

**АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ
ВИЛЕЙСКО-МИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ**

В печати уже приводилась характеристика крупнейшего в Белоруссии объекта водного хозяйства – Вилейско-Минской водной системы (ВМВС) [1,2], ожидаемого роста ее народнохозяйственного эффекта, возможности повышения подачи воды в Минск [3]. В настоящей работе излагаются результаты первого этапа натуральных наблюдений на насосных станциях, обосновывается необходимость проведения ряда исследований. Статья касается конкретного объекта. Однако она может представить интерес и при проектировании новых объектов, разработке путей повышения уровня эксплуатации действующих водных систем.

Для понимания излагаемых вопросов отметим, что вода из Вилейского водохранилища на р. Вилии по каналу с 5 насосными станциями подается через водораздел в верховье р. Свислочь, на которой расположено Заславское водохранилище. Оба водохранилища регулируют сток, поступающий с их водосборов. Кроме того, часть стока р. Вилии весной подается в Заславское водохранилище для сохранения и последующего использования. Большая часть зарегулированного Вилейским водохранилищем стока р. Вилии поступает через Заславское водохранилище транзитом. Задачей насосных станций является подача в маловодный год 95%-ной обеспеченности 382 млн. м³ воды. Их проектный режим изменяется от работы 4 агрегатов в течение 2 недель в половодье, 3 агрегатов – в остальную часть весны и половину лета, 2 агрегатов – во вторую половину лета и осенью и до 1 агрегата – зимой. Такой режим призван обеспечить отдачу из Заславского водохранилища в теплый период года 17 и в холодный – 12,8 м³/с (для водоснабжения города Минска и разбавления загрязнений в приемниках его стоков). Схемы размещения объектов ВМВС уже публиковались ранее [1,2,3].

Натурные испытания агрегатов насосных станций выполнены с целью получения их энергетических и расходных характеристик, необходимых для организации оперативного учета перекачиваемой воды и выбора рациональных режимов работы насосов. В условиях ВМВС это является весьма сложной задачей, так как в проектном задании и в натуре не предусмотрены устройства для определения подачи воды ни отдельными агрегатами, ни насосными станциями в целом. Створ гидрометрического поста (с. Хмелевка) размещен на канале ниже его пересечения с руслом р. Свислочь, и поэтому в состав фиксируемых здесь Гидрометслужбой БССР расходов, кроме вод, поступающих из бассейна Вилии (пусть и очень небольшой частью), входит вода, формирующаяся в бассейне Свислочи.

Определение подачи испытываемых насосов путем измерения расхода в канале с помощью гидрометрических вертушек, во-первых, требует работы насосов "в одну нитку", а во-вторых, сложно из-за условий обеспечения установившегося движения на участках между станциями. Для измерения же вертушками скоростей течения на входе во всасывающие трубы необходимо создание сложных выправительных и стеснительных конструкций [4], применение специального грузоподъемного оборудования. Из практически допустимых в данных условиях методов экспериментального определения подачи воды насосами остается ее измерение в напорных трубопроводах. Служба эксплуатации пошла на это на станции V подъема. На агрегате № 4 этой станции было протарифировано предложенное устройство для определения подачи насоса. Расходы перекачиваемой воды при разных углах разворота лопастей насоса определялись на основе измерения скоростей течения воды в напорном трубопроводе гидрометрическими вертушками. Значения расходов вычислялись аналитическим методом [4]. При оснащении всех насосов этой и других станций измерительными устройствами появляется возможность оперативного учета переброски стока каждым агрегатом и каждой насосной станцией в целом. Временно на насосной станции V подъема можно использовать установленную авторами статьи связь между токовой нагрузкой и подачей агрегата № 4 (табл. 1).

Решение связать подачу воды с токовой нагрузкой агрегатов принято в соответствии со сложившейся обстановкой. На станции V подъема изменение угла разворота насосов производится вручную и при остановленных агрегатах. На остальных 4 станциях это осуществляется дистанционно на ходу агрегата. На этих станциях установлены сельсинные датчики и указатели значений углов разворота лопастей насосов. Однако эти приборы расстроены. Управление и контроль за работой агрегатов производится по их токовой нагрузке.

Параллельно с определением подач насоса устанавливались к.п.д. агрегата по выражению

$$\eta = \frac{9,81 QH}{N_n} \quad , \quad (1)$$

Т а б л. 1. Координаты расчетной кривой связи Q (l) агрегата № 4 насосной станции V подъема

Сила тока статора двигателя I, А	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
Подача насоса Q, м ³ /с	3,6	3,95	4,29	4,58	4,87	5,09	5,29	5,49	5,64	5,77	5,89

где Q — подача насоса, м³/с; H — геометрический напор, м; N_n — подводимая к агрегату мощность, кВт.

В проектных материалах не разработаны и в натуре отсутствуют также устройства для определения геометрического и полного напоров насосов. В настоящее время фиксируются лишь уровни воды в нижних бьефах насосных станций с целью предотвращения их недопустимых отклонений. Поэтому во время испытаний наблюдения за уровнями в бьефах велись по временной схеме.

Величина подводимой мощности определялась на основе синхронных наблюдений за показателями счетчиков активной и реактивной энергии. Полная (кажущаяся) мощность N_n (в кВт) вычислялась по выражению

$$N_n = \sqrt{N_a^2 + N_p^2}, \quad (2)$$

где N_a — активная мощность; N_p — реактивная мощность.

Зависимость η (I) для этого агрегата приведена на рис. 1.

В связи с неготовностью службы эксплуатации предоставить возможность измерять расходы в напорных трубопроводах остальных станций было решено для их агрегатов определить условные к.п.д. по выражению

$$k\eta = \frac{nH}{N_n}, \quad (3)$$

где n — число оборотов гидрометрической вертушки, устанавливаемой на период испытания в определенной точке во входном сечении всасывающей трубы агрегата при разных его нагрузках (об/с).

Понятия и методика определения величин H и N_n аналогичны описанным выше.

Обоснование и эффект применения показателя (3) изложены в работе [5]. Поскольку тарифовочные кривые применявшихся авторами гидрометрических вертушек весьма близки к прямым, проходящим через начала координат, можно считать, что ход кривых $k\eta$ (I) и η (I) аналогичен, и по ним можно установить нагрузку, соответствующую максимальному к.п.д. агрегата. По полученным характеристикам (см. рис. 1) максимальным к.п.д. насосных агрегатов соответствует их работа с токовой нагрузкой: 100А на станции I подъема; 105 — на станции II подъема; 145—150 на станциях III—V подъемов.

Описанные натурные наблюдения на станциях I—IV подъемов производились при параллельной работе 2 агрегатов, а на станции V подъема — 1—2 агрегатов. Сводка данных о геометрическом напоре насосов (табл. 2) показала, что суммарный геометрический напор всех станций в период наблюдений оказался примерно на 5 м меньше проектного.

Теоретический анализ показал, что минимума затрат электроэнергии на перекачку воды можно добиться, выполняя следующие требования:

1. Загрузку системы в отдельные периоды года следует выбирать такой, чтобы суммы приростов мощности станций системы для каждого из этих периодов были одинаковыми. При этом важно, чтобы удельные затраты энергии на станциях были минимальными. Они определяются значениями напоров и к.п.д. агрегатов. Эти удельные значения изменяются в большей степени на станции I подъема, так как здесь напор зависит от уровня Вилейского водохранилища, высота призмы сработки которого

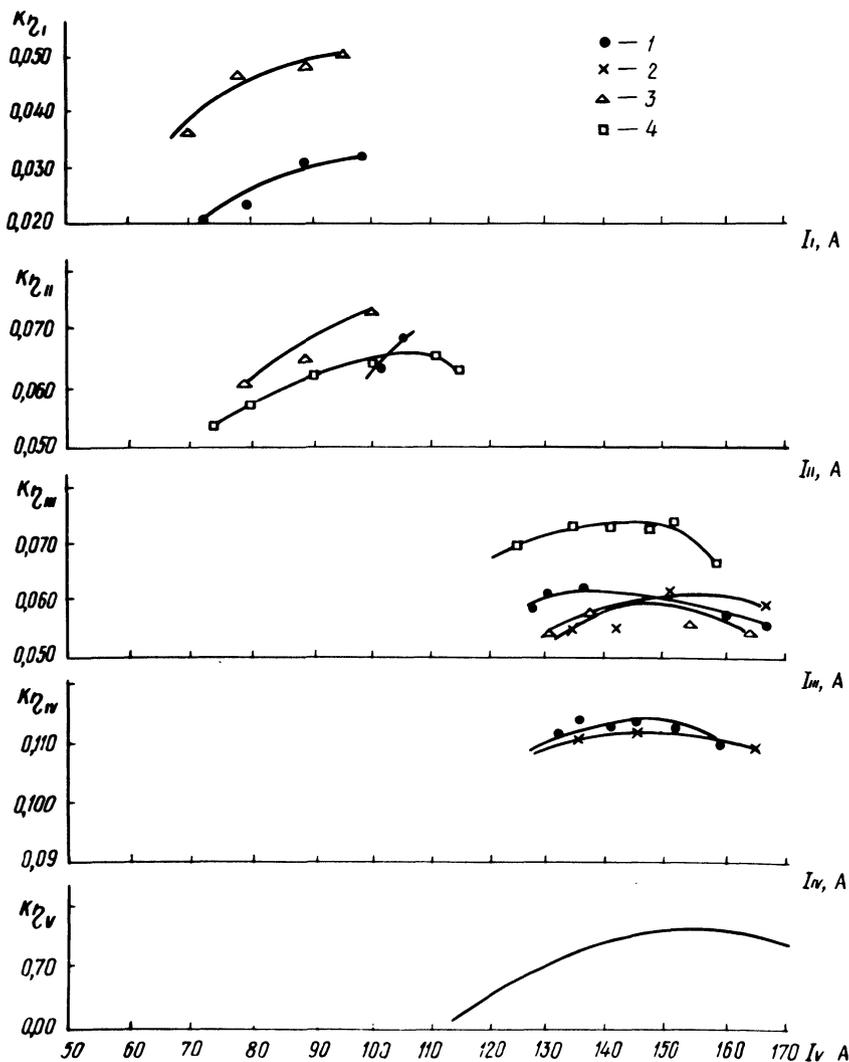


Рис. 1. Изменение к.п.д. основных агрегатов насосных станций ВМВС в зависимости от токовой нагрузки:

1 — агрегат № 1; 2 — № 2; 3 — № 3; 4 — № 4.

Т а б л. 2. Сопоставление действительных и проектных значений геометрического напора насосов на станциях ВМВС

Номер насосной станции	Проектный геометрический напор $H_{пр}$, м	Величина геометрического напора во время наблюдений H_n , м	Разность $H_n - H_{пр}$, м
I	6,95–12,95 (в день наблюдений 9,0)	8,04–8,08 (8,06)	-0,94
II	11,09	12,12–12,26 (12,19)	+1,10
III	17,67	17,12–17,57 (17,32)	-0,35
IV	21,02	18,53–18,70 (18,62)	-2,40
V	20,60	17,80–18,47 (18,14)	-2,46
	77,83–83,33	(74,33)	-5,05

составляет 6 м. Поэтому в периоды с низкими напорами на I станции следует увеличивать подачу воды по каналу. Отсюда также следует, что для снижения затрат электроэнергии выгодно поддерживать возможно высокие уровни Вилейского водохранилища.

2. На каждой станции распределение загрузки между агрегатами должно обеспечивать равенство к.п.д. всех агрегатов [6]. При данном состоянии агрегатов это соответствует их работе с одинаковой загрузкой.

3. При предпосылке обеспечения заданной отдачи воды из Заславского водохранилища в более многоводные годы можно уменьшить годовую переброску стока по каналу на величину прироста стока с водосбора р. Свислочь. Экономия в годы с водностью обеспеченностью 75; 50 и 25% составила бы соответственно 5,5; 10,5 и 14,9% от объема расчетной переброски.

Однако для практического снижения переброски в более многоводные годы и поддержания уровней Вилейского водохранилища на возможно высоких отметках без риска: переполнения водохранилищ в периоды высоких паводов и паводков; нарушения гарантированной подачи воды в нижние бьефы Заславского и Вилейского водохранилищ; нарушения функций водохранилищ по защите от наводнений нижележащих городов и сельскохозяйственных угодий, а также с учетом требований рыбоводства и рекреации к режиму уровней водохранилищ и допустимой интенсивности их сработки необходимо осуществлять эксплуатацию водохранилищ и насосных станций ВМВС в соответствии со специально разработанными диспетчерскими графиками. Выданного проектной организацией графика изменения уровней Вилейского водохранилища в маловодном году (взятого из материалов расчета регулирования стока в проектном задании по одному характерному году) явно недостаточно.

В связи с отсутствием экспериментальных натуральных связей между подачей и токовой нагрузкой агрегатов на станциях I–IV подъема сделана попытка найти такие связи по материалам диспетчерских записей. При этом

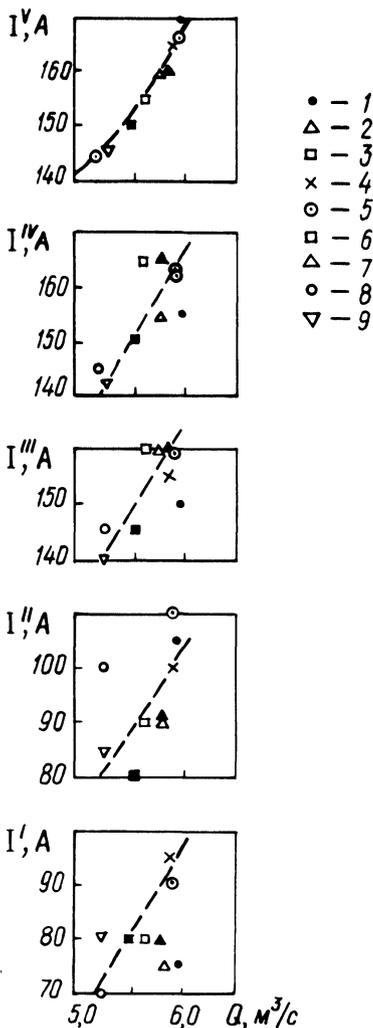


Рис. 2. Связь между токовой нагрузкой и подачей агрегатов насосных станций ВМВС. Наблюдения:

1 — 2.05.77; 2 — 7.05.77; 3 — 3.10.77; 4 — 10.10.77; 5 — 16.10.77; 6 — 19.02.78; 7 — 2.03.78; 8 — 19.04.78; 9 — 27.04.78.

использовались данные за те сутки, в течение которых агрегаты работали "в одну нитку" и без переключений на другие нагрузки. Связи построены для условия одинаковой подачи всех насосных станций (она определялась по связи $Q(I)$ насосной станции V подъема). Как видно из рис. 2, наблюдается некоторый разброс точек. Его можно объяснить наличием русловой емкости канала

Расчетная проектная подача каждого агрегата принята $5,5 \text{ м}^3/\text{с}$, что подтверждается имеющимися характеристиками. Ей отвечают нагрузки 151, 155 и 145 А соответственно на станциях V—III подъемов. Нагрузку станций II и I подъемов следует назначать в пределах соответственно 100—105 и 70—100 А, уточняя промежуточные значения по уровням воды перед следующей по ходу станций.

Важной задачей эксплуатации ВМВС является выявление и использование других внутренних резервов.

После оснащения насосов всех станций устройствами по измерению расходов смогут быть построены связи $\eta(Q)$ и $I(Q)$, на основе которых можно будет уточнить загрузку агрегатов. При наличии в системе больших регулирующих емкостей целесообразно, чтобы агрегаты работали только с подачей, соответствующей максимальному к.п.д., а регулирование объемов перекачки происходило за счет изменения числа работающих "ниток" агрегатов.

Станут возможными также составление водных балансов по участкам канала и оценка влияния потерь воды из канала или приточности в канал подземных вод с целью возможной корректировки подач отдельных станций.

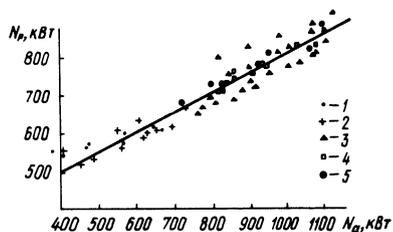
Необходимо оснащение бьефов насосных станций рейками, а еще лучше самозаписывающими уровнемерами для фиксации изменений уровней воды в канале. Это важно для составления водных балансов, а также для исследования возможностей управления уровнями воды в бьефах с целью снижения напоров, а значит, и затрат электроэнергии на перекачку воды.

Большой интерес представляют вопросы подбора и использования основного оборудования насосных станций на транспортирующем канале ВМВС. Здесь установлены осевые насосы ОП2-110 (на станциях I и II подъемов) и ОП3-110 (III, IV и V подъемов), приводимые асинхронными двигателями с короткозамкнутыми роторами мощностью 1000 и 1600 кВт.

Применение этих двигателей связано с некоторыми недостатками. В частности, пуск их осуществляется рывком, что приводит к быстрому износу подшипников. Поэтому на станциях стараются возможно реже включать и выключать агрегаты. Применение синхронных двигателей позволило бы более плавно пускать агрегаты и создать предпосылки их использования в качестве потребителей-регуляторов электроэнергии. В периоды отсутствия на канале ледового покрова система могла бы обеспечить заданную суточную подачу воды, работая с максимальным количеством агрегатов в периоды провалов нагрузки в энергосистеме, а в часы пик — с остановкой всех или части агрегатов. При этом важно осуществлять пуск и остановку насосов при свернутых лопастях рабочих колес с последующим их разворотом на ходу агрегатов. С этой целью необходима установка на насосах станции V подъема механизмов с дистанционным изменением угла разворота лопастей колес.

Рис. 3. Соотношение между активной и реактивной мощностями электродвигателей насосных станций ВМВС подъема:

I — 1; 2 — II; 3 — III; 4 — IV; 5 — V.



Второй недостаток двигателей связан с большим значением коэффициента реактивной мощности. Как видно из результатов натурных определений (рис.3), связь между активной и реактивной мощностями агрегатов всех насосных станций оказалась единой, а отношения реактивной и активной мощностей, по данным испытаний при разных нагрузках, находятся в пределах 1,25–0,76. При оптимальной (по к.п.д.) нагрузке агрегатов оно изменяется от 1 для станции I подъема до 0,8 — V подъема. Это очень высокие значения (нормальные составляют 0,62–0,42). Переход на синхронные двигатели снял бы вопрос об использовании насосными стан-

циями реактивной мощности. Наоборот, появилась бы возможность ставить свободные агрегаты на работу вхолостую, превращая их в источники обычно дефицитной реактивной мощности [7]. Таким образом, переход на синхронные двигатели на насосных станциях также может рассматриваться как значительный резерв снижения затрат на перекачку воды.

Для корректировки возможностей системы необходимо периодически уточнять параметры притока воды к водохранилищам с учетом гидрометрических наблюдений, по возможности в натуральных условиях определять характеристики, необходимые для определения потерь воды из водохранилищ, более точно выявлять возможности водохранилищ и канала к регулированию и перекачке стока, чтобы с учетом рациональной на каждом уровне расчетной величины переброски разрабатывать и осуществлять правила эксплуатации водохранилищ и насосных станций системы. В отношении отдельных элементов этой работы следует отметить следующее.

В проектном задании ВМВС учет потерь воды из водохранилищ на льдообразование, дополнительное испарение и фильтрацию произведен исходя из упрощенных схем. Они нуждаются в анализе и уточнении. Так, происходящие при зимней сработке водохранилищ потери воды на льдообразование в проектном задании определены без учета влияния снегового покрова [8]. Учет этого фактора позволит снизить расчетные значения потерь.

Утечка воды из водохранилищ путем фильтрации в проектном задании включается в состав полезных попусков. Лишь в весенний период для условий Вилейского водохранилища она рассматривается как потери. В работе [3] предлагается и эту часть утечек включить в состав полезных попусков. Для правильного назначения попусков из водохранилища в нижний бьеф было бы очень полезно в натуральных условиях определить действительную величину и участок выклинивания в нижнем бьефе фильтрационных вод.

Целесообразность периодического уточнения потребностей в воде в зонах влияния водных систем связана с необходимостью водообеспечения новых, ранее не учтенных в проектных материалах народнохозяйственных объектов, прогрессом в области технологии промышленного и сельскохозяйственного производства, совершенствованием водоснабжения, изменением схем канализации, очистки и доочистки сточных вод, а также требований к качеству воды в их приемниках. Такие сдвиги произошли и происходят и в зоне влияния ВМВС. В частности, в связи с изменением схемы отведения и очистки стоков дождевой канализации г. Минска целесообразен пересмотр соотношения между величинами попусков из Заславского водохранилища в холодный и теплый периоды. Это позволило бы повысить долю ресурсов воды, предназначенных для водоснабжения города.

Обычно предусматривается освоение водных ресурсов по очередям. В условиях ВМВС подпорные и другие сооружения построены с параметрами, необходимыми для II очереди. В настоящее время нормальный подпорный уровень Вилейского водохранилища находится на 0,8 м ниже намеченного для II очереди. Мыслилось, что при росте потребностей достаточно поднять уровень воды в водохранилище на 0,8 м и его гарантированная отдача увеличится при этом на $3 \text{ м}^3/\text{с}$ (емкость водохранилища повысится на 75 млн. м^3 , а площадь затоплений — на 13 км^2). Однако такого прироста зарегулированной отдачи в данном случае получить нельзя. Дело в том, что многолетняя составляющая полезной емкости водохранилища достигнет 33%. Учитывая тенденцию к сохранению аномалий стока [9], проявляющуюся также в том, что маловодные годы наступают, как правило, не в одиночку, а группами, легко заметить: накопленная в многоводные годы вода будет использована в течение не одного расчетного, а группы маловодных лет. Значит, прирост зарегулированной отдачи Вилейского водохранилища в расчетный маловодный год никак не может быть даже равным приросту емкости многолетнего регулирования. Он намного ниже.

Получить указанный прирост отдачи ВМВС ($\approx 3 \text{ м}^3/\text{с}$) можно без повышения отметки подпора Вилейского водохранилища за счет использования других внутренних резервов [3]. Полноценно использовать созданные предпосылки увеличения регулирующей емкости Вилейского водохранилища можно при подаче в него из других речных бассейнов незарегулированного стока.

Привлекает внимание факт пренебрежения возможностями энергетического использования ныне вхолостую сбрасываемой воды через водосбросы гидроузлов Вилейского и Заславского водохранилищ, а также через быстротоки на водоразделе между рассматриваемыми бассейнами. В связи с ростом цен на топливо в 2–3 раза [10] уже недопустимо не использовать комплексные гидроузлы для создания автоматизированных ГЭС и попутной утилизации гидроэнергии.

Подводя итоги, следует подчеркнуть наличие больших внутренних резервов повышения эффективности ВМВС. Для этого необходимы выполнение вносимых в данной работе рекомендаций, установка измерительных устройств, проведение наблюдений и исследований.

При разработке проектов водных систем целесообразно избежать недостатков, допущенных при создании ВМВС.

Л и т е р а т у р а

1. М у р а ш к а М.Р., Ц ю л ь п а н а ў А.І. В і л ь с к а - М і н с к а я в о д н а я с і с т э м а. — Беларуськая Савецкая энцыклапедыя. Мінск, 1971, т. III. 2. Г о л ь д - б е р г П.М., П л у ж н и к о в В.Н. В і л ь с к о - М і н с к а я в о д н а я с і с т э м а. — Гидротехническое строительство, 1976, № 12. 3. Г а т и л л о П.Д. Возмож-

ности увеличения отдачи Вилейско-Минской водной системы за счет использования внутренних резервов. — В сб.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1979, вып. 9. 4. Щ а п о в Н.М. Гидрометрия гидротехнических сооружений и гидромашин. — М.—Л., 1957. 5. Д ы м е н т И.Н. Метод определения наивыгоднейшего режима гидравлических машин. — Гидротехническое строительство, 1952, № 5. 6. С т а р и н с к и й В.П. Выбор рациональных режимов работы насосов и насосных станций систем водоснабжения. — Водоснабжение и санитарная техника, 1966, № 4. 7. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. — М., 1974. 8. А н д р е я н о в В.Г., Р у д е н к о С.И. Об учете влияния ледяного и снегового покрова на водный баланс естественных и искусственных водоемов. — Метеорология и гидрология, 1939, № 1. 9. К р и ц к и й С.Н. и М е н к е л ь М.Ф. Водохозяйственные расчеты. — Л., 1952. 10. Временные указания по определению экономической эффективности капитальных вложений при проектировании гидроэнергетических объектов. — М., 1978.

УДК 631.62:626.862+533.3

Г.Д. Кулагина

УЧЕТ НУЖД ОРОШЕНИЯ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БАЛАНСАХ

Орошение является одним из ведущих видов использования водных ресурсов. В связи со значительными перспективами развития орошения земель в Белоруссии повышение точности определения потребностей в воде на эти цели приобретает особое значение.

В настоящее время в проектной практике при составлении водохозяйственного баланса бассейна реки по гидрографам речного стока заданной обеспеченности (50, 75, 95%) по всем расчетным участкам обеспеченность норм орошения принимается одинаковой, соответствующей, как правило, обеспеченности стока. Тем самым предполагается, что критические засушливые периоды наступают по всей территории бассейна одновременно, засушливость орошаемого поля и маловодье в источнике совпадают, что не всегда соответствует природному ходу этих явлений. В результате расчеты оказываются недостаточно точными. Уточнению поможет учет асинхронности потребности орошения по территории и асинхронности стока и орошения (осадков) во времени.

Величина потребности в воде для орошения с заданной обеспеченностью, определенная по данным конкретной метеостанции $N_{ор}$, будет отличаться от принимаемой на практике N_p для всего бассейна на некоторую величину:

$$N_{ор} = K_1 \cdot K_2 \cdot N_p,$$

где K_1 — коэффициент, учитывающий асинхронность потребностей ороше-