ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-36

WATER RESOURCES MANAGEMENT MODEL
OF THE TSIMLYAN RESERVOIRA. D. Akhmedov¹, E. A. Vetrenko², I. N. Kolotukhina¹¹Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia²Russian University of Technology MIRE, Moscow, Russia

Received 28.09.2019

Submitted 06.02.2020

Summary

The article presents the results of modeling the water resources management of the Tsimlyansk reservoir. Based on the results of the data obtained, an equation is drawn up and a simulation model of the water balance management of the reservoir is presented in the form of a block diagram. The data obtained, depending on the replenishment condition, the water supply in the reservoir can be recommended for use as a source material when solving the water balance equation.

Abstract

Relevance. The article presents materials on simulation modeling of the Tsimlyansk reservoir. Meteorological and anthropogenic factors are identified that affect the low water level of the Tsimlyansk reservoir and the amount of water reserve. The last hydrological years, according to the water content of the Tsimlyansk reservoir, which were characterized as low-water, are considered. The data of the actual inflow of water into the Tsimlyansk reservoir and discharge into the lower pool are analyzed. The materials of safe water use in conditions of low water, the characteristics of the restoration of water bodies after dry periods are studied. **Object.** The object of research is the water balance of the Tsimlyansk reservoir. **Materials and methods.** The studies were conducted directly on the territory of the Tsimlyansk reservoir. The study is based on observations of Roshydromet over the level regime of the Tsimlyansk reservoir at water meter posts during 1954-2015 years. **Results and conclusions.** In the course of the study, knowing the annual supply of water in the Tsimlyansk reservoir, we proposed a number of formulas that make it possible to determine how this stock will change over five years under the influence of various factors. Analyzing the water balance of the Tsimlyansk reservoir for 1980-2015 years, it can be noted that the incoming part of the water balance is 19764 million m³/year. It is dominated by tributaries along the river, Don, which is 17600 million m³/year. The second position is occupied by precipitation, and they amount to 1100 million m³/year. In the consumable part, the volume of flow through the turbines of the hydroelectric power station was at the level of 12800 million m³/year, and the volume of water for the needs of industrial and agricultural enterprises was 2301 million m³/year. Moreover, evaporation amounted to 1920 million m³/year. After analyzing the accumulation and discrepancy, it can be noted that they respectively amounted to 1786 and 980 million m³/year. Analysis of the long-term average data of water management balances allows us to note that over the past 20 years there has been a sharp decrease in wastewater discharge into the reservoir and water withdrawal for domestic and drinking water supply. The reasons for this are the reduction in industrial production, and the reorganization in the field of housing and communal services. A negative tendency for an increase in water evaporation from the reservoir surface was noted. Despite the fact that the area of its water mirror slightly decreased during operation (2702 km² in 1952 year and 2624 km² in 2012 year), the proportion of water evaporating from the surface in relation to the incoming part of the balance has increased one and a half times over the past 20 years. In combination with the low water availability of the Tsimlyansk reservoir location area, this fact can further contribute to increasing the tension in the water balance of the reservoir. In this case, knowing all the water flow in the Tsimlyansk reservoir, and solving the water balance equations depending on the replenishment condition, you can calculate the water supply in this reservoir. Further, knowing the supply of water, we can determine between consumers how these stocks are changing. Based on the results of the data obtained, an equation is drawn up and a simulation model of the water balance management of the reservoir is presented in the form of a block diagram.

Key words: *Tsimlyansk reservoir, level regime, water supply, water balance equation, simulation.*

Citation. Akhmedov A.D., Vetrenko E. A., Kolotukhina I. N. Water resources management Model of the Tsimlyansk reservoir. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 1(57). 368-380 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-36.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 627.81(282.247.363.6)

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А. Д. Ахмедов¹, доктор технических наук, профессор

Е. А. Ветренко², кандидат технических наук, доцент

И. Н. Колотухина¹, соискатель

¹Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

²Российский технологический университет МИРЭА, г. Москва, Россия

Дата поступления в редакцию 28.09.2019

Дата принятия к печати 06.02.2020

Актуальность. В статье изложены материалы по имитационному моделированию Цимлянского водохранилища. Выделены метеорологические и антропогенные факторы, влияющие на маловодность Цимлянского водохранилища, на величину запаса воды. Рассмотрены последние гидрологические годы по водности Цимлянского водохранилища, которые характеризовались как маловодные. Проанализированы данные фактического притока воды в Цимлянское водохранилище и попуска в нижний бьеф. Изучены материалы безопасного водопользования в условиях маловодий, особенностей восстановления водных объектов после маловодных периодов. **Объект.** Объектом исследований является водный баланс Цимлянского водохранилища. **Материалы и методы.** Исследования проводились непосредственно на территории Цимлянского водохранилища. Исследование основано на материалах наблюдений Росгидромета за уровненным режимом Цимлянского водохранилища на водомерных постах в течение 1954-2015 гг. **Результаты и выводы.** В ходе исследования, зная годовой запас воды в Цимлянском водохранилище, мы предложили ряд формул, который дает возможности определить, каким образом будет изменяться это запас в течение пяти лет под влиянием различных факторов. Анализируя водный баланс Цимлянского водохранилища за 1980-2015 гг., можно отметить, что приходная часть водного баланса составляет 19 764 млн м³/год. В ней преобладают притоки по р. Дон, которые составляют 17 600 млн м³/год. Вторую позицию занимают осадки, которые составляют 1100 млн м³/год. В расходной части объем стока через турбины ГЭС находился на уровне 12 800 млн м³/год, а объем воды для нужд промышленных и сельскохозяйственных предприятий – 2301 млн м³/год. При этом испарение составило 1920 млн м³/год. Проанализировав аккумуляцию и невязку, можно отметить, что они соответственно составили 1786 и 980 млн м³/год. Анализ среднесезонных данных водохозяйственных балансов позволяет отметить, что за последние 20 лет произошло резкое уменьшение сброса сточных вод в водохранилище и забора воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Причиной этого являются сокращение объемов промышленного производства и реорганизация в сфере ЖКХ. Отмечена негативная тенденция увеличения испарения воды с поверхности водохранилища. Несмотря на то что площадь его водного зеркала незначительно уменьшилась за время эксплуатации (2702 км² в 1952 г. и 2624 км² в 2012 г.), доля испаряющейся с поверхности воды по отношению к приходной части баланса возросла за последние 20 лет в полтора раза. В сочетании с низкой водообеспеченностью области расположения Цимлянского водохранилища этот факт может в дальнейшем способствовать повышению напряженности водохозяйственного баланса водохранилища. При этом, зная все расходы воды в Цимлянском водохранилище и решая уравнения

водного баланса в зависимости от условия пополнения, можно вычислить запас воды в данном водохранилище. Далее, зная запас воды, определяем между потребителями, каким образом эти запасы изменяются. По результатам полученных данных составлено уравнение и представлена имитационная модель управления водного баланса водохранилища в виде блок-схемы.

Ключевые слова: Цимлянское водохранилище, уровненный режим, запасы воды, уравнение водного баланса, имитационное моделирование.

Цитирование. Ахмедов А. Д., Ветренко Е. А., Колотухина И. Н. Модель управления водными ресурсами Цимлянского водохранилища. *Известия НВ АУК*. 2020. 1(57). 368-380. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-36.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время с изменением климатических условий многолетняя и внутригодовая изменчивость речного стока в различных регионах России в первую очередь создает затруднения в обеспечении населения необходимым количеством воды. При этом в большинстве регионов РФ одной из главных проблем являются большие паводки, в результате которых затапливаются населенные пункты, выходят из оборота огромные площади земель сельскохозяйственного назначения. Главным образом это можно отнести к почвам бассейна реки Дон. В зависимости от количества паводков и половодья прилегающие территории бассейна реки Дон периодически затапливаются. Поэтому в данной зоне повышается риск возникновения чрезвычайных ситуаций. При этом в основном страдают те объекты (объекты промышленности и сельского хозяйства, значительная часть населенных пунктов, зоны рекреации), которые расположены на прибрежных территориях водохранилища. Следовательно, в таких ситуациях ущерб, причиненный экономике регионов, составляет более миллиарда рублей. В связи с этим является актуальной проблема прогнозирования запаса воды в Цимлянском водохранилище [1, 2, 9, 11, 12].

Материалы и методы. Исследование основано на материалах наблюдений Росгидромета за уровненным режимом Цимлянского водохранилища на водомерных постах в течение 1954-2015 гг. Использовались многолетние наблюдения федерального государственного бюджетного учреждения «Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища» за водоохранной зоной Цимлянского водохранилища, материалы федерального бюджетного учреждения «Администрация Волго-Донского бассейна внутренних водных путей», Цимлянской гидрометеорологической обсерватории, гидрологической станции г. Калач-на-Дону.

Впервые с момента эксплуатации Цимлянского водохранилища разработано имитационное моделирование водохранилища, в связи с оценкой воздействия изменения климата на региональное водопользование, выделены факторы, влияющие на величину запаса воды в водохранилище [6].

Последние гидрологические годы, по водности Цимлянского водохранилища, характеризовались как маловодные.

К факторам маловодий относится продолжительное сохранение жаркой сухой погоды, вследствие чего происходит снижение уровня запасов воды в водоносных горизонтах, водохранилищах, озерах, реках и иссушение верхнего слоя почвы. В их число входят также разные виды антропогенных нагрузок на водные объекты, связанные с водозабором и сопутствующими безвозвратными потерями стока. При ведущей роли метеорологических факторов в изменении водных ресурсов экстремальный сток в зна-

чительной мере зависит от типа почв, растительности, рельефа, геологических и литологических особенностей водосборных территорий. Это обуславливает существенную пространственную изменчивость характеристик минимального стока, вероятности формирования маловодных периодов.

Результаты и обсуждение. Фактический приток воды в Цимлянском водохранилище за 2014 г. составил $14,1 \text{ км}^3$ воды, из него $6,06 \text{ км}^3$ приходится на долю весеннего стока. Сбросные максимальные расходы в нижний бьеф водохранилища за месяц не превышали $388 \text{ м}^3/\text{сек}$. Наибольший расход воды в период весеннего половодья – $1020 \text{ м}^3/\text{с}$. Попуск в нижний бьеф за 2014 г. составил $10,9 \text{ км}^3$, в том числе ГЭС – 10 км^3 , фильтрация – $0,8 \text{ км}^3$, шлюзование – $0,1 \text{ км}^3$. Ирригация – $1,8 \text{ км}^3$. Потери на испарение из Цимлянского водохранилища – до $2,1 \text{ км}^3$ [3, 7, 8].

Приток воды в водохранилище в период весеннего половодья за 2015 г. составил $4,34 \text{ км}^3$ воды. Наибольший расход воды в период весеннего половодья – $767 \text{ м}^3/\text{с}$. Попуск в нижний бьеф за 2015 г. составил $7,0 \text{ км}^3$, в том числе ГЭС – $6,3 \text{ км}^3$, фильтрация – $0,6 \text{ км}^3$, шлюзование – $0,1 \text{ км}^3$. Ирригация – $1,3 \text{ км}^3$ [4, 5, 7].

Возникающий в период маловодий возможный дефицит водных ресурсов оценивается на основе показателей водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы.

В маловодные периоды, сопровождающиеся снижением уровня воды в водохранилищах, обязательна организация наблюдений за санитарным состоянием обсыхающего ложа с целью предотвращения его антропогенного загрязнения. Предотвратить развитие сорных и прибрежно-водных травянистых растений на таком участке практически невозможно, а предотвратить антропогенное воздействие есть все условия [5, 9].

Учитывая вышеизложенное, анализируем некоторые хозяйственные нужды Волгоградской области. В нашем случае можно создать и управлять запасами пресной воды, которые в течение 5 лет могли бы полностью удовлетворять возникающие хозяйственные потребности. Для этого идеально подходит Цимлянское водохранилище, так как оно обладает этими запасами воды.

Решая данную задачу, в первую очередь необходимо определить, каким образом в течение t времени в Цимлянском водохранилище будет изменяться величина запаса воды X^t и какие факторы при этом будут влиять на величину этого запаса (рисунок 1).

При этом необходимо соблюдать следующие условия: во-первых, в водохранилище запас воды не должен быть меньше минимальной величины ($X_{\min}$) и, во-вторых, запас воды не должен быть больше, чем объем водохранилища (V). Будем учитывать, что между потребителями ($S_{\text{с.-х.}}^t$ и $S_{\text{к/в.}}^t$) расходование воды производится пропорционально равным.

Рисунок 1 – Основные факторы, влияющие на величину запаса воды (X^t) в Цимлянском водохранилище

Figure 1 – The Main factors affecting the value of the water supply (X^t) in Tsimlyansk reservoir

Допустим, нам известны данные о тех факторов, которые за предыдущие 20 лет влияли на величину запаса воды в водохранилище. Зная, что в ближайшие 5 лет величины PR^t , PO^t и PB^t в любой интервал времени t будут почти идентично изменяться, как в предыдущие 20 лет, и в соответствующие моменты времени будут равняться среднему значению, то тогда получим следующие уравнения в виде:

$$PR^t(T) = PR^t = \frac{1}{20} \sum_{t=1}^{20} PR^t(t)$$

$$PB^t(T) = PB^t = \frac{1}{20} \sum_{t=1}^{20} PB^t(t)$$

$$PO^t(T) = PO^t = \frac{1}{20} \sum_{t=1}^{20} PO^t(t)$$

где $T = 21, 22, 23, 24, 25$.

Здесь необходимо учитывать, что величины PO^t , PR^t , PB^t являются детерминированными, поэтому их изменяющиеся значения в течение года можно определить по имеющимся за 20 лет данным.

Учитываем, что величины PR^t , PB^t и PO^t носят случайный характер. Поэтому для определения этих величин необходимо по известному ряду наблюдений в начале построить функции распределения случайных величин, а затем по закону распределения в течение 5 лет задавать случайным образом значения соответствующих величин, т.е. необходимо применять статистические методы. При этом данную задачу можно решать двумя способами: 1) используя генерирования случайных чисел; 2) по известным рядам наблюдения. По второму способу необходимо построить функции в виде:

$$PR^t(T) = f_r(I) + U_{Rt};$$

$$PB^t(T) = f_B(I) + U_{Bt};$$

$$PO^t(T) = f_O(I) + U_{Ot},$$

где f_R, f_B, f_O – детерминированные или систематические составляющие речного стока, боковой приточности и осадков, зависящие от времени T ; U_{Rt}, U_{Bt}, U_{Ot} – случайные составляющие, не зависящие от времени T .

Предположим, что переменные PO^t, PR^t, PB^t и величины U_{Rt}, U_{Bt}, U_{Ot} распределены равномерно. При этом на заданном отрезке времени, используя генерирование равномерно распределенных случайных чисел, можно получать прогнозные значения этих величин.

Для прогнозирования объема воды в водохранилище необходимо подробно проанализировать процессы расходования воды в водохранилище. Одним из них является испарение (PU^t), которое зависит от дефицита влажности воздуха, скорости ветра, температуры воды и воздуха и т.п. Зная, что для этих факторов имеются 20-летние ряды наблюдений, то для определения величины PU^t необходимо составить эту зависимость. Следовательно, для простоты необходимо определить один наиболее существенный фактор, которым является дефицит влажности воздуха (D^t). Предположим, что величина PU^t прямо пропорциональна величине D^t , то тогда получим:

$$RU^t = \alpha D^t,$$

где α – эмпирический коэффициент пропорциональности.

Учитывая, что величина объёма воды, профильтровавшейся в нижнем створе водохранилища ($R\Phi^t$), в основном зависит от типа грунтов, его подстилающих, и в момент времени t соответствует $R\Phi^t$, также не измеряется. Зная, что величина $R\Phi^t$ прямо пропорциональна величине X^t , получаем:

$$R\Phi^t = kX^t,$$

где k – коэффициент пропорциональности, соответствующий определённому типу грунта.

Предположим, что расход воды через плотину (RP^t) и величина потребности сельскохозяйственного ($Z_{с.-х.}^t$) и коммунального ($Z_{к/в}^t$) водоснабжения являются регулируемые или управляемые. Учитывая все это, можно отметить, что величина RP^t задаётся в каждый момент времени в зависимости от запаса воды в водохранилище. Для получения решения необходимо упростить условия, чтобы она удовлетворяла:

$$RP^t = \begin{cases} X^{Ot} - V_{\text{для } X^t \leq V} \\ \text{для } X^t > V \end{cases}$$

Таким образом, в основном в результате запросов на воду со стороны потребителей $S_t^{с.-х.}, S_t^{к/в}$ и в зависимости от объёма воды в водохранилище формируется величина потребности коммунального ($Z_{к/в}^t$) и сельскохозяйственного ($Z_{с.-х.}^t$) водоснабжения.

В ходе исследования нами рассмотрены основные факторы, влияющие на величину формирования запаса воды в Цимлянском водохранилище и стратегии распределения этого запаса между потребителями. Анализируя ряд источников, можем отметить, что в каждый исследуемый интервал времени запас воды увеличивается на величину «расхода», т.е. сохраняется баланс [6]. Учитывая закон сохранения массы воды, можем получить уравнение водного баланса:

$$X^{t+\Delta t} = X^t + P^t - y^t,$$

где

$$\begin{aligned} \Pi^t &= PR^t + PB^t + PO^t \\ y^t &= RU^t + R\Phi^t + R\Pi^t + Z^t \\ Z^t &= Z_{с.-х.}^t + Z_{к/в.}^t \end{aligned}$$

В целом, учитывая условия пополнения и расходования запаса воды и решая уравнение водного баланса в каждый момент времени t в Цимлянском водохранилище, можно определить запас воды. Для всестороннего расчёта в автоматическом режиме необходимо использовать программный комплекс, который представляет собой имитационную модель водохранилища (рисунок 2). Анализируя блок-схему имитационной модели водохранилища, можно отметить, что в особых комментариях первые три блока не нуждаются. Четвертый блок осуществляет прогнозные значения внешних факторов с шагом в один месяц по заданным временным рядам. Пятый блок необходимо для прогнозного вычисления количества воды, профильтровавшейся и испарившейся из водохранилища.

Рисунок 2 – Блок-схема имитационной модели водохранилища

Figure 2 – Block diagram of the simulation model of the reservoir

Для вычисления запаса воды в водохранилище используется блок «Водный баланс I». При этом не должно происходить антропогенных процессов использования воды. В седьмом блоке генерируется количество потребляемой воды в данном месяце в коммунальном водоснабжении и сельском хозяйстве.

Блок «Водный баланс II» осуществляет коррекцию результатов работы шестого блока, при этом учитывается наличие антропогенных процессов. В блоке «Печать» выдается значение всех расходов и приходов воды за месяц. Кроме того, учитывается запас воды, который находится в водохранилище в данном месяце. Таким образом, происходит переход к следующему месяцу, в том же порядке повторяется работа всех блоков [6, 9].

Анализируя водный баланс Цимлянского водохранилища за 1980-2015 гг., можно отметить, что приходная части водного баланса составляет 19 764 млн м³/год. В ней

преобладают притоки по р. Дон, которые составляют 17 600 млн м³/год. Вторую позицию занимают осадки, и они составляют 1100 млн м³/год (таблица 1).

Таблица 1 – Средние показатели водного баланса Цимлянского водохранилища за 1980-2015 гг., млн м³/год

Table 1 – Average water balance of the Tsimlyansk reservoir for 1980-2015, million m³/year

Водный баланс за 1980-2015 гг., млн м ³ /год / Water balance for 1980-2015, mln m ³ /year	
Приходная часть / Parish	
Приток по р. Дон / Tributary of the don river	17600
Боковой приток / Lateral inflow	922
Осадки / Rainfall	1100
Сбросы предприятий / Discharges of enterprises	14
Сбросы ГТС / Discharges hydraulic networks	126
Итого / Subtotal	19764
Расходная часть / Expenditure part	
Сток через турбины ГЭС / The flow through the turbines of hydroelectric power plants	12800
Шлюзование / Locking	166
Фильтрация / Filtration	900
Промышленные и с.-х. предприятия / Industrial and agricultural enterprises	2301
Канал Волго-Дон / Volga-Don Canal	403
Испарение / Evaporation	1920
Итого / Subtotal	18490
Аккумуляция / Accumulation	1786
Невязка / Discrepancy	980

Рисунок 3 – Изменение во времени невязка водного баланса Цимлянского водохранилища

Figure 3 – Time change residual water balance of Tsimlyansk reservoir

В расходной части сформировалась следующая ситуация: здесь объем стока через турбины ГЭС находился на уровне 12 800 млн м³/год, а для нужды промышленных и сельскохозяйственных предприятий необходимо 2301 млн м³/год воды. При этом испарение составило 1920 млн м³/год. Проанализировав аккумуляцию и невязку, можно отметить, что они составили 1786 и 980 млн м³/год, соответственно.

График невязки водного баланса Цимлянского водохранилища за 1980-2015 гг. предоставлен на рисунке 3.

Учитывая, что водные ресурсы Цимлянского водохранилища используются для различных целей, анализируем среднесноголетний укрупненный водохозяйственный баланс Цимлянского водохранилища, который приведен на рисунках 4-6.

Рисунок 4 – Приходная часть водохозяйственного баланса Цимлянского водохранилища:
1 – приточность к водохранилищу; 2 – подземные воды, несвязанные с поверхностным стоком;
3 – возвратные воды на участке

Figure 4 – Input part of the water balance of the Tsimlyansk reservoir:
1 – Inflow to the reservoir; 2 – Groundwater not associated with surface runoff;
3 – Return water on the site

Рисунок 5 – Расходная часть водохозяйственного баланса Цимлянского водохранилища:
1 – коммунально-бытовое водоснабжение; 2 – промышленное водоснабжение; 3 – сельское хозяйство; 4 – рыбное хозяйство; 5 – потери в прудах и водохранилищах; 6 – шлюзование Волго-Донского судоходного канала (ВДСК); 7 – Донской магистральный канал (ДМК)

Figure 5 – Expenditure part of the water balance of the Tsimlyansk reservoir:
1 – Municipal water supply; 2 – Industrial water supply; 3 – Agriculture; 4 – Fish industry;
5 – Losses in ponds and reservoirs; 6 – Locks of the Volga-don shipping channel;
7 – The don main canal

Анализ среднесноголетних данных водохозяйственных балансов позволяет отметить, что за последние 20 лет произошло резкое уменьшение сброса сточных вод в водохранилище и забора воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Причинами этого являются сокращение объемов промышленного производства и реорганизация в сфере ЖКХ.

Рисунок 6 – Среднемноголетние значения некоторых составляющих (потери, попуски, наполнение) водохозяйственного баланса Цимлянского водохранилища:

1 – суммарные потери из водохранилища (потери); 2 – поступление воды в нижний бьеф (попуски); 3 – емкость водохранилища на конец водохозяйственного года (наполнение)

Figure 6 – Long-Term average value of the article (losses, releases, filling) component of the water balance of the Tsimlyansk reservoir:

1 – total losses from the reservoir (losses); 2 – inflow of water into the downstream (releases); 3 – reservoir capacity at the end of the water year (filling)

Отмечена негативная тенденция увеличения испарения воды с поверхности водохранилища. Несмотря на то что площадь его водного зеркала незначительно уменьшилась за время эксплуатации (2702 км² в 1952 г. и 2624 км² в 2012 г.), доля испаряющейся с поверхности воды по отношению к приходной части баланса возросла за последние 20 лет в полтора раза. В сочетании с низкой водообеспеченностью области расположения Цимлянского водохранилища этот факт может в дальнейшем способствовать повышению напряженности водохозяйственного баланса водохранилища.

Выводы. Таким образом, используя имитационное моделирование можно проводить расчеты водного баланса Цимлянского водохранилища на перспективу, и благодаря этому можно иметь возможность увидеть в будущее каким образом будет изменяться запас воды в водохранилище в течение пяти лет под влиянием различных факторов. Здесь, во-первых, необходимо учитывать, что в водохранилище запас воды не должен быть меньше, чем минимальной величины (X_{min}), и во-вторых, запас воды не должен быть больше, чем объема водохранилища (V). Анализируя водный баланс Цимлянского водохранилища за 1980-2015 гг. можем отметить, что приходной части водного баланса составляет 19 764 млн м³/год. В ней преобладает приток по р. Дон, который составляет 17 600 млн м³/год. Вторую позицию занимают осадки, и они составляют 1100 млн м³/год. В расходной части объем стока через турбины ГЭС находился на уровне 12800 млн м³/год, а объем воды для нужды промышленных и сельскохозяйственных предприятий – 2301 млн м³/год. При этом испарение составило 1920 млн м³/год. Проанализировав аккумуляцию и невязку, можем отметить, что они соответственно составили 1786 и 980 млн м³/год.

Таким образом, на основании вычисления экспериментальных данных можно осуществлять необходимой выбор стратегии на практике. При этом задавая условия пополнения и зная все расходы воды в Цимлянском водохранилище, а также решая уравнения водного баланса, можем определить запас воды в данном водохранилище и как эти запасы изменяется между потребителями.

Библиографический список

1. Бугаец, В. В. Обоснование экономической эффективности природоохранных мероприятий по улучшению состояния бассейна нижнего Дона // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. С. 374-383.
2. Бугаец В. В., Савон Д. Ю. Роль эколого-экономических инструментов при рациональном использовании водных ресурсов // Экономические и гуманитарные исследования регионов. 2014. № 5. С. 65-70.
3. Дмитриева В. А. Экстремальная водность как фактор нарушения гидроэкологической безопасности в бассейне верхнего Дона // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20, № 2 (59). С. 12-18.
4. Киреева М. Б., Фролова Н. Л. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России. 2013. № 1. С. 60–76.
5. Косолапова Н. А. Водно-ресурсный потенциал развития регионов в бассейнах рек Дон и Кубань // Управление экономическими системами: электронный научный журнал . 2016. № 7 (89). С. 18-31.
6. Косолапова Н. А. Имитационное моделирование водохозяйственного баланса бассейна реки Дон // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2015. № 07-08. С. 57-64.
7. Оценка антропогенной нагрузки на водоохранную зону Цимлянского водохранилища / Л. А. Беспалова, Г. И. Скрипка, О. В. Ивлиева, Д. С. Швец // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2018. № 3. С. 69-75.
8. Оценка качества поверхностных вод бассейна реки Дон для обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса / А. К. Кулик, М. В. Власенко, В. В. Боронычев, Р. Н. Балкушкин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 126-135.
9. Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А., Ржепкин А. Ю. Информационно-технологическая модель водного баланса речного бассейна // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-6. С. 1253-1256; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35709> (дата обращения: 18.09.2019).
10. Шаврак Е. И., Шаврак Д. С., Татевосова М. Р. Вероятностно-детерминированное прогнозирование количественных характеристик водных ресурсов Цимлянского водохранилища // Глобальная ядерная безопасность. 2012. № 5 (3). С. 12 – 20.
11. The Numerical Simulation of Shallow Water: Estimation of the Roughness Coefficient on the Flood Stage / S. S. Khrapov, A. V. Pisarev, I. A. Kobelev, A. G. Zhumaliev, E. O. Agafonnikova, A. G. Losev and A. V. Khoperskov // Advances in Mechanical Engineering. Volume 2013, Article ID 787016, 11 pages.
12. Usmanov S., Mitani Y., and Kusuda T. An Integrated Hydrological Model for Water Balance Estimation in the Chirchik River Basin, Northern Uzbekistan // Computational Water, Energy, and Environmental Engineering. 2016. № 5. P. 87-97.

Conclusions. Thus, using simulation modeling, it is possible to calculate the water balance of the Tsimlyansk reservoir for the future, and thanks to this, it will be possible to see in the future how the water supply in the reservoir will change over five years under the influence of various factors. Here, first, it is necessary to take into account that the water supply in the reservoir should not be less than the minimum value ($X_{\min}$), and secondly, the water supply should not be more than the volume of the reservoir (V). Analyzing the water balance of the Tsimlyansk reservoir for 1980-2015 years. it can be noted that the incoming part of the water balance is 19764 million m^3 /year. It is dominated by tributaries along the river. Don, which is 17600 million m^3 /year. The second position is occupied by precipitation, and they amount to 1100 million m^3 /year. In the consumable part, the volume of flow through the turbines of the hydroelectric power station was at the level of 12800 million m^3 /year, and the volume of water for the needs of industrial and agricultural enterprises was 2301 million

m³/year. Moreover, evaporation amounted to 1920 million m³/year. After analyzing the accumulation and discrepancy, it can be noted that they respectively amounted to 1786 and 980 million m³/year. Thus, based on the calculation of experimental data, it is possible to make the necessary choice of strategy in practice. At the same time, setting the conditions for replenishment and knowing all the water consumption in the Tsimlyansk reservoir, as well as solving the water balance equations, it is possible to determine the water supply in this reservoir, how these stocks change between consumers.

References

1. Bugayets, V. V. Justification of the economic efficiency of environmental measures to improve the condition of the Lower Don Basin // Mountain Information and Analytical Bulletin. 2016. N 7. P. 374-383.
2. Bugayets V.V., Savon D. Yu. The role of environmental and economic instruments in the rational use of water resources // Economic and humanitarian studies of regions. 2014. N 5. P. 65-70.
3. Dmitrieva V. A. Extreme water availability as a factor of violation of hydroecological safety in the upper Don basin // Arid ecosystems. 2014. V. 20. N 2 (59). P. 12-18.
4. Kireeva M. B., Frolova N. L. Modern features of the spring flood of the rivers of the Don basin // Water economy of Russia. 2013. N 1. P. 60–76.
5. Kosolapova N. A. Water-resource potential of regional development in the Don and Kuban river basins // Management of economic systems: electronic scientific journal. 2016. N 7 (89). P. 18-31.
6. Kosolapova N. A. Simulation of the water balance of the Don River Basin // Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Economics and Law. 2015. N 07-08. P. 57-64.
7. Assessment of the anthropogenic load on the water protection zone of the Tsimlyansk reservoir / L. A. Bepalova, G. I. Violin, O. V. Ivlieva, D. S. Shvets // News of Universities. North Caucasus region. Natural Sciences. 2018. N 3. P. 69-75.
8. Assessment of the quality of surface waters of the Don River Basin to ensure the sustainable functioning of the water management complex / A. K. Kulik, M. V. Vlasenko, V. V. Borodychev, R. N. Balkushkin // Bulletin of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2019. N 2 (54). P. 126 - 135.
9. Pozdeev A. G., Kuznetsova Yu. A., Rzhepkina A. Yu. Information-technological model of the water balance of the river basin // Fundamental Research. 2014. N 11-6. P. 1253-1256; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35709> (accessed September 18, 2019).
10. Shavrak E. I., Shavrak D. S., Tatevosova M. R. Probabilistic-determinate forecasting of quantitative characteristics of water resources of the Tsimlyansk reservoir // Global Nuclear Safety. 2012. N 5 (3). P. 12-20.
11. The Numerical Simulation of Shallow Water: Estimation of the Roughness Coefficient on the Flood Stage / S. S. Khrapov, A. V. Pisarev, I. A. Kobelev, A. G. Zhumaliev, E. O. Agafonnikova, A. G. Losev, A. V. Khoperskov // Advances in Mechanical Engineering. Volume 2013, Article ID 787016, 11 pages.
12. Usmanov S., Mitani Y., Kusuda T. An Integrated Hydrological Model for Water Balance Estimation in the Chirchik River Basin, Northern Uzbekistan // Computational Water, Energy, and Environmental Engineering. 2016. № 5. P. 87-97.

Authors Information

Ahmedov Askar Dzhangir oglu, professor, Volgograd State Agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetsky pr. 26) Doctor of Technical Sciences, professor, askar-5@mail.ru
Vetrenko Ekaterina Aleksandrovna, Associate Professor, "Russian Technological University of MIREA" (Russia, 119454, Central Federal District, Moscow, 78, Vernadsky Prospekt) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, zkafedra@mail.ru
Kolotukhina Irina Nikolaevna, applicant, Volgograd State Agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetsky Prospekt, 26), 7ya78@mail.ru

Информация об авторах:

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 1 (57), 2020

Ахмедов Аскар Джангир оглы, профессор ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), доктор технических наук, профессор, askar-5@mail.ru

Ветренко Екатерина Александровна, доцент ФГБОУ ВО «Российский технологический университет МИРЭА» (РФ, 119454, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78), кандидат технических наук, доцент, zkafedra@mail.ru

Колотухина Ирина Николаевна, соискатель ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), 7ya78@mail.ru