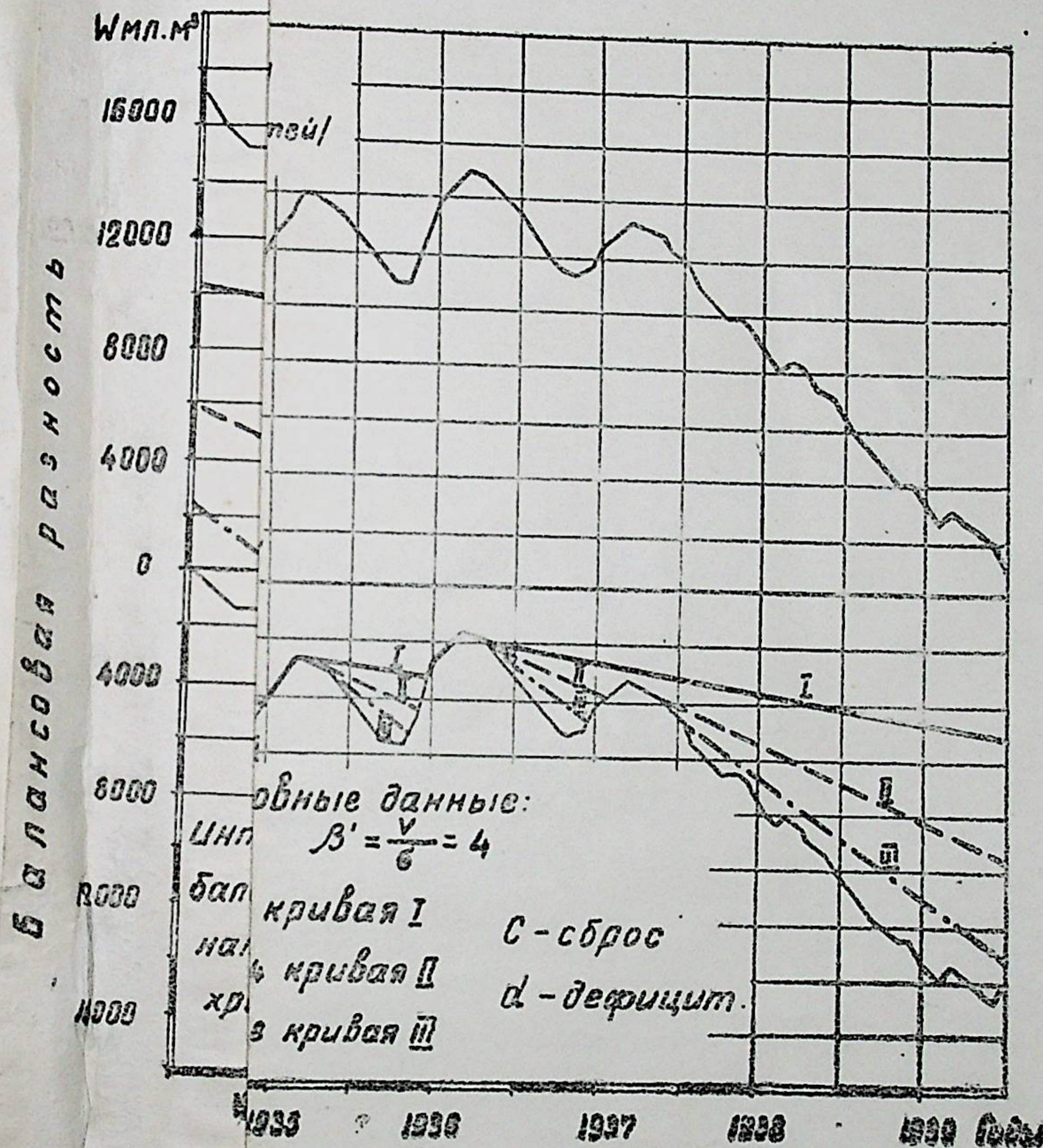
- 1) определяются водными балансовыми расчётами по системе в целом,
- 2) должны быть отнесены к створу водохранилища, регулирующего сток в системе,
- 3) должны иметь исходными данными, данные гидрологических опорных створов,
- 4) должны являться единым статистическим коллективом.

III. ПРИМЕЧАНИЕ МЕТОДОВ ЭНЕРГБАЛАНСОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОПУСКОВ

Одновременно с составлением водных балансов по водохозяйственной системе для энергетических расчётов необходимо составление энергобалансов по энергетической системе, связанной с первой. Как отмечалось, водные балансы учитывают потребителей воды и постоянные токи (для судоходства и рыбоводства). Для учёта энергетических требований — определения режима ГЭС, определения попусков и определения режимов узлов и трактов — необходимо проведение энергетических балансовых расчётов, взаимосвязанных с водными.

Энергобаланс представляет собой сопоставление выработки и потребления энергии в системе. Расходная часть — это

графики нагрузки, построенные в среднемесячных значениях по



ребительские балансы составляются отдельно для участков

ниже внутри
сти системы
щий баланс
ша, связыва
расходом ос
темного во
водохранили
нем водохра
внутрисисте

Как види
ного источн
ку, а учесть
расчете по
щает расчё
совых расч
не придержи
проводить
в поучастк
бительский
вый расчёт

В резул
ряды бала

- 1) опре
- 2) дол
- 3) дол
- 4) дол

Однов
дохозийс
обходим
системе,
лансы у
(для суд
требован
пусков
мо пров
моувяза

Энер
ки и по

графики нагрузки, построенные в среднемесечных значени
ях одним из существующих методов: аналитическим, по
анalogии или комбинированным. Приходная часть—это вы
работка энергии на нерегулируемых ТЭС и ГЭС.

На ГЭС она определяется средними напорами и средне
месячными расходами воды:

а) по водному балансу для всех отраслей водного хозяй
ства (за исключением энергетики),

б) энергетическими транзитными расходами воды (в слу
чае отсутствия энергетического регулирования стока) или
расходами энергопусков (в случае энергетического ре
гулирования).

Желательно первоначальное составление энергобалансов
производить по величинам возможной выработки по всем
источникам питания за исключением той части мощности
ГЭС, которая регулируется водохранилищами для энергетич
еских целей и регулируемых мощностей конденсационных
ТЭС. Данный баланс в возможных выработках необходим
для установления избытков или недостатков энергии в си
стеме и для установления режима пусков воды из во
дохранилища.

Величина энергетических пусков воды из водохрани
лища должна определяться, исходя из суммарного исполь
зования этих пусков на всех ГЭС каскада, расположен
ных ниже водохранилища. При этом необходимо учитывать
пропускную способность как водных трактов, так и са
мих ГЭС.

В данной работе даются приёмы определения энергопо
пусков по каскаду ГЭС в зависимости от вида регулирова
ния и размещения водохранилищ в системе. Энергобалансы
должны составляться одновременно с водными, при одина
ковом уровне развития системы. Это необходимо для вза
имной корректировки балансов, и, в частности, увязки ис
пользования регулирующих и регулируемых элементов си
стемы. Окончательным результатом составления водных и
энергетических балансовых расчётов по всем участкам водо
хозяйственной системы должно являться:

а) установление режимов гидроузлов, ГЭС, водных трак
тов и сбросов;

б) установление статистических рядов балансовых раз
ностей стока по всей системе в целом.

IV. ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СТОКА К РЯДАМ БАЛАНСОВЫХ РАЗНОСТЕЙ

Как известно, существующие методы расчёта регулиро
вания стока разработаны для зарегулирования стока в дан

ном створе. Применим эти методы расчёта к регулированию стока по балансовым разностям, отнесённым к створу водохранилища.

Методы перспективных расчётов регулирования стока могут быть разбиты на три основные группы:

- 1) методы интегральных кривых,
- 2) методы прогноза путём использования обобщения данных по аналогам и
- 3) методы статистических закономерностей.

Нами рассматриваются применение к расчётам компенсированного регулирования стока методов первой и третьей групп.

Получив в результате расчёта системы, ряд балансовых разностей применим к ним интегральный метод расчёта регулирования стока.

Методы „интегральных кривых“ представляют собой сопоставление интегральной кривой притока за изученный ряд лет в календарном порядке с интегральной кривой потребления в створе у водохранилища.

В применении к балансовым разностям строятся: интегральные кривые балансовых разностей при нулевом начальном наполнении водохранилища и при начальном наполненном водохранилище и интегральные горизонтальные линии потребления стока.

Достоверные результаты регулирования стока получаются лишь с момента слияния линии водопотребления из водохранилища, начатых от наполненного и опорожненного состояния последнего.

На рис. 1 даётся пример расчета многолетнего регулирования стока водохранилищами для энергетических целей на три отдачи. Для возможности сравнения с другими методами расчётов принимаем условно уровни потребления измененными на постоянные расходы воды, поэтому интегральная прямая линия потребления стока наклонная.

Как видно, из рис. 1 конфигурация интегральной кривой стока, полученной по балансовым разностям (дефицитам и избыткам) идентична с „разностной“ интегральной кривой стока, компактна и не требует для себя особых методов построения, в виде косоугольной системы координат с фиктивной осью времени, вспомогательного графика „Сапиро“ и других способов превращения обычной интегральной кривой в „разностную“ интегральную кривую. Интегральные кривые балансовых разностей строятся просто и в этом их преимущество.

Методом интегральных кривых в применении к балансовым разностям по системе нами был произведен ряд расче-

тов. При этом исходными данными (балансовые разности послужили балансовые расчёты по системе, выполненные САОГИДЭП'ом при решении схемы использования водных ресурсов р. Сыр-Дарьи.

Следующей нашей задачей является использование полученных балансовых разностей по системе при расчетах компенсированного регулирования стока методами, основанными на вероятностных закономерностях изменения режима стока.

При расчетах компенсированного регулирования по балансовым разностям в основу берутся ряд наблюдений прошлых лет и на них накладываются условия использования водных ресурсов на определенный принятый уровень развития водохозяйственной системы.

Необходимо отметить, что в расчетах регулирования стока методом вероятностных закономерностей, большое значение приобретает вопрос начала счета и единиц измерения. Метод модульных коэффициентов для балансовых расчетов по системе неприемлем.

В данном случае необходимо принять:

- 1) за начало счета расчетную норму годовых балансовых разностей (\bar{B}).

- 2) за единицу измерения — стандарт отклонения от расчетной нормы балансовых разностей σ_B ;

Совершенно неприемлемой для балансовых расчетов является очень распространенная в практике гидрологических и водохозяйственных расчётов относительная характеристика изменчивости (C_v). Если данный коэффициент применим при анализе существенно положительных гидрологических величин (как годовые стоки), то для балансовых разностей, могущих изменяться в обе стороны от принятого начала отсчета, данный коэффициент теряет смысл. Балансовая разность, как величина знакопеременная может иметь любые значения нормы (нуль и даже отрицательное), тогда значение C_v , подсчитанное формально, может быть равно $+\infty$ или может принять отрицательные значения.

Как известно, широким внедрением новейших методов, основанных на использовании теории вероятностей, мы обязаны работам С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля. При расчетах компенсированного регулирования по балансовым разностям мы используем их расчетный приём, опубликованный в 1935 г. Данный приём довольно сложен по своим расчетным операциям. Практическое применение его путём использования графиков Я. Ф. Плешкова при расчетах по балансовым разностям невозможно.

Нами было проведено несколько расчетов регулирования стока по балансовым разностям методом С. Н. Крицкого и

М. Ф. Менкеля с учётом дальнейшего его развития, т. е. рассчитывалась не только кривая обеспеченности наполнения, но и кривая сброса и дефицита по С. И. Рыбкину. Расчет выполнялся от заполненного и опорожненного водохранилища, согласно приёму С. Н. Никитина.

При расчёте по балансовым разностям за основу приняты следующие характеристики:

1. Нормированное отклонение годовых балансовых разностей:

$$\Phi_B = \frac{B_x - \bar{B}}{\sigma_B},$$

где:

B_x — балансовая разность „ x “ года,

\bar{B} — норма балансовой разности,

σ_B — стандарт отклонения годовых балансовых разностей.

2. Норма балансовой разности:

$$\bar{B} = \frac{B_N}{N},$$

где: B_N — интеграл балансовой разности за N лет,
 N — количество лет.

3. Стандарт отклонения балансовой разности:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\sum_1^n (B_x - \bar{B})^2}{N-1}}$$

4. Коэффициент асимметрии годовых балансовых разностей C_s .

5. Относительная характеристика уровня использования стока:

$$\alpha' = \frac{-\bar{B}}{\sigma_B}$$

6. Относительная характеристика полезной ёмкости водохранилища:

$$\beta' = \frac{v}{\sigma_B}$$

где: v — полезная ёмкость водохранилища.

Исходным уравнением для определения обеспеченности основных характеристик было принято (по законам теории вероятности);

$$p(\gamma) = \int_{\gamma_n=0}^{\gamma_n=\beta'} p(\Phi_{B_x}) dp(\gamma_n),$$

где: γ — ордината исследуемой водохозяйственной характеристики,

$p(\gamma)$ — её обеспеченность,

$p(\Phi_{B_x})$ — обеспеченность нормированного отклонения балансовой разности,

$p(\gamma_n)$ — обеспеченность наполнения водохранилища на начало года.

Для 3-х основных характеристик режима водохранилища, а именно: обеспеченность наполнения водохранилища на конец года $p(\gamma_{нк})$; обеспеченность дефицита $p(\gamma_d)$ и обеспеченность холостого сброса $p(\gamma_c)$ для выполнения расчетов в конечных разностях получаем:

$$p(\gamma_{нк}) = \sum_{\gamma_n=\beta'}^{\gamma_n=0} p(\Phi_{B_x}) \Delta p(\gamma_n),$$

$$p(\gamma_d) = \sum_{\gamma_n=\beta'}^{\gamma_n=0} p(\Phi_{B_x}) \Delta p(\gamma_n),$$

$$p(\gamma_c) = \sum_{\gamma_n=\beta'}^{\gamma_n=0} p(\Phi_{B_x}) \Delta p(\gamma_n).$$

Φ_{B_x} определяется из основного уравнения водного годового баланса при регулировании стока:

$$\Phi_{B_x} + \gamma_{нн} = \alpha' - \gamma_{дх} + \gamma_{сх} + \gamma_{нк},$$

где: $\gamma_{нн}$ — начальное наполнение водохранилища,

$\gamma_{нк}$ — конечное наполнение в пределах от 0 до β' .

На основании данных зависимостей были рассчитаны кривые обеспеченности наполнения на конец первого расчётного года, а пользуясь методом численного интегрирования,

получены кривые обеспеченности последующих лет до получения предельной кривой обеспеченности наполнения, а по ней аналогично рассчитываются кривые обеспеченности холостых сбросов и дефицитов. Все три кривые дают плавную интегральную кривую обеспеченности, т. е. „обобщенную водохозяйственную характеристику“.

Наличие такой характеристики является критерием возможности расчетов регулирования стока по балансовым разностям методом статистических закономерностей.

Данные расчёты регулирования стока по методу статистических закономерностей проводились на основе отдельного определения многолетней и сезонно-годовой ёмкости водохранилища.

Как известно, данные приёмы не отражают действительной работы водохранилища и являются искусственными и очень схематичными. Однако существует ряд работ по обобщенной методике расчетов (С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля, А. Д. Саваренского и Ш. Ч. Чокина). В работе применена к расчётам регулирования стока по балансовым разностям комбинированная методика Ш. Ч. Чокина, имеющая ряд преимуществ:

- 1) гидрологический год рассматривается, как единое целое,
- 2) отпадает необходимость учёта цепных связей между стоками смежных фаз,
- 3) отпадает необходимость специального учёта формы гидрографа,

4) за начало счета принята расчетная норма,

5) за единицу измерения переменной величины принято среднеквадратичное отклонение от нормы (стандарт отклонения). В тех случаях, когда ряд балансовых разностей имеет одноктный гидрограф и близкую к единице корреляционную связь между паводковой волной и годовой балансовой разностью, что является необходимым условием применения комбинированной методики расчета, то данную методику возможно применить при расчетах регулирования стока по балансовым разностям.

Комбинированным методом расчета регулирования стока по балансовым разностям было выполнено несколько расчётов.

При расчётах за основу, дополнительно к отмеченным статистическим характеристикам, принимаются:

- 1) объем паводковой волны по балансовым разностям, выраженный суммой избытков стока:

$$W_{пв.х} = \sum_{t_B}^{t_K} Z^+;$$

- 2) относительная характеристика объема паводковой волны x года, выраженная через балансовую разность в единицах стандарта годовых балансовых разностей:

$$C_{пв.х} = \frac{W_{пв.х}}{\sigma_B};$$

- 3) норма относительной характеристики объема паводковой волны, выраженная через балансовую разность:

$$\bar{C}_{пв.Б} = \frac{\sum C_{пв.Б}}{N};$$

- 4) коэффициент пропорциональности — $K_{сб}$ равный отношению среднеквадратичного отклонения паводковой волны от нормы (рассчитанной по балансовым разностям) к среднеквадратичному отклонению годовой балансовой разности:

$$K_{сб} = \frac{\sigma_{пв.Б}}{\sigma_B}.$$

В расчете при заданной полезной ёмкости α' и уровне использования водных ресурсов β' режимные показатели в случае наличия сезонного сброса определялись исходя из уравнения сезонного водного баланса:

$$\beta' - \gamma_{ин} + \gamma_c = \bar{C}_{пв.Б} + \Phi_{Б.х} + K_{сб}.$$

Для тех лет, которые по своей водоносности и внутригодовому распределению не дают сезонного сброса ($\beta' - \gamma_{ин} > \bar{C}_{пв.Б} + \Phi_{Б.х} K_{сб}$) расчеты проводились по методу выравнивания колебаний годовых стоков.

Расчет обеспеченности наполнения производился при $p(\gamma_{ин} = 0) = 1$ и $p(\gamma_{ин} = \beta') = 1$ до получения предельной кривой наполнения, а затем кривой сбросов и дефицитов путем численного интегрирования.

При анализе проведенных трёх расчётов кривые обеспеченности по интегральному методу расчёта близки с кривыми, полученными по комбинированному методу Ш. Ч. Чокина: например, при $\alpha' = 0,4$ и $\beta' = 4$ обеспеченность наполненного водохранилища в одном случае $p = 81,3\%$, в другом $p = 81,7\%$. Результаты расчета по методу С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля дают заниженную величину обеспеченности $p = 76\%$, что, вероятно, объясняется неточным учетом сезонной составляющей полезной ёмкости водохранилища, которую точно по данному методу определить невозможно.

ВЫВОДЫ

1. Задачи комплексного использования стока в сложной водохозяйственной системе требуют проведения водных и сопряженных с ними водоземельных и водоэнергетических балансовых расчетов.

2. На основании анализа целого ряда балансовых расчетов производственных проектных организаций дается обобщенная методика построения водного баланса, как в случае отсутствия регулирования системы, так в случае наличия такового при различно расположенных водохранилищах.

3. Составление водного баланса по системе рекомендуется проводить по следующим этапам расчета: поучастковые — для отдельных участков системы, потребительские — для трактов, результирующие — для основных узлов.

4. При перспективных водобалансовых расчетах следует принять расчетным периодом — месяцы.

5. Водные балансовые расчеты должны проводиться по ряду реальных лет; результатом расчета должны являться балансовые разности среднемесячных расходов.

6. В энергетических балансовых расчетах размеры и режим энергопусков по трактам должен определяться в случае наличия регулирования стока расчетом, имеющим следующие этапы:

а) определение режима расходов воды по водоэнергетическому тракту в створах ГЭС по потреблению остальных отраслей водного хозяйства,

б) определение приходной части энергобаланса системы за счет выработки ГЭС на ирригационном режиме,

в) определение гарантированной мощности на каскаде ГЭС, и

г) определение режима энергопусков.

7. Расчеты регулирования стока по сложной водохозяйственной системе должны быть проведены на переменную отдачу по балансовым разностям, отнесенным к створу водохранилища в целом по системе.

8. Расчеты регулирования стока по балансовым разностям можно проводить интегральным методом, при этом необходимо построить соответствующие интегральные кривые балансовых разностей.

9. Установлена возможность проведения расчетов регулирования стока методами статистических закономерностей по балансовым разностям (методом С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля и методом Ш. Ч. Чокина), но при этом необходимо принять за основу измененные начала счета и единицы измерения и соответствующие статистические характеристики балансовых разностей.