

В.И. КЛЁПОВ, П.М. УМАНСКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПАХРЫ

Одной из основных особенностей функционирования водохозяйственных систем (ВХС), существенно отличающих их от других народнохозяйственных систем, является непрерывное колебание их основного ресурса – речного стока. От характера изменчивости речного стока зависит гарантированная водоотдача ВХС, т.е. такое количество воды, которое может быть предоставлено пользователям в требуемом им режиме. Это может быть осуществлено в вероятностной форме, когда каждой величине ожидаемого притока ставится в соответствие вероятность ее появления или определенная обеспеченность (вероятность превышения). Рост численности населения Московского региона, развитие промышленности и сельского хозяйства обусловило увеличение антропогенной нагрузки на реки данного региона. В статье представлены и проанализированы основные особенности функционирования системы водохранилищ в бассейне реки Пахры и, в частности, Подольского водохранилища, спроектированного, строительство которого в настоящее время приостановлено. В работе показаны особенности данного гидроузла, приведены его основные параметры. Представлены основные показатели исходной, в том числе гидрологической информации. На основании водохозяйственных расчетов рассмотрены различные значения гарантированной водоотдачи Подольского водохранилища и построена зависимость дефицита гарантированной водоотдачи от различных значений гарантированной водоотдачи в исследуемом диапазоне значений.

Речной сток, река Пахра, система водохранилищ, гидроузел, гарантированная водоотдача, дефицит гарантированной водоотдачи.

Введение. Московская область является крупнейшим промышленным регионом России. Вместе с тем этот регион представляет собой один из самых малообеспеченных водой регионов в Российской Федерации. По данным [1], Московская область потребляет 3,1 млн м³/сут, в том числе 2,8 млн м³/сут из подземных водоисточников, что составляет около 90,3%.

Как показывают исследования, эксплуатационные запасы подземных вод многих водозаборов России находятся на грани истощения. Например, интенсивная эксплуатация подземных вод подольско-мячковского водоносного горизонта привела к образованию Московской депрессионной воронки, которая занимает большую часть Московской области. Во многих городах Московской области (Щербинка, Подольск, Бутово, Домодедово, Видное, Щёлково и др.) практически сработаны напоры водоносных горизонтов и начато их осушение [2]. Это приводит к загрязнению водоносного горизонта из-за претекания загрязненных грунтовых вод.

В таких условиях приоритетное значение приобретают поверхностные водные ресурсы, а также возможности совместного

использования поверхностного и подземного стока в целом в Московском регионе и, в частности, в бассейне реки Пахры.

Материалы и методы. Так как рядом с городом Подольск отсутствуют крупные реки и построенные на них водохранилища, осуществлять переброску стока из других регионов экономически нецелесообразно. Поэтому предлагается для водоснабжения города Подольска наряду с подземными водоисточниками использовать ресурсы поверхностных вод. Для этого необходимо построить систему водохранилищ на реке Пахре выше города Подольска. Водоохранилища можно использовать для водоснабжения населения, промышленности, сельского хозяйства и создания зон отдыха населения. Регулирование стока р. Пахры практически возможно осуществить лишь на незагрязненном участке реки выше г. Подольска. Ниже г. Подольска река Пахра сильно загрязнена недостаточно очищенными сточными водами городов Подольска, Климовска и Домодедово. Кроме того, на данном участке река имеет широкую низко расположенную пойму с плодородными землями, которые интенсивно используются для сельского хозяйства.

Проект регулирующего гидроузла на реке Пахре был разработан в материалах технического проекта [3]. В этом проекте были предусмотрены следующие основные параметры водохранилища. Полный объем водохранилища – 47,0 млн м³ воды, полезный – 40 млн м³. Нормальный подпорный уровень (НПУ) – на отметке 144,0 м, уровень мертвого объема (УМО) – на отметке 135,0 м. Площадь водохранилища – 830,0 га. Створ Подольского гидроузла должен был располагаться при слиянии рек Пахра и Моча.

Гидроузел должен был иметь следующий состав основных сооружений:

- земляная плотина, образующая водохранилище;
- паводковый водосброс, рассчитанный на сброс половодий рек Мочи и Пахра;
- водовыпуск для попусков воды вниз по реке;
- подводящий и отводящий каналы водосброса-водовыпуска.

Общая длина напорного фронта около 450 м. Максимальный напор на подпорные

сооружения Подольского гидроузла при НПУ 144,0 м – 19,2 м, а высота плотины – 21,4 м.

Основные характеристики гидроузла и водохранилища в бассейне реки Пахра представлены в таблице 1.

При расчетах соотношения величины и обеспеченности гарантированной водоотдачи водохранилищ, наряду со структурой ВХС и параметрами ее элементов, задаются следующие входные элементы:

- гидрологическая информация в виде рядов стока (расходов воды) приточности к характерным створам ВХС;
- потери стока на испарение с водной поверхности, на фильтрацию и на лёдообразование;
- информация о водопользователях, представленная в виде характеристик водопотребления и водоотведения, а также необходимых попусков в нижние бьефы гидроузлов;
- морфометрические характеристики водохранилищ и гидравлические характеристики нижних бьефов гидроузлов.

Таблица 1

Основные характеристики Подольского водохранилища

| | |
|--|--------|
| Нормальный подпорный уровень (НПУ), м | 144,0 |
| Уровень «мертвого» объема (УМО), м | 135,0 |
| Полный объем водохранилища, млн м ³ | 47,0 |
| Полезный объем водохранилища, млн м ³ | 40,0 |
| Площадь зеркала при НПУ | 830 га |
| Гарантированная водоотдача, м ³ /с | 1,6 |
| Обеспеченность гарантированной водоотдачи, % | 95 |

В качестве исходной гидрологической информации нами был рассмотрен ряд гидрологических данных за период времени с 1925/1926 по 1992/1993 гг. длительностью 68 лет с внутригодовым распределением по месячным интервалам за межень (июнь – февраль) и по декадным интервалам за половодье (март – июнь).

Результаты исследований и их обсуждение. При управлении водными ресурсами водохранилищ с целью получения оптимального значения гарантированной водоотдачи наибольший интерес представляют маловодные годы и их группировки, когда имеет место дефицит водных ресурсов.

На первом этапе исследования была построена кривая обеспеченности годовых значений расходов воды реки Пахры в створе Подольского водохранилища. Эта кривая представлена на рисунке 1. В результате этого были получены исходные данные для

соответствия расходов воды их расчетным обеспеченностям. По результатам построения были определены расчетные обеспеченности этих значений. Например, обеспеченности 95% соответствует значение 2,6 м³/с, что подтверждается проектными материалами.

Затем были выполнены расчеты для построения сокращенной интегральной кривой годового стока, по которой можно судить о цикличности в колебаниях годового стока реки Пахры в створе Подольского водохранилища. Вычисляем среднеарифметический среднегодовой расход по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{342,94}{68} = 5,04,$$

где Q_i – среднегодовые расходы воды, м³/с; n – число лет наблюдений.

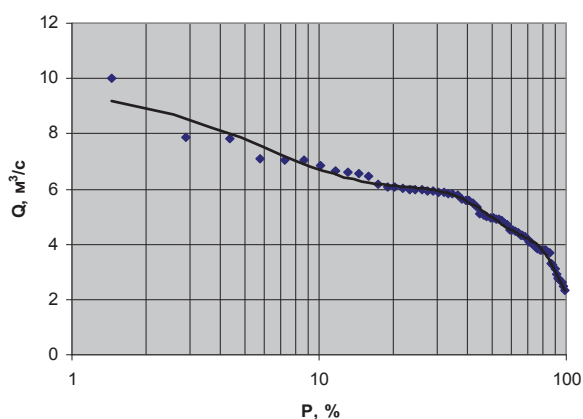


Рис. 1. Кривая обеспеченности среднегодовых расходов воды (м³/с) р. Пахры у плотины Подольского водохранилища

В таблице 2 представлены расчеты ординат сокращенной интегральной кривой годовых расходов воды реки Пахры.

В графе 4 таблицы 2 среднегодовые расходы заменяем относительным стоком – модульным коэффициентом $K_i = Q_i / \bar{Q}$. В графе 5 находим отклонения годового стока от нормы, а в графе 6 подсчитываем нарастающую сумму отклонений стока за год от его среднемноголетнего значения $\Sigma(K_i - 1)$.

По данным таблицы 2 на рисунке 2 представлена сокращённая суммарная (интегральная) кривая годового стока реки Пахра в створе Подольского водохранилища.

Таблица 2

Вычисление ординат сокращенной интегральной кривой

| № п/п | Год | $Q_p, \text{ м}^3/\text{с}$ | $K_i = Q_i / \bar{Q}$ | $K_i - 1$ | $\Sigma(K_i - 1)$ |
|-------|------|-----------------------------|-----------------------|-----------|-------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 1926 | 3,77 | 0,75 | -0,25 | -0,25 |
| 2 | 1927 | 6,02 | 1,19 | 0,19 | -0,06 |
| 3 | 1928 | 7,86 | 1,56 | 0,56 | 0,5 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 66 | 1991 | 7,84 | 1,56 | 0,56 | -0,23 |
| 67 | 1992 | 6,83 | 1,36 | 0,36 | 0,13 |
| 68 | 1993 | 4,41 | 0,88 | -0,12 | 0,01 |

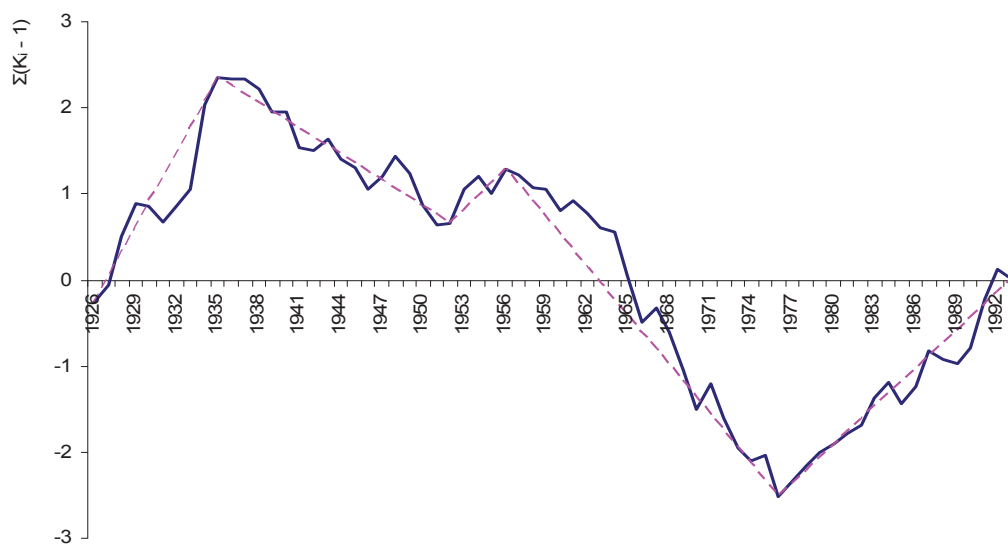


Рис. 2. Сокращенная суммарная кривая р. Пахры у плотины Подольского водохранилища (1926 по 1993 гг.)

По этой кривой определены циклы водности, включающие многоводные и маловодные фазы. Период, в течение которого сокращенная интегральная кривая имеет положительные тангенсы угла наклона касательных (кривая поднимается вверх), соответствует многоводной фазе колебаний

годового стока. При отрицательных тангенсах угла наклона (кривая опускается вниз) отмечается маловодная фаза стока. На данном графике выделяем три цикла:

1) 1926...1952 гг. (26 лет): многоводная фаза 1926-1935 гг., маловодная фаза 1935-1952 гг.;

2) 1952...1976 гг. (24 года): многоводная фаза 1952-1956 гг., маловодная фаза 1956-1976 гг.;

3) 1976...1993 гг. (17 лет): многоводная фаза 1976-1993 гг.

На основании исследований, представленных выше, можно перейти к расчетам и построению зависимости дефицита гарантированной водоотдачи Подольского водохранилища от величины гарантированной водоотдачи. Для выявления таких лет проведено сопоставление изменяющегося из года в год и от месяца к месяцу притока воды к водохранилищам рассматриваемой системы и значений гарантированной водоотдачи. Сопоставление выполнено по определенной схеме, предусматривающей последовательность выполнения расчетов [4]. Нижние пределы диапазонов гарантированной водоотдачи приняты такими,

при которых дефицита нет даже в крайне маловодных условиях. В качестве верхних пределов могут быть предложены разные значения, например, превышающие исходную величину гарантированной водоотдачи на 30-40%.

Был проанализирован диапазон гарантированной водоотдачи Подольского водохранилища на реке Пахра в интервале от 2,2 до 3,4 м³/с. Шаг расчетов составил 0,2 м³/с. Таким образом, были исследованы значения гарантированной водоотдачи 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,4 м³/с.

В таблице 3 представлен один из фрагментов управления водными ресурсами в бассейне реки Пахры и показаны гидролого-водохозяйственные показатели для маловодных условий за 1970/71-1976/77 годы при гарантированной водоотдаче $Q = 3,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 3

Гидролого-хозяйственные показатели при управлении водными ресурсами р. Пахры в створе Подольского гидроузла в маловодных условиях за 1970/71-1976/77 годы при гарантированной водоотдаче $Q = 3,4 \text{ м}^3/\text{с}$

| Годы | Естественный приток воды, млн м ³ | Факторы, влияющие на речной сток, млн м ³ | Полезный приток, млн м ³ | Объем гарантированной водоотдачи, млн м ³ | Сброс, млн м ³ |
|-----------|--|--|-------------------------------------|--|---------------------------|
| 1970/1971 | 206,68 | 3,44 | 203,24 | 92,66 | 110,58 |
| 1971/1972 | 97,42 | 3,44 | 93,98 | 93,98 | 0,00 |
| 1972/1973 | 103,00 | 3,44 | 99,56 | 83,74 | 15,82 |
| 1973/1974 | 135,15 | 3,44 | 131,71 | 107,24 | 0,00 |
| 1974/1975 | 168,97 | 3,44 | 165,53 | 107,24 | 76,80 |
| 1975/1976 | 81,97 | 3,44 | 78,53 | 84,49 | 0,00 |
| 1976/1977 | 187,59 | 3,44 | 184,15 | 103,78 | 59,29 |

В результате расчетов были получены значения суммарных дефицитов гарантированной водоотдачи (1926 по 1993 гг.) для

выбранного диапазона значений гарантированной водоотдачи. Эти значения представлены в таблице 4.

Таблица 4

Зависимость дефицита гарантированной водоотдачи Подольского водохранилища на реке Пахре от значения гарантированной водоотдачи

| Гарантированная водоотдача Q , м ³ /с | 3,4 | 3,2 | 3 | 2,8 | 2,6 | 2,4 | 2,2 |
|--|-------|--------|--------|--------|-------|------|-----|
| Дефицит гарантированной водоотдачи, млн м ³ | 565,3 | 389,63 | 228,28 | 113,23 | 41,06 | 6,76 | 0 |

Как следует из таблицы 4, значения дефицита гарантированной водоотдачи изменяются от 0 млн м³ (для 2,2 м³/с) до 563,3 млн м³ (для 3,4 м³/с). По этим материалам построена зависимость дефицита гарантированной водоотдачи от значения гарантированной водоотдачи в выбранном

диапазоне исследования (рис. 3). Как показали выполненные исследования для величины гарантированной водоотдачи 2,2 м³/с значение дефицита гарантированной водоотдачи равно 0 млн м³. Для следующих значений гарантированной водоотдачи дефицит монотонно возрастает.

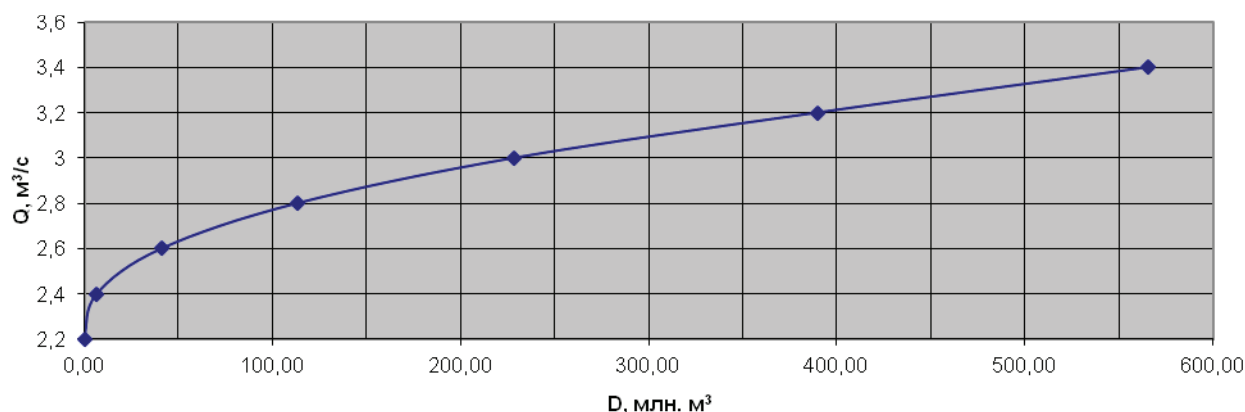


Рис. 3. График зависимости дефицита гарантированной водоотдачи от значения гарантированной водоотдачи Подольского водохранилища на реке Пахра

Выводы

При управлении водными ресурсами водохранилищ с целью получения оптимального значения гарантированной водоотдачи наибольший интерес представляют маловодные годы и их группировки, когда имеет место дефицит водных ресурсов. В соответствии с этим в работе были выполнены следующие исследования:

1. Построена кривая обеспеченности среднегодовых расходов воды реки Пахры в створе Подольского водохранилища. По результатам такого построения были определены расчетные обеспеченности этих значений. Обеспеченности 95% соответствует значение 2,6 м³/с, что соответствует проектным материалам.

2. Построена сокращенная интегральная кривая, по которой можно судить о цикличности в колебаниях годового стока в исследуемом регионе.

3. Получена зависимость дефицита гарантированной водоотдачи от различных значений гарантированной водоотдачи Подольского водохранилища. Расчёты показали, что, увеличение дефицита с увеличением значений гарантированной водоотдачи имеет тенденцию равномерно возрастать.

Библиографический список

1. Данилов-Данильян В.И. Водные проблемы Московской агломерации: состояние ресурсов подземных и поверхностных вод. / в кн. Нерешенные экологические проблемы Москвы и Подмосковья. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2012. – С. 115-125.

2. Отчет по теме: Переоценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод для водоснабжения населения и предприятий Подольского района Московской области по состоянию на 01.01.2005 г. [Текст] – М.: Геолинк, 2005 г. – Гос. рег. номер 34-03-93/1. – 277 с.

3. Технический проект «Регулирующий гидроузел на р. Пахре Московской области». Том IV. Основные сооружения. Книга 1. Подольское водохранилище [Текст]. – Институт «Гидропроект» имени С.Я. Жука, М., 1974.

4. Клёпов В.И. О гидрологических основах моделирования и обоснования совместного использования поверхностных и подземных вод в Московском регионе. / Международная научная конференция «Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования». – М.: Изд-во МГУ. 2010. – С. 235-242.

Материал поступил в редакцию 24.10.2017 г.

Сведения об авторах

Клёпов Владимир Ильич, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, тел. 8(499)9762368, e-mail: viklepov@rambler.ru

Уманский Петр Михайлович, старший преподаватель кафедры «Технической эксплуатации, технологических машин и оборудования природообустройства» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, д. 44, тел. 8(499)9761869, e-mail: UmPM@rambler.ru

V.I. KLEPOV, P.M. UMANSKY

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow

FEATURES OF THE SYSTEM FUNCTIONING OF WATER RESERVOIRS IN THE BASIN OF THE PAKHRA RIVER

One of the main functioning features of water economic systems (WES) that is significantly different from other national economic systems is a continuous fluctuation of their primary resource – river flow. The guaranteed WES water yield depends on the character of the river flow variability i.e. the quantity of water that can be provided to users in the required mode. This can be done in the probabilistic form when each value of the expected inflow is assigned to the probability of its occurrence or any definite provision (probability of excess). The population growth in the Moscow region, development of industry and agriculture have led to the increase of anthropogenic pressure on the rivers in the region. The article presents and analyzes the main functioning features of the system of reservoirs in the basin of the Pakhra river and, in particular, of the Podolsk reservoir which has been designed but its construction is currently suspended. The study shows the peculiarities of the hydraulic unit, its main parameters are given. There are given basic indicators of the initial including hydrological information. On the basis of water economic calculations there are considered different values of the guaranteed water yield of the Podolsk reservoir, and the dependence of the deficit of the guaranteed water yield is built from different values of the guaranteed water yield within the studied range of values.

River flow, river Pakhra, system of reservoirs, hydraulic unit, guaranteed water yield, deficit of the guaranteed water yield

References

1. **Danilov-Danilyan V.I.** Vodnye problemy Moskovskoy aglomeratsii: sostoyanie resursov podzemnyh i poverhnostnyh vod. / V kn. Nereshennyye ekologicheskie problemy Moskvy i Podmoskovya. – M.: Media-PRESS, 2012. – S. 115-125.

2. Otchet po teme: Pereotsenka ekspluatatsionnyh zapasov presnyh podzemnyh vod dlya vodosnabzheniya naseleniya i predpriyatij Podoljskogo rajona Moskovskoy oblasti po sostoyaniyu na 01.01.2005 g. [Tekst] – M.: Geolink, 2005 g. – Gos. reg. nomer 34-03-93/1. – 277 s.

3. Tehnichesky project «Reguliruyushchij gidrouzel na r. Pakhre Moskovskoy oblasti». Tom IV. Osnovnye sooruzheniya. Kniga 1. Podoljskoe vodohranilishche [Tekst]. – Institut «Gidroproject» imeni S.Ya. Zhuka. – M.: 1974.

4. **Klepov V.I.** O gidrologicheskikh osnovah modelirovaniya i obosnovaniya sovместnogo ispolzovaniya poverhnostnyh i podzemnyh vod

v Moskovskom regione. / Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Resursy podzemnyh vod. Sovremennyye problem izucheniya». – M.: Izd-vo MGU, 2010. – S.235-242.

The material was received at the editorial office
24.10.2017

Information about the authors

KLEPOV Vladimir Iljich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Hydrology, hydrogeology and flow regulation» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49, tel. 8(499)9762368, e – mail: viklepov@rambler.ru

UMANSKY Petr Mikhailovich, senior lecturer of the chair «Technical operation, technical machinery and equipment of environmental engineering» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44, tel. 8(499)9761869, e – mail: UmPM@rambler.ru