

УДК 502/504 : 551.48 : 627.81

В. И. КЛЁПОВ

Институт водных проблем Российской академии наук

**ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ГАРАНТИРОВАННОЙ ВОДООТДАЧИ
ВОДОХРАНИЛИЩ В МАЛОВОДНЫХ УСЛОВИЯХ**

Управление водными ресурсами системы, функционирующей в целях водоснабжения большого региона, является актуальной научной, технической и экономической задачей. Для этой цели создаются сложные и разветвленные системы со многими водохранилищами. Крупнейшие города мира создают специальные системы промышленного и коммунального водоснабжения. Москва относится к числу таких городов. Водно-ресурсная система (ВРС), предназначенная для водообеспечения Московского региона, характеризуется высокой степенью уровня гарантированной водоотдачи. Обеспечение Московского региона водными ресурсами, и прежде всего в маловодных условиях, базируется на ограниченном их количестве.

Гарантированная водоотдача, управление речной системой, маловодные условия, водно-ресурсная система, эксплуатация водохранилищ, речной сток, пределы расчетной обеспеченности.

Control of water resources of the system functioning for the purpose of water supply to a big region is an actual scientific, technical and economic task. For this purpose complex and branched systems with many reservoirs are created. The largest cities of the world develop special systems of industrial and municipal water supply. Moscow also belongs to such cities. The water – resource system (WRS) purposed for water supply to the Moscow region is characterized by a high degree of the guaranteed level of water yield. The provision of the Moscow region with water resources and first of all under the conditions of little water is based on their limited quantity.

Guaranteed water yield, control of the river system, little water conditions, water – resource system, operation of water reservoirs, river flow, ranges of estimated availability.

Увеличение численности населения, рост его благосостояния, развитие промышленности, мероприятия, направленные на рациональное использование водных ресурсов – все это требует привлечения новых источников водоснабжения. Речной сток, который служит основным поставщиком пресной питьевой воды, распределен крайне неравномерно как по территории суши, так и внутри годового цикла. Внутригодовая неравномерность стока устраняется регулированием с помощью водохранилищ. Пространственная неравномерность может быть выровнена, в частности объединением отдельных водохранилищ в водно-ресурсные системы (ВРС). Это позволяет увеличить отдачу естественных водотоков и повысить обеспеченность (надежность) такой отдачи.

Решение проблемы водообеспечения различных отраслей народного хозяйства часто связано именно с созданием таких водно-ресурсных систем, которые охватывают смежные речные бассейны и включают в себя водохранилища различной степени регулирования речного стока. Рост водопотребления и повышение требований к природоохраным обводнительным попускам приводит к необходимости увеличить водоотдачу системы. Один из основных путей решения этой задачи связан с повышением эффективности управления работой водохранилищ на основе рационализации правил их совместного функционирования.

Особенности систем водоснабжения некоторых крупнейших городов мира. Как показывает анализ, лишь

немногие крупные города, например Западной Европы, базируют свое водоснабжение целиком или почти целиком на подземных водах (Вена, Гамбург, Мюнхен, Рим). Крупнейшие города мира, имеющие превышение потребности над собственными водными ресурсами, сформировали в своих регионах сложные и разветвлен-

ные системы, состоящие из многих водохранилищ. Такие системы заметно повышают степень водоснабжения населения и способствуют значительному возрастанию степени надежности гарантированной водоотдачи. Во многих крупнейших городах мира источником воды служат зарегулированные реки (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение численности населения и числа водохранилищ в мире

Город	Страна	Население, млн чел.	Число водохранилищ	Суммарный объем, км ³
Мадрид	Испания	4,5	7	2,20
Сидней	Австралия	3,3	12	2,70
Денвер	США	1,0	11	0,66
Мельбурн	Австралия	2,5	11	1,60
Токио	Япония	12,0	9	0,75
Сан-Паулу	Бразилия	8,0	9	3,90
Бомбей	Индия	8,0	6	1,23
Бразилиа	Бразилия	1,7	5	0,80
Пекин	КНР	14,9	7	3,50
Москва	Россия	10,5	9	3,30

Одной из таких действующих водно-ресурсных систем является система водообеспечения Москвы

Водные ресурсы региона и их использование. Для исследования соотношения величины и обеспеченности гарантированной водоотдачи водно-ресурсной системы обычно анализируют исходную информацию, которая условно разделена на три группы – гидрологическая, о параметрах водохранилищ, о заявках на воду.

Естественный режим рек региона изменен в результате хозяйственной деятельности человека, прежде всего вследствие регулирования стока водохранилищами. В связи с этим, начиная с момента ввода в эксплуатацию водохранилищ, он был ретрансформирован, т. е. приведен к естественным условиям и привязан к створам существующих гидроузлов. В данной работе использованы материалы ретрансформации стока по методике Гидропроекта. Гидрологическая информация в данном регионе представлена стоковыми рядами за период с 1914 по 2000 гг. Внутригодовое распределение стока принято по месячным интервалам

за межень (июнь – февраль) и по декадным интервалам за половодье (март – июнь). Поверхностные водные ресурсы бассейна Верхней Волги, используемые для водообеспечения Московского региона, включают сток Волги от истока до створа Ивановского гидроузла, сток правого притока Волги – реку Вазузу, сток реки Москвы и ее основных притоков Истры, Рузы и Озерны в створе Рублевского гидроузла. Основные параметры водохранилищ, регулирующих речной сток, приведены в табл. 2.

Информация о водохранилищах представлена объемами воды, уровнями максимального наполнения и минимальной сработки, значениями минимальных и максимальных расходов воды в нижние бьефы гидроузлов, потерями воды на испарение, фильтрацию. Исходная информация о безвозвратном водопотреблении в бассейне Верхней Волги, как показывают проведенные исследования, в разных источниках может отличаться. Поэтому целесообразно такую информацию задавать вариантно.

Анализ функционирования водно-ресурсной системы за пределами

Таблица 2

Основные параметры водохранилищ

Водохранилище	Отметка, м		Объем, млн м ³		Площадь зеркала при НПУ, км ²
	НПУ	УМО	Полный	Полезный	
Верхневолжское	206,5	203,0	562,0	487,0	181,0
Иваньковское	124,0	119,5	1120,0	813,0	327,0
		118,0		916,0	
Можайское	183,0	170,0	235,0	221,4	31,0
Рузское	182,5	169,0	219,8	215,7	32,7
Озернинское	182,5	169,0	143,8	140,0	23,1
Истринское	170,0	159,0	183,0	171,5	33,6
Вазузское	180,25	170,5	539,0	428,0	106,0
Яузское	215,0	212,0	290,0	130,0	51,0
Верхнерузское	208,75	202,25	22,0	21,0	9,4

Примечание: в числителе – фактические, в знаменателе – проектные показатели.

расчетной обеспеченности. Для рассматриваемой задачи наибольший интерес представляют маловодные годы и их группировки, когда возможен дефицит водных ресурсов. Под дефицитом гарантированной водоотдачи водохранилищ понимается месячный, годовой или суммарный за многолетие недостаток водных ресурсов для обеспечения заданной величины водоотдачи. Очевидно, что дефицит водоотдачи характерен для маловодных гидрологических условий и для одних и тех же условий увеличивается с ростом водоотдачи. С целью выявления таких маловодных лет выполнено сопоставление изменяющегося из года в год и от месяца к месяцу притока воды к системе и вариантов гарантированной водоотдачи.

Сопоставляя значения притока к водно-ресурсной системе и заданной гарантированной водоотдачи на выходе системы получаем характеристики дефицита водоотдачи для дальнейшего анализа. Исследования показывают, что водно-ресурсная система водообеспечения Москвы до последнего времени имела значительный запас прочности, так как ее гарантированная водоотдача превышала потребности в воде даже в засушливые годы. Однако дальнейшее развитие региона и возможное увеличение потребления воды, прежде всего в питьевом и коммунально-бытовом секторе, может привести к появлению существенного дефицита водных ресурсов в системе, прежде всего в маловодные годы.

Анализ функционирования водно-ресурсной системы за пределами расчетной обеспеченности в исследуемом регионе показывает следующее. При исчерпании рабочего объема водохранилища, т. е. при наступлении перебоя за пределами расчетной обеспеченности приходится вынужденно переходить от гарантированных расходов воды из водохранилища к естественно-бытовым расходам реки. Ограничение водоотдачи потребителям в течение некоторого периода времени различается по глубине и длительности. При единичных перебоях недостаток воды распространяется на часть периода в течение одного года. С повышением величины гарантированной водоотдачи увеличивается вероятность повторения перебоя в смежном году. Длительные периоды нормальной работы сменяются группами лет с сокращенной водоотдачей. Глубина перебоя бывает различной по перебойным годам и изменяется от нуля до величины, близкой в пределе к годовой водоотдаче. В табл. 3 представлен один из фрагментов зависимости дефицита гарантированной водоотдачи от величины гарантированной водоотдачи.

Соотношение величины и обеспеченности гарантированной водоотдачи водно-ресурсной системы. При разработке правил управления режимом работы водохранилищ необходимо ориентироваться на определенные критерии качества управления, которые должны учитывать стохастический

Таблица 3
Результаты расчетов Вазузской
гидротехнической системы

Водоотдача, м³/с	Дефицит гарантированной водоотдачи по годам, млн м³			
	1921/22	1939/40	1964/65	1996/97
20	0	0	0	0
22	5	0	0	0
24	35	0	0	0
26	75	0	0	0
28	120	0	5	0
30	180	0	15	5
32	230	15	35	20
34	280	45	80	65

характер будущего притока воды к водохранилищам. В качестве такого критерия широко применяется показатель надежности (расчетной обеспеченности) удовлетворения заявленных требований к водоотдаче. Этим показателем определяются как параметры водно-ресурсной системы, так и правила наполнения и сработки водохранилищ [1–3].

Принцип экономического обоснования целесообразного значения расчетной обеспеченности основан на сопоставлении ущербов, возникающих у водопользователя вследствие ограничения водоотдачи, и затрат, необходимых для сокращения этих ограничений. Общеизвестной методики оценки ущербов от недодачи воды компонентам водно-ресурсной системы в настоящее время нет. Поэтому использование показателя расчетной обеспеченности в качестве критерия эффективности тех или иных правил управления на данном этапе развития можно считать вполне оправданным.

В результате вычислений были получены следующие показатели величины и обеспеченности гарантированной водоотдачи: объемные характеристики дефицита гарантированной водоотдачи для каждого периода времени; временные характеристики дефицита гарантированной водоотдачи в периоды, когда был дефицит (по числу бесперебойных лет, по длительности бесперебойного периода, по регулярности работы системы в нормальном режиме). При исследовании гарантированной водоотдачи водохранилищ могут быть использованы все

рассмотренные показатели обеспеченности. Очевидно, что той или иной отрасли хозяйства одни показатели гарантированной водоотдачи могут соответствовать в большей степени, чем другие, например: отрасли водоснабжения в наибольшей мере соответствует расчетная обеспеченность по объему доставленной пользователю воды; для судоходства – расчетная обеспеченность по длительности бесперебойного периода. На практике для большинства компонентов водохозяйственного комплекса характерно использование параметра расчетной обеспеченности по числу бесперебойных лет. Это можно объяснить простотой расчета и нецелесообразностью его усложнения при отсутствии экономического подтверждения анализируемых значений водоотдачи. Четко выраженной зависимости между характеристиками обеспеченности нет. Однако обеспеченность бесперебойного водоснабжения по объему больше обеспеченности по длительности, которая в свою очередь превышает обеспеченность по числу бесперебойных лет (табл. 4).

Таблица 4
Сравнительные показатели
величины и обеспеченности
гарантированной водоотдачи водно-
ресурсной системы Верхней Волги
(по длительности бесперебойного
периода) для двух гидрологических
рядов стока

Водоотдача, м³/с	Число периодов месяцев		Расчетная обеспеченность, %	
	Из 792	Из 1032	Из 792	Из 1032
75	0	0	100,0	100,0
80	1	1	99,9	99,9
85	3	3	99,6	99,7
90	4	4	99,5	99,6
95	7	8	99,1	99,2
100	10	12	98,7	98,8
105	14	17	98,2	98,4
110	19	22	97,6	97,9

Примечание: один из рядов стока включает в себя маловодный 1996 год, второй – нет.

Высокий уровень надежности гарантированной отдачи речной системы в зарегулированных условиях (90...99 %) обуславливает необходимость предвидеть

возможные последствия срыва этой отдачи, поскольку такие последствия могут быть весьма значительными. В крайне маловодных условиях, когда теоретически должен наступить предполагаемый «срыв» отдачи, т. е. ее сокращение и, как следствие, ущерб в одной из возможных форм или их сочетаний, негативная нагрузка на природу и человека существенно возрастет по сравнению с обычными, благоприятными условиями. Поскольку водообеспечение региона может быть подразделено на такие составляющие, как питьевое, коммунально-бытовое, промышленное и обводнительное, можно предположить, что в условиях недостатка воды все эти составляющие будут подвержены сокращению в той или иной мере. Сокращение гарантированной водоотдачи речной или водно-ресурсной системы в отношении каждой из рассмотренных составляющих будет иметь, по-видимому, разную степень.

Выводы

Разработка правил управления водно-ресурсной системой направлена на повышение меженных расходов воды для цели надежного водообеспечения территории крупного региона в условиях маловодного периода. Формирование и развитие системы изменило естественный гидрологический режим речного бассейна. Анализ естественного и зарегулированного речного стока показывает следующее. Значение гарантированной водоотдачи в зарегулированных условиях по сравнению с естественными для расчетной обеспеченности 95 % (по числу бесперебойных лет) дает увеличение стока в створе Иваньковского гидроузла на реке Волге в 3 раза, для створа Рублевского водохранилища на реке Москве – в 4 раза, для створа Зубцов на реке Вазузе – в 3,4 раза [4, 5].

В перспективе проблема управления водными ресурсами в бассейне

Верхней Волги связана в основном с нахождением дополнительных источников воды для удовлетворения растущих требований Москвы и Московской области. Не последнюю роль здесь должна играть также и рационализация правил управления водными ресурсами, в частности на основе совместного использования поверхностного и подземного стоков [6].

Список литературы

1. **Асарин, А. Е.** Водно-энергетические расчеты [Текст] / А. Е. Асарин, К. Н. Бестужева. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 222 с.
2. **Великанов, А. Л.** Проблемы надежности при многоцелевом использовании водных ресурсов [Текст] / А. Л. Великанов, И. Л. Хранович, В. И. Клепов. – М. : Наука, 1994. – 225 с.
3. **Крицкий, С. Н.** Водохозяйственные расчеты [Текст] / С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель. – Л. : Гидрометеиздат, 1952. – 392 с.
4. **Клёпов, В. И.** Управление природоохранными попусками в бассейне Верхней Волги как способ повышения надежности водообеспечения Московского региона [Текст] / В. И. Клепов // Водные ресурсы. – № 5. – 2007. – С. 626–630.
5. **Клепов, В. И.** Разработка и построение правил управления водно-ресурсной системой в маловодных условиях [Текст] / В. И. Клепов // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2008. – № 4. – С. 15–18.
6. **Клепов В. И.** Гидрологическое обоснование совместного использования поверхностного и подземного стока для водообеспечения Москвы [Текст] / В. И. Клепов // Использование и охрана природных ресурсов в России : сб. науч. статей. – 2007. – №5. – С. 9–13.

Статья поступила в редакцию 27.04.09.

Клепов Владимир Ильич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории управления водными ресурсами
Тел. 8 (495) 396-2712, 8-903-713-94-26
E-mail: vikleпов@rambler.ru