

Information about the authors

Klepov Vladimir Iljich, doctor of technical sciences, professor of the department «Hydrology, hydrogeology and regulation of runoff» FSBEI HE RSAU-MSHA Named after S.A. Timiryazev; 127550,

Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; e-mail: viklepov@rambler.ru

Dyukov Petr Dmitrievich, engineer, Federal state budgetary institution the Moscow-Oksko territorial administration on fishery, Moscow, Varshavskoe shossee, 39a.

УДК 502/504:556.16

DOI 10.26897/1997-6011/2020-4-106-111

И.Г. ВЕЛИЕВ, В.В. ИЛЬНИЧ, А.В. ПЕРМИНОВ

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

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ИРРИГАЦИОННЫМ ВОДОХРАНИЛИЩЕМ В УСЛОВИЯХ МАЛОВОДЬЯ

На примере Краснодарского водохранилища проводится анализ функционирования при различных вариантах регулирования речного стока. Рассмотренные варианты управления водохранилищем были реализованы в соответствии с действующим диспетчерским графиком и с новыми правилами, разработанными на основе имитационного моделирования с помощью модели «ИМИТ-BALANS», которая использует элементы оптимизации. Предварительно эта модель была адаптирована посредством более детальной дискретности внутригодовых интервалов. Сравнение результатов функционирования водохранилища относительно дефицитов плановой водоотдачи для условий маловодного года показало, что разработанные новые правила управления водохранилищем для маловодных лет являются гораздо более эффективными. Их использование лицом, принимающим решения (ЛПР) при условии использования краткосрочных и среднесрочных прогнозов стока, позволит существенно сократить дефицит воды.

Речной сток, водохранилище, регулирование стока, диспетчерский график, имитационное моделирование, гидрологические прогнозы.

Введение. Большинство водохранилищ мира и России, выполняющее в вегетационный период ирригационные функции, не обеспечивает водой в требуемом объеме орошаемые территории в связи со значительной изменчивостью их элементов водного баланса, и в первую очередь – притока к водохранилищам как относительно годовых, так и внутригодовых величин. При этом в России чаще всего управление водохранилищами осуществляется лицом, принимающим решения (ЛПР) с помощью диспетчерских графиков, имеющих в своих рамках одну или несколько (как правило, не более трех) противоперебойных линий, представленных ординатами хронологических критических наполнений водохранилища. Понижение уровней (объемов) ниже этих линий сопровождается в различной степени уменьшением реальной водоотдачи на орошаемые территории ниже ее плановой величины. В частности, такой подход имеет

место на Краснодарском гидроузле [1]. Однако в последние десятилетия появились обоснованные предложения по имитационному моделированию функционирования водохранилищ с элементами решения оптимизационных задач относительно конкретных водохозяйственных критериев [2-6]. Такие модели способны предоставлять для ЛПР гораздо более эффективные решения по управлению водохранилищем или каскадом водохранилищ. Соответственно целью настоящей работы являются анализ и адаптация методики и соответствующей ПС-программы [4] применительно к управлению ирригационным водохранилищем. Обозначенная цель обусловила необходимость решения следующих задач:

- адаптация и разработка имитационной математической модели для ирригационного водохранилища;
- моделирование функционирования водохранилища;

– сравнение результатов предлагаемой модели с результатами функционирования водохранилища в условиях маловодного года при регулировании стока согласно диспетчерскому графику.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования было определено Краснодарское водохранилище, основными параметрами которого приняты: полная емкость – 1798 млн м³ и соответствующий нормальный уровень (НПУ) – 32,75 м; мертвый объем – 196 млн м³ и соответствующий уровень мертвого хранилища (УМО) – 25,85 м [1].

При традиционном управлении на гидроузле в маловодные годы согласно приведенному диспетчерскому графику (рис. 1) регулирование стока определялось следующими основными правилами. Если наполнение (V) к рассматриваемому интервалу времени попадало в зону выше верхней противоперебойной линии (a), то в нижний бьеф на орошение рисовых чеков отправлялся объем воды (попуск) не меньше плановой водоотдачи. Если величина наполнения попадала в зону между линией «a» и линией «b», то попуски составляли 90% от плановой водоотдачи, и если V оказывалось ниже линии «a», водоотдача сокращалась на 20% относительно плановой величины. При достижении уровня мертвого объема водоотдача сокращалась до величины поступающего в водохранилище естественного стока за вычетом суммарных потерь водохранилища за пентаду, при этом уровень оставался на отметке мертвого объема.

При регулировании стока по имитационной модели общая математическая задача направлена на поиск оптимального режима водоснабжения рисовых чеков. Математическая запись задачи представлена путем минимизации следующих функционалов:

$$\Phi(\bar{V}, \bar{U}, t) = \min \max \left| \frac{\sum_{t=1}^{t=T} \bar{U} - \bar{U}_{opt}}{\bar{U}_{opt}} \right|$$

при следующих ограничениях:

$$\bar{V} = A\bar{W} + B\bar{U};$$

$$\bar{V} \leq \bar{V} \leq \bar{V};$$

$$\bar{U} \geq 0;$$

$$\bar{V} \geq 0.$$

Здесь при $t = 0$, $\bar{V} = \bar{V}_0$, где \bar{V} – вектор запаса воды в водохранилище (или вектор

уровня); $\bar{V} = \bar{V}$ – соответственно нижний предел (мертвый объем) и верхний предел (полный объем); \bar{U} – вектор плановой водоотдачи из водохранилища; \bar{U}_t – вектор реальной водоотдачи на данный момент t , который включает в себя требования воды ниже дамбы водохранилища по течению воды (основным потребителем является орошение и экологический расход воды); \bar{U}_{opt} – оптимальные попуски в нижний бьеф (оптимальная водоотдачи с точки зрения водопользователя); \bar{W} – вектор стока в водохранилище; t – время в течение года (в нашей модели – число пятидневок (5 дней), максимальное $T = 72$); A и B – матричные условия системы.

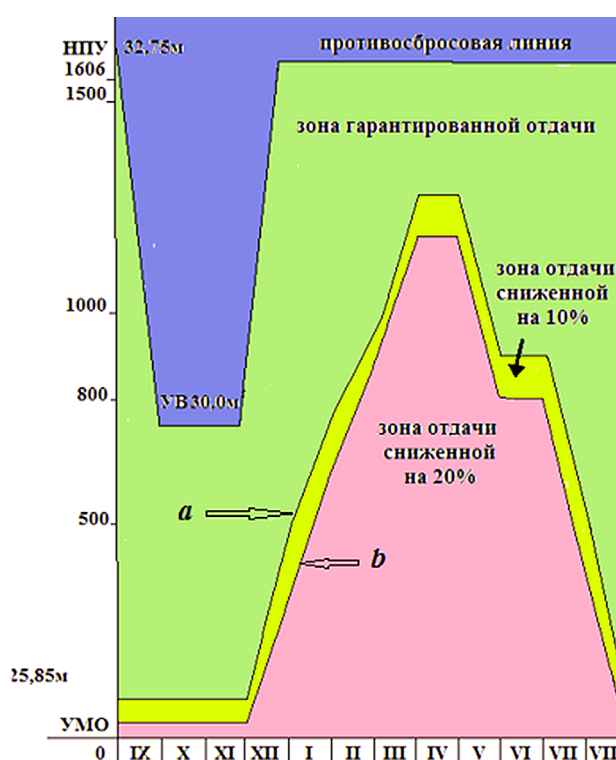


Рис. 1. Диспетчерский график Краснодарского водохранилища

В этих условиях решение задачи требует использования методов стохастического программирования. Принципиальным отличием исследования настоящей работы от модели [2, 3, 5] является малая дискретность – 5 дней (пентада), соответствующая краткосрочному прогнозу стока, который впоследствии может быть использован для уточнения оперативных правил управления водохранилищем. В данном случае для первой итерации модели входными данными значений вектора \bar{V} были значения верхней линии противоперебойной линии традиционного диспетчерского графика.

Результаты и обсуждение. Моделирование управления водохранилищем было выполнено для нескольких маловодных лет: в частности, относительно 1974 г., водность

которого близка к расчетной обеспеченности 75%. Полученные совместные графики уровней притока воды и попусков воды в нижний бьеф в 1974 г. представлены на рисунке 2.

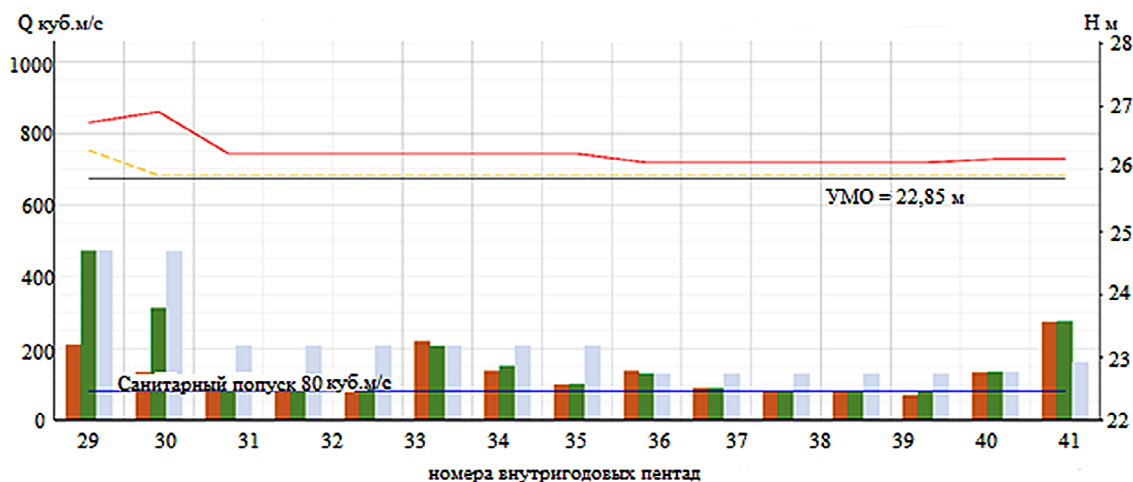


Рис. 2. Совмещенные графики притока к водохранилищу, его попусков и наполнений в маловодном 1974 г.:

- – Модельный расчетный попуск, м³/с; ■ – Приток, м³/с;
- – Требуемый попуск, м³/с; — – Требуемые отметки НБ, м;
- – Модельные отметки НБ, м

Из рисунка следует, что попуски воды в нижний бьеф (необходимые для орошения риса и удовлетворения некоторых других требований к водному режиму Нижней Кубани), полученные с помощью моделирования, в середине года понижаются ниже противоперебойной линии диспетчерского графика, но затем почти всегда превышают ее к концу водохозяйственного года (вегетационного периода). Есть также различия между уровнями режимов наполнения водохранилища, то есть его запасов.

В результате с помощью имитационной модели были получены новые, условнооптимальные линии попусков

и смоделированных уровней (новые правила управления водохранилищем).

Полученная таким образом линия смоделированных уровней использовалась в балансовой модели функционирования водохранилища [7] в качестве единственной противоперебойной линии в рамках текущих диспетчерских правил управления гидроузлом вместо противоперебойных линий исходного диспетчерского графика. Результаты сравнения двух подходов к управлению гидроузлом (традиционные правила – по исходному диспетчерскому графику) относительно величины и продолжительности дефицитов плановой водоотдачи представлены в таблице.

Таблица

Основные результаты моделирования функционирования водохранилища для условий маловодного 1974 г.

Правила управления водохранилищем	Суммарные дефициты, млн м ³	Максимальный месячный дефицит, млн м ³	Количество дефицитных пентад в году
Традиционные	1338	419	24
Новые	814	175	14

Анализируя численные значения таблицы, можно заключить, что новые правила управления водохранилищем, заключающиеся в режиме попусков воды в нижний бьеф водохранилища (реальная водоотдача потребителю), согласно полученной новой

и рекомендованной в качестве единственной противоперебойной линии уровней (наполнений водохранилища), существенно снижают как суммарный годовой дефицит воды, так и максимальный месячный дефицит. При этом общий дефицитный период

по продолжительности уменьшается почти в 2 раза (в целом за год – на 50 дней).

Исследованная модель была представлена при гипотетическом условии о заранее известном притоке к водохранилищу на целый год, чего реально достичь невозможно. Более или менее реальный прогноз притока на такой реке, как Кубань, мы можем получить на пентаду, максимум – на декаду. В частности, уже имеется положительный опыт использования краткосрочных пентадных прогнозов [8] притока к Краснодарскому водохранилищу при оперативном управлении водохранилищем [9].

Кроме того, возможно использование системы EFAS [10, 11], позволяющей получать среднесрочные прогнозы стока с заблаговременностью до 10 суток, которая в свою очередь использует прогностическую метеорологическую информацию в рамках системы моделей LISTFLOOD [12].

Выводы

Предложенная модель управления водохранилищем доказывает, что существуют гораздо более эффективные решения по сравнению с используемым сегодня управлением по диспетчерскому графику. В совокупности, используя в представленной модели прогнозную величину притока к водохранилищу на декаду и последующие величины притока маловодного года по выбранной схеме его внутригодового распределения, можно лицу, принимающему решения (ЛПК), представлять оперативные правила управления. Тем самым будет уменьшаться период гипотетического представления о будущей величине притока и уточняться правила управления водохранилищем в каждую декаду с целью уменьшения объемов и продолжительности дефицитов планового водопользования.

Библиографический список

1. Правила использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища. – Краснодар: «Кубаньводпроект», 2012. – 193 с.
2. Воропаев Г.В., Исмайлов Г.Х., Фёдоров В.М. Проблемы управления водными ресурсами Арало-Каспийского региона. – М.: Наука, 2003. – 425 с.
3. Исмайлов Г.Х., Перминов А.В. Алгоритм режима работы систем водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования стока // Природообустройство. – 2014. – Вып. 4. – С. 69-73.

4. Исмайлов Г.Х., Перминов А.В., Смирнова М.А. Применение модели «IMIT-BALANS» для определения режимов работы верхневолжского каскада водохранилищ // Природообустройство. – 2019. – № 3. – С. 83-88.

5. Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Поточные модели. – М.: Научный мир, 2001. – 295 с.

6. Delipetrev B., Jonoski A. and Solomatine D.A. Novel Nested Dynamic Programming (NDP) Algorithm for multipurpose reservoir optimization. Proceeding of 11 th International Conference on Hydroinformatics HIC2014. – New York City, 2014. – P. 1-7.

7. Велиев И.Г. Анализ изменчивости годового притока к Краснодарскому водохранилищу / Сб. Агрометеорология XXI века. – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2019. – С. 170-174.

8. Борщ С.В., Симонов Ю.А. Оперативная система краткосрочных гидрологических прогнозов расхода воды на реках Кубани // Труды Гидрометцентра России. – 2013. – Вып. 349. – С. 63-68.

9. Clarification of rules for runoff regulation by water reservoir. / Cavalli A.B., Ilinich V.V., Veliev I.G. i dr. Proc. of the 5 th IAHR Europe Congress – New Challenges in Hydraulic Research and Engineering Editor(s) Aronne Armanini and Elena Nucci. – Trento. – 2018. – P. 513-514..

10. Calibrated precipitation forecasts for a limited-area ensemble forecast system using reforecasts. / Fundel F., Walser A., Liniger M.A. i dr. // Monthly Weather Review. – 2010. – 138(1). – P. 176-189.

11. Dynamic runoff co-efficient to improve flash flood early warning in Europe: Evaluation on the 2013 central European floods in Germany. Meteorological Applications. / Raynaud D., Thielen J., Salamon P., Alfieri, – L. A – 2015. – 22(3), 410-418.

12. Park S., Berenguer M. and Semperre-Torres D. Long-term analysis of gauge-adjusted radar rainfall accumulations at European scale. Journal of Hydrology. – 2019. – 573. – P. 768-777.

Материал поступил в редакцию 15.09.2020 г.

Сведения об авторах

Велиев Ильяс Гасанович, аспирант кафедры метеорологии и климатологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, ул. Прянишникова, 12; e-mail: cpp.sion@gmail.com

Ильинич Виталий Витальевич, кандидат технических наук, профессор кафедры метеорологии и климатологии; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Москва, ул. Прянишникова, 12; e-mail: vilinitch@gmail.com

Перминов Алексей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Прянишникова, 19; e-mail: alexperminov@gmail.com

I.G. VELIEV, V.V. ILJINICH, A.V. PERMINOV

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

SIMULATION MODELING OF RUNOFF REGULATION BY AN IRRIGATION WATER RESERVOIR UNDER THE CONDITIONS OF LOW-WATER

The article is dealt with the analysis of the Krasnodar water reservoir operation carried out under various options for regulating river flow. The considered options for water reservoir management were implemented in accordance with the current operation schedule and new regulations developed on the basis of simulation modeling using the IMIT-BALANS model which uses optimization elements. Previously this model was adapted by means of a more detailed discreteness of intra-annual intervals. Comparison of the results of the reservoir operation in relation to the deficient planned water yield for dry year conditions showed that the developed new regulations for reservoir management for low water years are much more effective. Their use by the decision-maker (DM) would reduce deficit of water consumption provided that short-term and medium-term runoff forecasts are used.

River flow, water reservoir, flow regulation, operation schedule, simulation modeling, runoff forecast.

References

1. Pravila ispolzovaniya vodnyh resursov Krasnodarskogo vodohranilishcha. – Krasnodar: «Kubanvodproekt», 2012. – S. 193.
2. **Voropaev G.V., Ismaiyllov G.H., Fedorov V.M.** Problemy upravleniya vodnymi resursami Aralo-Kaspijskogo regiona. – M.: Nauka, 2003. – 425 s.
3. **Ismaiyllov G.H., Perminov A.V.** Algoritm rezhima raboty system vodohranilishch sezonogo i mnogoletnego regulirovaniya stoka // Prirodoobustrojstvo. – 2014. – Vyp. 4. – S. 69-73.
4. **Ismaiyllov G.H., Perminov A.V., Smirnova M.A.** Primenenie modeli «IMIT-BALANS» dlya opredeleniya rezhimov raboty verhnepolzhskogo kaskada vodohranilishch // Prirodoobustrojstvo. – 2019. – № 3. – S. 83-88.
5. **Hranovich I.L.** Upravlenie vodnymi resursami. Potokovye modeli. – M.: Nauchny mir, 2001. – 295 s.
6. **Delipetrev B, Jonoski A and Solomatine D.** A Novel Nested Dynamic Programming (NDP) Algorithm for multipurpose reservoir optimization. Proceeding of 11 th International Conference on Hydroinformatics HIC2014. New York City, – 2014, – P. 1-7.
7. **Veliev I.G.** Analysis of the variability of the annual inflow to the Krasnodar reservoir / Sat. Agrometeorology of the XXIV Century. – M.: University-MTAA named after K.A. Timiryazev, 2019. – Pp. 170-174.
8. **Borshch S.V., Simonov Yu.A.** Operativnaya sistema kratkosrochnykh gidrologicheskikh prognozov raskhoda vody na rekah Kubani // Trudy Gidromettsentra Rossii. – 2013. – Vyp. 349. – S. 63-68.
9. Clarification of rules for runoff regulation by water reservoir. / Cavalli A.B., Ilinich V.V., Veliev I.G. i dr. Proc. of the 5 th IAHR Europe Congress – New Challenges in Hydraulic Research and Engineering Editor(s) Aronne Armanini and Elena Nucci. – Trento. – 2018. – P. 513-514..
10. Calibrated precipitation forecasts for a limited-area ensemble forecast system using reforecasts. / Fundel F., Walser A., Liniger M.A. i dr. // Monthly Weather Review. – 2010. – 138(1). – P. 176-189.
11. Dynamic runoff co-efficient to improve flash flood early warning in Europe: Evaluation on the 2013 central European floods in Germany. Meteorological Applications. / Raynaud D., Thielen J., Salamon P., Alfieri, – L. A – 2015. – 22(3), 410-418.
12. **Park S.; M. Berenguer, and D. Semperre-Torres.** Long-term analysis of gauge-adjusted

radar rainfall accumulations at European scale. Journal of Hydrology. – 2019. – 573. – P. 768-777.

The material was received at the editorial office
15.09.2020

Information about the authors

Veliev Iljas Gasanovich, post graduate student of the department of meteorology and climatology; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, ul. Pryanishnikova, 12; e-mail: cpp.sion@gmail.com

Iljinich Vitaliy Vitaljevich, candidate of technical sciences, professor of the department of meteorology and climatology; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, ul. Pryanishnikova, 12; e-mail: vilinitch@gmail.com

Perminov Alexey Vasiljevich, candidate of technical sciences, professor of the department of hydrology, hydrogeology and flow regulation; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, ul. Pryanishnikova, 12; e-mail: alexperminov@gmail.com

УДК 502/504:551.48

DOI 10.26897/1997-6011/2020-4-111-116

Д.Х. ДОМУЛЛОДЖАНОВ¹, Р. РАХМАТИЛЛОЕВ²

¹ Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии, г. Душанбе, Республика Таджикистан

² Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур, г. Душанбе, Республика Таджикистан

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СБОРУ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ДЛЯ НУЖД НАСЕЛЕНИЯ В АГРОЛАНДШАФТАХ БАСЕЙНА Р. КЫЗЫЛСУ-ЮЖНАЯ

Технологии сбора и использования осадков широко развиты и используются в странах Южной Азии, Восточной Африки, Карибского бассейна и др. Накопленные водные ресурсы используются для удовлетворения бытовых нужд населения, водопоя скота, а избыток – для орошения сельскохозяйственных культур на земельных угодьях. В Таджикистане также используются простые системы сбора атмосферных осадков, параметры которых не увязаны с закономерностями выпадения осадков, нормами использования воды для различных целей; сами системы научно не обоснованы, не имеют водобалансовых расчетов, а стоимость их является высокой. Поэтому актуальными являются разработка и внедрение низкочастотных систем сбора, хранения и использования атмосферных осадков для коммунально-бытовых нужд и ирригации с.-х. культур на приусадебных участках с применением водосберегающих технологий. В результате исследований, проведенных в холмистом, предгорном и низкогорном агроландшафтах бассейна реки Кызылсу-южная Таджикистана, была определена средняя водосборная площадь в домохозяйствах, на основании проведенных полевых экспериментов предложена низкочастотная система сбора и хранения атмосферных осадков с крыши зданий и пристроек домохозяйств объемом водоемов до 10 м³, стоимостью около 332 долл. США, с коэффициентом эффективности сбора осадков 90,5...93,3%.

Технология сбора и использования осадков, водосборная площадь домохозяйств, низкочастотный водоём.

Введение. В направлении внедрения интегрированного управления водными ресурсами в бассейнах малых рек Таджикистана, особенно в зоне формирования стока и предгорных территорий, требуется проведение исследований по оценке и комплексного управления природными ресурсами, в том числе технологии сбора и использования осадков на богарных территориях для сельскохозяйственных и бытовых нужд,

а также по районированию формирования стока атмосферных осадков.

Для повышения эффективности сбора и использования собранных дождевых вод в условиях стран, расположенных вдоль горного хребта Гиндукуш, ряда африканских стран и Карибского моря, специалистами из разных организаций был проведен ряд экспериментов [1-9]. В отличие от климатических условий Таджикистана, например,