

ОПЫТ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОДОХРАНИЛИЩ МОСКВОРЕЦКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ*

© 2018 г. Н.А. Дильман^{1,2}, А.В. Мاستрюкова^{1,2}, В.В. Чуканов^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Информационно-аналитический центр регистра и кадастра, Москва, Россия

² ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Москва, Россия

Ключевые слова: Москворецкая водная система, информационное обеспечение, ГИС-технологии, модель формирования стока, водохозяйственные расчеты, правила использования водных ресурсов.



Н.А. Дильман



А.В. Мастрюкова



В.В. Чуканов

Информационно-аналитический центр регистра и кадастра с 2009 г. в разных формах осуществляет информационное обеспечение регулирования режимов работы водохранилищ Москворецкой водной системы. Информационное

обеспечение включает анализ текущей гидрологической и водохозяйственной обстановки, оценку притока воды в водохранилища системы и бокового притока с незарегулированного водосбора, водохозяйственные расчеты и предложения по режимам работы водохранилищ, подготовленные к заседаниям межведомственной рабочей группы в Московско-Окском бассейновом управлении. Для анализа текущей обстановки широко используются средства ГИС. Оценка притока воды осуществляется с помощью информационно-моделирующего комплекса ECOMAG, реализующего полный гидрологический цикл на водосборе.

В статье представлены результаты тестирования методики оценки притока на основе сценарных расчетов. Для водохозяйственных расчетов использована имитационная модель, разработанная на базе программного комплекса VOLPOW, включающая пять водохранилищ и участки рек Москва, Руза, Озерна, Истра. Предложены пути повышения эффективности информационного обеспечения и качества планирования режимов работы водохранилищ.

* Исследование проведено при поддержке гранта №17-77-30006 Российского научного фонда

Москворецкая водная система (МВС) создана в 1930–1960-х годах, в первую очередь, для водоснабжения Москвы. Входящие в систему Истринское, Можайское, Рузское и Озернинское водохранилища осуществляют компенсированное регулирование стока в створе Рублевского гидроузла. Полезная емкость водохранилищ позволяет вести многолетнее регулирование и рассчитана на двухлетний маловодный период. Назначение системы определяет особые требования к ее надежному и безопасному функционированию.

Документом, регламентирующим режимы работы МВС, в настоящее время являются «Основные положения правил использования водных ресурсов водохранилищ Москворецкой водной системы», утвержденные в 1968 г. Управление режимами осуществляет Московско-Окское бассейновое водное управление Росводресурсов (МОБВУ), где на постоянной основе действует межведомственная рабочая группа (МРГ), задачей которой является подготовка рекомендаций по режимам Москворецкой водной системы.

Специалисты Информационно-аналитического центра регистра и кадастра ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева принимают участие в работе МРГ с 2009 г., представляя к каждому заседанию свои предложения по работе гидроузлов МВС на предстоящий период регулирования и обосновывающие материалы, т. е. фактически осуществляют информационное обеспечение деятельности МРГ. Материалы и предложения готовятся с использованием программного обеспечения, входящего в систему информационного обеспечения оперативного управления водными ресурсами и противопаводковыми мероприятиями по бассейну р. Волги в части бассейна р. Москвы, системы водохранилищ – источников водоснабжения Москвы и водохранилищ водораздельного бьефа канала им. Москвы, разработанную ФГУП «Центр Регистра и Кадастра» и принятую в МОБВУ в опытную эксплуатацию в 2009 г. В 2013 г. система была формально введена в постоянную эксплуатацию. В настоящее время материалы к заседаниям МРГ готовятся при поддержке Российского научного фонда (грант №17-77-30006).

В отличие от существовавших ранее программных комплексов, которые решали небольшую часть задач по управлению МВС, например, прогноза притока с незарегулированной части бассейна [1], разработанная ФГУП «Центр Регистра и Кадастра» информационная система позволяет выполнять анализ текущей водохозяйственной и гидрологической обстановки, оценку притока воды в водохранилища и бокового притока до створа Рублевского гидроузла, расчет режимов работы водохранилищ. Период планирования принят равным одному кварталу, минимальный расчетный интервал составляет 1 сут.

При анализе гидрологической обстановки высокую эффективность показали средства ГИС. Карты агрометеорологических показателей – запасов воды в снежном покрове, глубины промерзания почвы, влагозапасов в почве

(рис. 1) – позволяют не только оценить текущую ситуацию, но и, например, найти годы с аналогичной обстановкой, что может быть использовано при прогнозировании характера развития притока на предстоящий период.

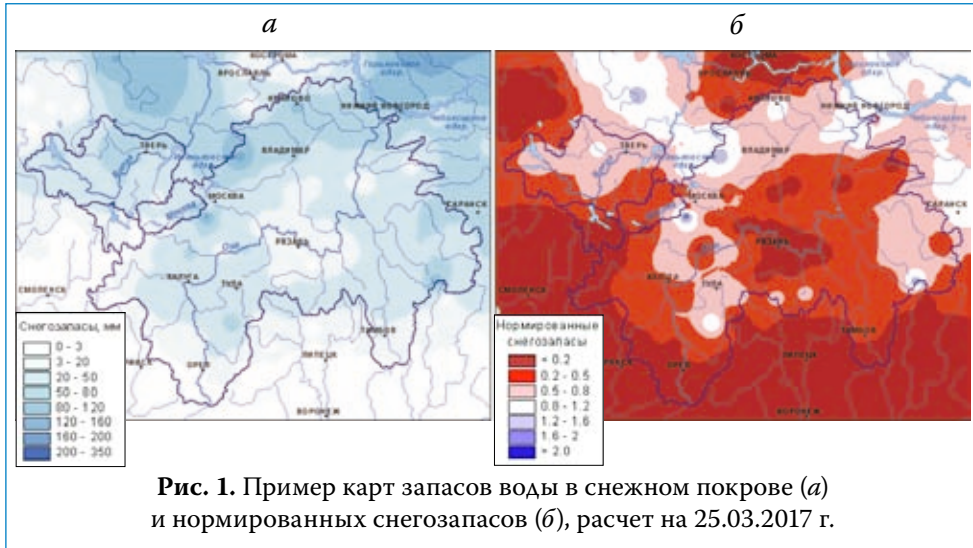


Рис. 1. Пример карт запасов воды в снежном покрове (а) и нормированных снегозапасов (б), расчет на 25.03.2017 г.

Для определения количественных характеристик притока используется программный комплекс математического моделирования формирования речного стока ЕСОМАГ [2], позволяющий получить гидрографы притока воды в водохранилища и бокового притока с незарегулированной части водосбора на основе данных об осадках, температуре и влажности воздуха. Детальная информация о модели формирования стока в бассейне Московрецейской водной системы содержится в работе [3].

По причине того что достоверные прогнозы погоды на интервал планирования режима отсутствуют (МРГ дает предложения на квартал), при оценке будущего притока используется сценарный подход. Сценарии развития притока разрабатываются путем расчетов с использованием данных о погоде прошлых лет. В настоящее время рассчитываются 17 сценариев за 2000–2016 гг. Выбор наиболее вероятного сценария является сложной задачей, для решения которой анализируется характер развития притока за предыдущий интервал регулирования. Поля агрометеорологических показателей сравниваются с аналогичными полями за прошлые годы. В весенний период есть возможность исключить сценарии погоды там, где половодье начало развиваться до даты выполнения расчетов. Следует также принимать во внимание ошибку в работе модели, т. е. расхождение между расчетными и фактическими расходами для метеоусловий текущего года.

Последние два года тестируется методика, которая должна позволить формализовать выбор сценариев. Суть методики в следующем: для каждого сценарного гидрографа определяется объем стока на предстоящий период регулирования. Диапазон полученных значений разбивается на интервалы, величина которых выбирается так, чтобы значения на границах интервала составляли $\pm 10\%$ от среднего объема на интервале (для i -го интервала объемы на нижней (w_{i-1}) и верхней (w_i) границах связаны отношением $w_i = 1,1 \cdot w_{i-1} / 0,9$). Определяется количество попавших в каждый интервал объемов (N) и строится гистограмма плотности распределения. Интервал, в который попало наибольшее количество сценариев, принимается как наиболее вероятный. Соответственно, сценарий притока для дальнейших расчетов принимается из тех, что попали в выбранный интервал.

Для весеннего половодья, когда сток во многом определяется текущим состоянием водосбора (снегозапасами, промерзанием почвы и др.), тестируемая методика дает хороший результат. Например, по выполненным в конце марта 2017 г. расчетам было получено, что наиболее вероятный суммарный приток воды в МВС (до створа Рублевского гидроузла) за половодье составит 644–787 млн м³ (рис. 2). В этот интервал попадали сценарии, рассчитанные по погоде 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2010, 2012, 2014 гг. Из них в качестве расчетного был выбран сценарий 2014 г. Основанием для такого выбора стали предпосылки, что гидрограф предстоящего половодья будет иметь несколько распластанных волн, как это было в 2014 г. По результатам половодья 2017 г. суммарный приток в МВС (с 11 марта по 10 мая) составил 742 млн м³, т. е. попал в наиболее вероятный диапазон. Подтвердилось и предположение о многопиковом характере половодья.

При оценке стока в период межени результаты использования методики не всегда дают положительный результат. Это связано с тем, что при выборе наиболее вероятного притока исключаются самые маловодные и самые многоводные сценарии. При фактических погодных условиях, значительно отличающихся от нормы, возникает существенная ошибка в оценке притока. Так произошло в третьем квартале 2017 г. По результатам расчетов приток в МВС ожидался в интервале от 170 до 210 млн м³, однако уже в июле он превысил 250 млн м³ (наибольшее значение за весь период эксплуатации системы с 1967 г.). По итогам квартала приток в водохранилища составил 416 млн м³, т. е. почти в два раза превысил верхнюю границу ожидаемого интервала.

Самый простой способ повысить точность оценки притока – выполнять расчеты чаще. Как показывает практика, в период половодья желательно производить расчеты 1 раз в пятидневку, в межень – 1 раз в декаду. Периодичность, с которой расчеты выполняются сейчас, – один раз в квартал – не позволяет в полной мере учитывать текущее развитие гидрологической обстановки и корректировать ошибки, обусловленные неточностью работы модели.

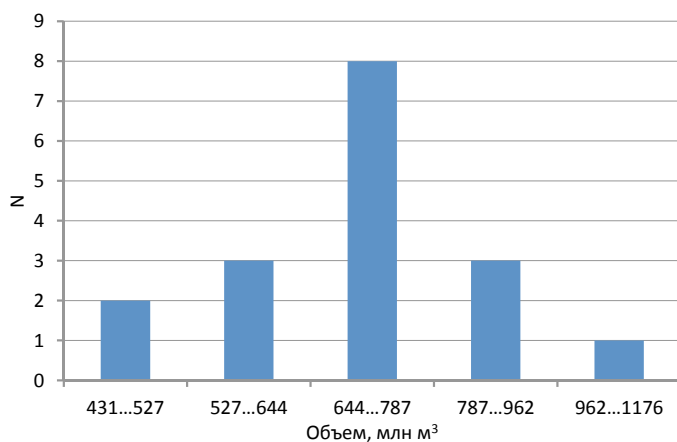


Рис. 2. Плотность распределения расчетных объемов притока в водохранилища Москворецкой водной системы за первое полугодие 2017 г.

Основой для формирования предложений по режимам работы системы на предстоящий период регулирования являются результаты водохозяйственных расчетов, которые проводятся на имитационной модели функционирования МВС, разработанной на базе программного комплекса VOLPOW [2]. Для ввода параметров и обработки результатов расчетов разработана современная графическая оболочка.

Модель включает пять водохранилищ, входящих непосредственно в Москворецкую водную систему, три водохранилища Вазузской гидротехнической системы (Вазузское, Яузское и Верхнерузское), Карамышевское водохранилище на р. Москве, а также участки рек Москвы, Рузы, Озерны, Истры (рис. 3), всего – 16 участков. На вход модели подаются сценарные гидрографы притока, на выходе получаем показатели работы гидроузлов: сброс, уровни воды в верхнем и нижнем бьефе, напор, мощность и выработку электроэнергии на ГЭС.

Режимы работы гидроузлов назначаются на основе диспетчерских графиков из «Основных положений правил...», утвержденных в 1968 г.: при уровнях воды, соответствующих зоне гарантированной отдачи, водохранилища осуществляют компенсированное регулирование стока, в зоне повышенной отдачи сброс увеличивается до пропускной способности ГЭС. Разработанные в середине прошлого века правила не могут в полной мере соответствовать современному состоянию МВС и требованиям водопользователей, поэтому отдача гидроузлов корректируется в соответствии с реальной величиной забора воды в створе Рублевского гидроузла и другими ограничениями, например, связанными с качеством воды («цветение» в водохранилищах).

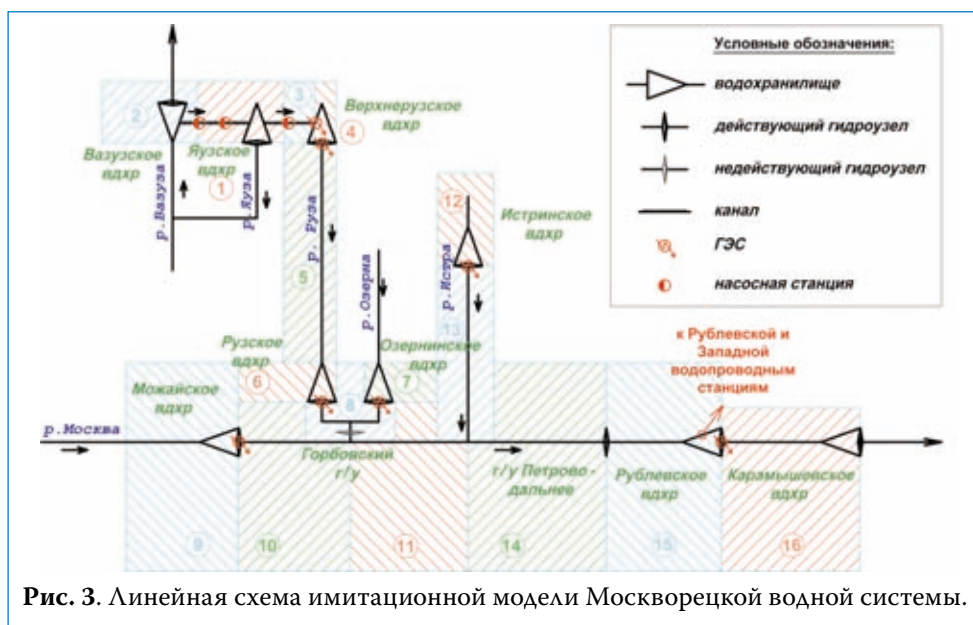


Рис. 3. Линейная схема имитационной модели Московцевой водной системы.

Предложенные режимы работы водохранилищ МВС реализуются далеко не всегда. Например, на рис. 4 представлены расчеты суммарного полезного объема водохранилищ МВС, выполненные к заседаниям межрегиональной рабочей группы 28 марта, 26 июня и 27 сентября 2017 г., и фактический объем воды в водохранилищах. Очевидно, что если до конца сентября траектории расчетного и фактического режимов были близки, а в некоторые периоды совпадали, то с октября они стали разнонаправленными.

Причин несоответствия между предложенными и реализованными режимами несколько. Отметим два важных объективных фактора. Первый, как и при оценке притока, – слишком большой интервал планирования, равный кварталу. На результатах водохозяйственных расчетов сказываются описанные выше ошибки в оценке притока и невозможность в существующих условиях неопределенности установить величину водопотребления и ограничения на сбросы из водохранилищ на столь длительный период.

Вторая причина – отсутствие утвержденных современных правил использования водных ресурсов. Диспетчерские графики, представленные в действующих правилах, не соответствуют существующему объему и режиму забора воды на водоснабжение Москвы, не учитывают существование Вазузской гидротехнической системы, изменившийся состав и пропускную способность гидроузлов. Требуется как корректировка отдачи водохранилищ, так и границ режимных зон. Проект правил, разработанный специалистами «Рыбхозассоциации» в 2011–2012 гг., до настоящего времени не утвержден.



В отсутствие современных правил режимы зачастую назначаются, сообразуясь с текущей конъюнктурой: создать побольше запас воды на межень, уменьшить сбросы для снижения уровней воды ниже гидроузла в период паводка, оставить в водохранилище запас «противопаводковой» емкости.

Повысить эффективность информационного обеспечения и качество планирования режимов МВС можно, для этого необходимо восстановить работу уже внедренной в МОБВУ информационной системы. Для чего необходимы базы данных метеорологической информации, их регулярное пополнение, обновление программного обеспечения, дополнительное обучение работников. Реализация полного комплекса мероприятий позволит осуществлять гидрологические и водохозяйственные расчеты на регулярной основе.

ВЫВОДЫ

Опыт подготовки предложений по режимам работы гидроузлов и расчетного обоснования к ним, включающего анализ текущей гидрологической и водохозяйственной обстановки, оценку притока воды, результаты водохозяйственных расчетов, показал, что такая форма информационного обеспечения является крайне важным инструментом при назначении режимов сработки и наполнения водохранилищ Москворецкой водной системы.

Для планирования режимов сработки и наполнения водохранилищ используется детализированная имитационная модель, разработанная на базе программного комплекса VOLPOW, которая состоит из 16 расчетных

участков: пяти водохранилищ Москворецкой водной системы, трех водохранилищ Вазузской гидротехнической системы, Карамышевского водохранилища на р. Москве, а также безподпорных участков рек Москва, Руза, Озерна, Истра. Модель позволяет также осуществлять расчет компенсированного регулирования стока в створе Рублевского гидроузла.

Для оценки наиболее вероятного диапазона притока воды в водохранилища предложена методика, основанная на сценарных расчетах с помощью разработанной на основе программного комплекса ЕСОМАГ гидрологической модели. По погоде прошлых лет рассчитываются гидрографы ежедневных расходов притока, определяется их объем и строится гистограмма распределения. В качестве наиболее вероятного выбирается диапазон объемов притока, в который попадает наибольшее количество сценариев. Для периода половодья методика дает хорошие результаты, весной 2016 г. и 2017 г. оценки притока были близки к фактическим значениям.

Использование математических моделей для поддержки принятия решений при управлении водохозяйственными системами комплексного назначения является общепринятым подходом среди специалистов по водному хозяйству [4], комплекс моделей, разработанных для Москворецкой водной системы, по своему функционалу и детализации соответствует современному мировому уровню. При этом существует необходимость совершенствования как самих моделей, так и порядка их взаимодействия.

Для повышения эффективности информационного обеспечения гидрологические и водохозяйственные расчеты необходимо проводить на регулярной основе. Периодичность расчетов должна, как минимум, соответствовать интервалам регулирования, установленным «Методическими указаниями ...» [5]: в период половодья 1 раз в декаду, в период межени – 1 раз в месяц, в отличие от сложившейся в настоящее время периодичности – 1 раз в квартал. Для этого необходимо восстановить функционирование, внедренной в 2009 г. в МОБВУ системы информационного обеспечения оперативного управления водными ресурсами и противопаводковыми мероприятиями по бассейну р. Волги в части бассейна р. Москвы, системы водохранилищ – источников водоснабжения Москвы и водохранилищ водораздельного бьефа канала им. Москвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И., Жук В.А., Печникова О.В., Полянин В.О., Фролова Н.Л. Программно-информационное обеспечение задач повышения надежности водоснабжения столицы из москворецкого водоисточника // Гидроэкология: теория и практика (Проблемы гидрологии и гидроэкологии. Вып. 2) / под редакцией Н.И. Алексеевского. М.: Географ. факультет, 2004. С. 454–467.

2. Беднарук С.Е., Мотовилов Ю.Г. Технология информационной поддержки при управлении каскадами водохранилищ // Гидротехническое строительство. 2017. № 7. С. 22–35.
3. Антохина Е.Н., Жук В.А. Применение ИМК ЕСОМАГ для моделирования стока воды с различных по площади водосборов // Водное хозяйство России. 2011. № 4. С. 17–32.
4. *Simonovic, S.P.* Managing Water Resources: Methods and Tools for a System Approach, UNESCO Publishing, London, Sterling, VA, 2009. 640 p.
5. «Методические указания по разработке правил использования водохранилищ»: утв. Приказом Минприроды России от 26.01.2011. № 17.

Сведения об авторах:

Дильман Наталья Александровна, главный инженер проекта, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; младший научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных проблем РАН», Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: natdilman@vodinfo.ru

Мастрюкова Алина Валерьевна, главный инженер проекта, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; младший научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных проблем РАН», Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: alina@vodinfo.ru

Чуканов Виталий Викторович, канд. техн. наук, заместитель начальника Информационно-аналитического центра регистра и кадастра, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных проблем РАН», Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: 4yk@vodinfo.ru