Оригинальная статья
УДК 502/504: 556.18:627.8
DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-83-92

ОЦЕНКА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО И ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕКИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАЛАНСА

РАТКОВИЧ ЛЕВ ДАНИЛОВИЧ✉, *д-р техн. наук, профессор*
levkivr@mail.ru

ИСМАЙЫЛОВА ИРИНА ГАБИЛОВНА, *заведующий лабораторией*
igism37@mail.ru

БОВИНА ЮЛИЯ АНАТОЛЬЕВНА, *канд. техн. наук, доцент*
r.yu.a@yandex.ru

ЩЁГОЛЕВА СОФЬЯ НИКОЛАЕВНА, *студент магистратуры*
sonya_fob@mail.ru

МАНХАЛЬ МУАЛЛА, *аспирант, Сирия*
manhal.moualla@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 19, Россия

Статья посвящена вопросам обоснования проектных решений в области водного хозяйства и гидротехнического строительства с использованием имитационных водохозяйственных моделей. Затрагиваются проблемы создания баз данных с применением различных моделей природных процессов включая системы прогнозирования климата и модель динамики атмосферы. Рассматривается перечень задач, которые решаются с применением моделей класса MIKE, способных, с одной стороны, решать задачи моделирования природных процессов, с другой – осуществлять имитационное моделирование природно-технических систем, в том числе водохозяйственных. Программные пакеты могут использоваться для разработки правил управления отдельными водохранилищами и их каскадами. Отмечается, что при создании водохозяйственных систем, определении их параметров и режима функционирования целесообразно разрабатывать имитационные модели для экспертного водохозяйственного анализа. Это позволяет оценить функциональные возможности систем и избежать значительных ошибок на более детальных стадиях проектирования и эксплуатации. В качестве примера приводится водохозяйственная система Западного Маныча, притока Дона. Сформулированы проблемы объекта и круг задач, подлежащих исследованию. Система функционирует благодаря регулярной водоподаче в нее части стока рек Дон и Кубань. Ресурсы переброски расходуются на орошение, гидроэнергетику и деминерализацию озера Маныч-Гудило, представляющего собой водно-болотные угодья Ростовской области, имеющие международное значение. В работе система схематизирована, проведен гидролого-водохозяйственный анализ развития орошаемых земель и гидроэнергетического потенциала с использованием имитационного моделирования водохозяйственного баланса с элементами оптимизации. Сформулированы направления дальнейших исследований по системе водообеспечения бассейна реки Западный Маныч.

Ключевые слова: *имитационное моделирование, водохозяйственные балансы, гидроэнергетический потенциал, комбинированная переброска стока, система Западного Маныча*

Формат цитирования: *Раткович Л.Д., Исмайылова И.Г., Бовина Ю.А., Щёголева С.Н., Манхаль М. Оценка водохозяйственного и гидроэнергетического потенциала реки на основе имитационного моделирования водохозяйственного баланса // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 83-92. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-83-92.*

© Раткович Л.Д., Исмайылова И.Г., Бовина Ю.А., Щёголева С.Н., Манхаль М., 2022

Original article

ASSESSMENT OF WATER MANAGEMENT AND HYDROPOWER POTENTIAL OF THE RIVER BASED ON SIMULATION MODELING OF WATER MANAGEMENT BALANCE

RATKOVICH LEV DANILOVICH ✉, *doctor of technical sciences, professor*
levkivr@mail.ru

ISMAJYLOVA IRINA GABILOVNA, *head of the laboratory*
igism37@mail.ru

BOVINA YULIYA ANATOLJEVNA, *candidate of technical sciences, docent*
r.yu.a@yandex.ru

SHCHEGOLEVA SOFYA NIKOLAEVNA, *student of the MA course*
sonya_fob@mail.ru

MANHAL MOUALLA, *post graduate student, Syria*
manhal.moualla@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19, Russia

The article is devoted to the issues of substantiation of design solutions in the field of water management and hydraulic engineering construction using simulated water management models. The problems of creating databases using various models of natural processes, including climate forecasting systems and a model of atmospheric dynamics, are touched upon. The list of tasks that are solved with the use of MIKE class models, capable on the one hand to solve the problems of modeling natural processes, on the other – to carry out simulation modeling of natural technical systems, including water management, is considered. Software packages can be used to develop rules for managing individual reservoirs and their cascades. It is noted that when creating water management systems, determining their parameters and mode of operation, it is advisable to develop simulation models for expert water management analysis. This allows you to evaluate the functionality of the systems and avoid significant errors at more detailed stages of design and operation. As an example, the water management system of the Zapadny Manych, a tributary of the Don, is given. The problems of the object and the range of tasks to be investigated are formulated. The system functions due to the regular water supply of part of the Don and Kuban rivers flow to it. The transfer resources are spent on irrigation, hydropower and demineralization of Lake Manych Gudilo, which is a wetland of the Rostov region of international importance. In the work, the system is schematized and a hydrological and water management analysis of the development of irrigated lands and hydropower potential is carried out using simulation modeling of the water balance with optimization elements. The directions of further research on the water supply system of the Zapadny Manych River basin are formulated.

Keywords: *simulation modeling, water management balances, hydropower potential, combined flow transfer, Zapadny Manych system*

Format of citation: *Ratkovich L.D., Ismajylova I.G., Bovina Yu.A., Shchegoleva S.N., Manhal M. Assessment of water management and hydropower potential of the river based on simulation modeling of water management balance // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 5. – P. 83-92. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-83-92.*

Введение. Состав и параметры сооружений должны не только обеспечивать намеченные показатели, обусловленные водохозяйственными планами, но и гарантировать оптимальную реализацию начального замысла. Подобный подход стал возможен благодаря активному применению всевозможных имитационных математических моделей, достоверно отражающих физическую сущность процессов наряду с элементами управления водохозяйственными системами – в частности, водохранилищами. Созданы мощные компьютерные пакеты – такие, например, как набор MIKE (3, 11, MIKE21, MIKEDHE, basin, flood…), решающий многофакторные научные и проектные задачи водного профиля.

Моделирование природных процессов получает все большие возможности международного использования благодаря системе прогнозирования климата CFSR (Climate Forecast System Reanalysis), базирующейся на ретроспективном анализе данных наблюдений в сочетании с математическим моделированием динамики атмосферы [1]. Повышается значение подразделений

согласования и надзора вопросов безопасности в нашей стране и за рубежом – DSRO (division of safety review and oversight), действующих на основе прогноза и моделирования.

Наличие средств прогноза и моделирования является фундаментальной основой водохозяйственной, социально-экономической и природоохранной деятельности. Эта основа позволяет сформировать максимально надежную информационную базу для проектов и научных исследований. Важно отделять информационную составляющую, безусловно, исключительно важную, от моделей антропогенного внедрения в виде природно-технических систем.

Глобальные модели класса MIKE [2, 3] направлены, с одной стороны, на моделирование естественных процессов, с другой стороны – на решение инженерных задач включая разработку правил управления водными ресурсами водохранилищ комплексного назначения и их каскадов с учетом схем водоотведения и переброски стока.

Использование указанных моделей связано с детализацией проектных решений и с масштабными научными исследованиями, что существенно осложнено недостаточно надежной информацией, главным образом – гидрометеорологической, гидрологической и гидрогеологической – в условиях вероятных климатических трендов.

Экспертный анализ водообеспеченности, экологической и противопаводковой безопасности требует дополнительного моделирования на тех или иных допущениях. К примеру, детерминированная модель стока на предварительной стадии оценки показателей водохозяйственной системы обычно малоэффективна. Более приемлемым является стохастическое моделирование с использованием обобщенных параметров стока и водопотребления [4, 5]. Что касается максимального стока, то здесь необходимо моделирование вероятных форм максимального гидрографа, разной повторяемости, с использованием подходов, изложенных в работе [6] и действующих согласно СП 33-101-2003 (взамен СНиП 2.01.14-83).

Оценка водообеспеченности базируется на сопоставлении расчетного стока с объемами перспективного водопотребления. В то же время при разработке схем комплексного использования и охраны водных ресурсов требуется определение водохозяйственного и гидроэнергетического потенциала рек. В качестве инструмента для таких оценок могут применяться несложные имитационные водно-балансовые модели, отражающие принципиальную структуру водохозяйственного комплекса, проблематику речного бассейна или региона и рациональную схему управления водными ресурсами.

Режим регулирования стока является неотъемлемой частью функционирования водохозяйственных систем [7, 8]. В статье рассмотрены особенности имитационного моделирования системы с оценкой водохозяйственных и водно-энергетических показателей, с учетом присущих объекту эколого-водохозяйственных проблем.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследований рассмотрена система комбинированной переброски части стока Дона и Кубани в Западный Маныч [9, 10]. Весьма важно вычленить реальные проблемы объекта и провести экспертный анализ функционирования системы в планируемой перспективе, используя соответствующие имитационные модели водохозяйственного баланса. Выбор объекта обусловлен, с одной стороны, актуальностью проблем и характерными схемами управления водными ресурсами. С другой стороны, на данном примере можно наглядно показать вариантность анализа, связанного с регулированием и территориальным перераспределением стока.

При проведении исследований использовались программные модули, работающие в среде Excel в режиме компенсированного регулирования стока, с учетом особенностей водохозяйственных комплексов. Расчеты базируются на методике анализа по обобщенным параметрам стока и водопотребления, а также на имитационном моделировании водохозяйственного баланса лет расчетной обеспеченности.

Комбинированная переброска стока в бассейн реки Западный Маныч. Западный Маныч, левый приток Дона, протекает по территории Европейской части России, Калмыкии, Ростовской области и Ставрополья. Несколько тысячелетий назад пролив между Азовским морем и Каспием образовал реку Маныч с площадью бассейна 35,4 тыс. кв. км и соленые озера с самым крупным озером Маныч-Гудило (рис. 1).

В настоящее время Маныч является практически не естественным водотоком, а каскадом водохранилищ. Идея создания судоходного тракта от Дона до Каспия осуществлялась путем строительства Усть-Манычского, Веселовского и Пролетарского водохранилищ (рис. 2). Однако после Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. от основной идеи отошли и перебрасываемые воды направили на орошение. С 1970-х гг. водохранилища подверглись сильной минерализации. Кроме того, добавилась общая проблема маловодья всего бассейна Дона.

Рис. 1. **Маныч-Керченский пролив 17 тыс. лет назад и современная схема бассейна**
https://dzen.ru/media/id/5b575c2b055c9d00a952e94f/chto-bylo-vmesto-velikogo-oledeneniia-5b916f9eafa75b00a992c963

Fig. 1. **The Manych-Kerch Strait 17 thousand years ago and the modern scheme of the basin**
https://dzen.ru/media/id/5b575c2b055c9d00a952e94f/chto-bylo-vmesto-velikogo-oledeneniia-5b916f9eafa75b00a992c963

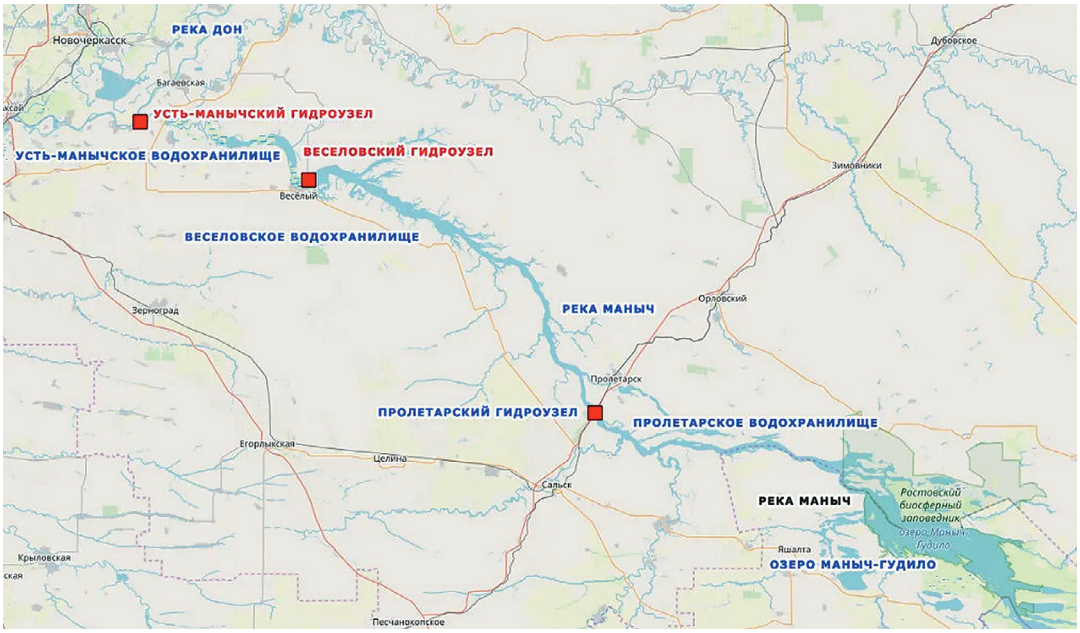

Рис. 2. **Схема расположения водохранилищ на реке Маныч**
https://kazakoved.ru/opisanie-reki-manych/

Fig. 2. **Scheme of the location of reservoirs on the Manych River**
https://kazakoved.ru/opisanie-reki-manych/

В течение почти 15 лет река Дон и его притоки, в том числе Маныч, страдают от маловодья. Значительная часть стока Дона не доходит до Ростовской области, поскольку используется для водопотребления в областях выше створа Цимлянского гидроузла (Липецкая, Волгоградская, Воронежская области).

Следует отметить, что при условии реализации национального проекта «Экология» данные проблемы можно «смягчить», для чего потребуется расчистка русел, родников и малых рек. Устаревшая поливная сеть характеризуется большими потерями. Кроме того, необходим весь комплекс водосберегающих мероприятий, связанных, главным образом, с оптимизацией режимов орошения и комплексными мелиоративными мероприятиями. На данном этапе, кроме экономии водных ресурсов, другого пути практически нет.

Задачи перспективного анализа ситуации формулируются следующим образом:

♦ оценка возможного объема изъятия стока из реки Дон при соблюдении требований к ресурсам Цимлянского водохранилища;

♦ прогноз отраслевого водопотребления в системе на планируемую перспективу;

♦ водохозяйственный баланс объединенного водохранилища с учетом работы ГЭС;

♦ оценка водно-энергетического потенциала объединенного водохранилища с максимальной среднемесячной мощностью и выбор варианта перспективного баланса.

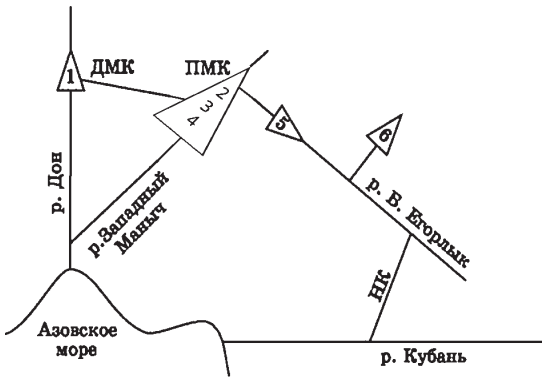

Рис. 3. **Схема водохозяйственной системы Западного Маныча:**
ДМК – Донской магистральный канал;
НК – Невинномысский канал;
ПМК – Пролетарский магистральный канал;
1 – Цимлянское; 2-4 каскад Пролетарского, Веселовского, Усть-Манычского водохранилищ;
5 – Новотроицкое; 6 –Сенгилеевское

Fig. 3. **Scheme of the water management system of the Zapadny Manych:**
DMC – Donskoj main canal; NC – Nevinnomyssky canal; PMC – Proletarsky main canal;
1 – Tsimlyanskoe; 2-4 cascade of Proletarsky, Veselovsky, Ust-Manych reservoirs;
5 – Novotroitskoe; 6 –Sengileyevskoye

Задачей отдельного рассмотрения является водно-солевой баланс озера Маныч-Гудило.

Оценка возможного объема изъятия стока из реки Дон при соблюдении требований к ресурсам Цимлянского водохранилища. Водообеспечение системы Западного Маныча всецело зависит от внешней дотации водных ресурсов из рек Дона и Кубани. Кубань не рассматривается в настоящих исследованиях, поскольку этот непростой бассейн также требует отдельного изучения. Определяется максимально возможный отбор из Дона в Донской магистральный канал (ДМК). Имитационная модель водохозяйственного баланса в створе Цимлянского гидроузла строится на традиционном алгоритме в соответствии с расчетной схемой рисунка 3.

На основании прогноза комплексного водопотребления сформирована структура водохозяйственного баланса, из которого устанавливается максимальный объем отбора в ДМК. В свою очередь, максимальный объем определяется ресурсами расчетного года с учетом регулирования стока и многолетней сработки, которая определена заранее по номограммам обобщенного метода (2,94 км^3). Процедура максимизации ДМК основана на совместном решении балансовых уравнений и неравенств. Уравнение водохозяйственного баланса в данной ситуации имеет вид: располагаемые водные ресурсы в *i-том* интервале времени внутри года

$$R_{av,i} = S_{\text{ест},i} \pm R_i + W_{\text{вв},i} \quad (1)$$

где *i-тый* интервал времени внутри года; $S_{\text{ест},i}$ – естественный приток; $\pm R_i$ – регулирование притока; $W_{\text{вв},i}$ – возвратные воды от потребителей; $R_{av,i}$ – располагаемые водные ресурсы.

Суммарные требования к водным ресурсам – это:

$$WR_i = W_{\text{всн},i} + W_{\text{ор},i} + W_{\text{рх},i} + L_{\text{пот},i} + W_{\text{вдск},i} + U_{\text{пзв},i} + W_{\text{кп},i} + W_{\text{дмк},i} + L_{\text{исп-лед},i}, \quad (2)$$

где $W_{\text{всн},i}$ – промышленно-коммунальное водоснабжение; $W_{\text{ор},i}$ – оросительные системы; $W_{\text{рх},i}$ – рыбное хозяйство; $L_{\text{пот},i}$ – потери на шлюзование и фильтрацию; $W_{\text{вдск},i}$ – отбор в Волго-Донской канал; $U_{\text{пзв},i}$ – ущерб речному стоку вследствие подземного водозабора; $W_{\text{кп},i}$ – комплексный попуск; $W_{\text{дмкк},i}$ – водозабор в ДМК; $L_{\text{исп-лед},i}$ – потери на шлюзование и фильтрацию.

Следует учесть такие условия:

если $R_{av,i} \geq WR_i$,

то $D_i = 0$ (дефицит)

и $Res_i = R_{av,i} - WR_i$ (резерв);

если $R_{av,i} < WR_i$,

тогда $D_i = (WR_i - R_{av,i})$(дефицит)

и $Res_i = 0$ (резерв).

Целевая функция модели в данном случае формулируется как суммарный годовой объем изъятия стока в ДМК:

$$\sum_{i=1}^{i=12} W_{\text{дмк},i} \to max. \quad (3)$$

Располагая информацией об объеме и режиме водоподачи из Цимлянского водохранилища, получаем возможность оценки многоцелевой водоотдачи при известном объеме объединенного водохранилища, а также в случае увеличения полезного объема. Методика имитационного моделирования аналогична описанной, но целевые показатели другие. Решение одно- и многокритериальной оптимизации связано с параллельным развитием орошения и гидроэнергетического потенциала с учетом прогнозируемых темпов развития отрасли:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{i=12} W_{\text{ор},i} \to max \\ N_{\text{гар}} \to max \\ V_{\text{об}} \to min. \end{cases} \quad (4)$$

Результаты и их обсуждение. Раскладка объема переброски из Цимлянского

водохранилища, соответствующая действующим правилам управления, представлена в таблице 1.

Решение уравнения (3) иллюстрируется развернутым водохозяйственным балансом (табл. 2). Основной результат здесь – это объем дотации в размере 1615 млн м^3. Баланс системы Пролетарского, Веселовского водохранилищ и Усть-Манычского водохранилища, реализующий решение системы (4), представлен в таблице 3. Оценка гидроэнергетического потенциала приведена в таблице 4.

Таблица 1

Распределение дотации по трассе переброски, млн м^3

Table 1

Distribution of subsidies along the transfer route, mln. m^3

1	**Орошение рисовых севооборотов** / *Irrigation of rice crop rotations*	553,20
2	**Орошение не рисовых севооборотов** / *Irrigation of non-rice crop rotation*	475,80
3	**Сельскохозяйственное водоснабжение** / *Agricultural water supply*	6,70
4	**Коммунально – бытовое и промышленное водоснабжение** *Public and industrial water supply*	2,90
5	**Рыбное хозяйство** / *Fishery*	20,50
6	**Рыбозаградитель ДМК** / *Fish barrier DMC*	80,10
7	**Обводнение малых рек** / *Flooding of small rivers*	12,20
8	**Санитарный попуск в р. Сал** / Sanitary release in the Sal river	82,10
9	**Водоподача в Западный Маныч в т.ч.** *Water supply to the Zapadny Manych including*	261,40
9.1	**Оросительные системы** / *Irrigation systems*	134,40
9.2	**Опреснительный транзит (для Маныч-Гудило)** *Desalination transit (for Manych-Gudilo)*	127,00
10	**Потери в канале** / *Losses in the canal*	117,60
	ИТОГО / *TOTAL*	1612

В числе переменных – оптимизации $V_{мо}$, $V_{плз}$, $N_{гар}$, $\pm\Delta V$ (режим регулирования стока). Как показывают исследования, минимальная требуемая емкость объединенного водохранилища для достижения максимального эффекта с точки зрения площадей орошения и гарантированной среднемесячной мощности составляет 1406 млн м^3. Мертвый объем при этом составляет 1260 млн м^3 и обеспечивает оптимальный напорный режим. Минимальная гарантированная мощность при 90%-ной обеспеченности оценивается примерно в 300 кВт с ежегодной выработкой 7625 мВт/ч. Снижение расчетной обеспеченности до 80% увеличивает мощность примерно до 410 кВт. При суточном регулировании мощности обеспечивается режим малой ГЭС с гарантированной мощностью ~5 МВт. Дальнейшее увеличение параметров водохранилища не улучшает показатели, поскольку ограничено водными ресурсами.

На рисунке 4 представлена расчетная зависимость достигаемой среднемесячной мощности от объема водохранилища.

При создании природно-технических систем, в том числе водохозяйственных, проектировщики и научные работники сталкиваются с фактором недостаточно надежной многофакторной исходной информации. В этой ситуации необходимо провести предварительный гидролого-водохозяйственный анализ, то есть выполнить корректную экспертную оценку параметров и режима функционирования системы, используя осмысленно-минимальный объем исходных данных. В водохозяйственных системах речь идет о геофизической и гидрофизической информации, которая подверглась существенной трансформации под влиянием изменения климата и антропогенной деятельности. Определение климатических трендов исследуемого региона [11] в настоящее время основано на неподтвержденной динамике. В любом случае следует использовать имеющиеся модели для прогноза и моделирования природных процессов, причем, на наш взгляд, следует отдать предпочтение стохастическим моделям, во всяком случае – на уровне экспертного анализа. В настоящей работе акцентируется внимание на необходимости создания мобильных имитационных моделей по типу рассмотренных выше, а также модуля «REACHABLE WATER» [5]. Здесь анализируются главным образом вопросы водообеспечения, однако подход касается и пропуска максимального стока через гидроузлы с оценкой противопаводковой емкости водохранилищ [6].

Таблица 2

Водохозяйственный баланс (модель изъятия из Цимлянского водохранилища) водоподачи в бассейн Маныча

Table 2

Water management balance (model of withdrawal from the Tsimlyanskoe reservoir) of water supply in the Manych basin

Месяцы / *Months*	ПРИХОДНАЯ ЧАСТЬ ВХБ / *INCOMING PART OF THE WMB*					РАСХОДНАЯ ЧАСТЬ ВХБ / *OUTCOMING PART OF THE WMB*											РЕЗУЛЬТАТЫ / *RESULTS WMB*		
	Естественный приток *Natural inflow*	**Регулирование стока** *Flow regulation*	**Наполнение на конец интервала** *Filling at the end of the interval*	**ВВ** / WW	**Располагаемые водные ресурсы ЦВ** *Available water resources of the Ts.R*	**ПКБ +ХП** / *PKB +XII*	**Орошение** / *Irrigation*	**Рыбхоз** / *Fish farm*	**Потери-пруды-вдхр** *Losses-ponds-reservoir*	**Отбор в Волго-Донской канал, ВДСК** *Withdrawal into the Volgo-Donskoj canal, VDSC*	**Сокращение речного стока в результате отбора подземных вод** *Reduction of river runoff as a result of ground water withdrawal*	**Комплексный попуск** *Complex discharge*	**Потери на дополнительное испарение и льдообразование** *Losses on additional evaporation and ice formation*	**Донской магистральный канал ДМК, м³/с** *The Donskoj main canal DMC, m³/s*	**Донской магистральный канал ДМК, млн³** *The Donskoj main canal DMC, mln³*	**Суммарные требования к водным ресурсам** *Total requirements to water resources*	**Дефицит** / *Deficit*	**Резерв** / *Reserv*	**Транзит в нижний бьеф** *Transit downstream*
Март / *March*	1248,5	–541,18	15156	85,29	792,2	135,8	22,96		29,00	25,80	38,33	446,76	–70,34	44,52	119,30	792,16	0,00	0,00	446,76
Апрель / *April*	5185,4	–2589,9	17746	90,01	2685	135,8	70,21	70,00	29,00	25,80	38,33	1933,9	188,51	53,99	139,84	2685,5	0,00	0,00	1933,95
Май / *May*	4620,8	–1114,8	18861	92,49	3598	135,8	95,02		29,00	25,80	38,33	2680,0	270,10	88,13	236,19	3598,4	0,00	0,00	2680,00
Июнь / *June*	995,47	920,28	17941	93,29	2009	135,8	102,9		29,00	25,80	38,33	984,20	270,10	117,78	305,06	2009,0	0,00	0,00	984,20
Июль / *July*	744,37	1153,8	16787	88,43	1987	135,8	54,37		29,00	25,80	38,33	1018,4	270,10	112,70	302,04	1986,6	0,00	0,00	1018,40
Август / *August*	534,88	1267,7	15519	86,48	1889	135,8	34,84		29,00	25,80	38,33	1018,4	270,10	91,51	245,25	1889,1	0,00	0,00	1018,40
Сентябрь / *September*	356,59	1302,4	14217	88,96	1748	135,8	59,65		29,00	25,80	38,33	984,20	253,22	61,81	160,08	1747,9	0,00	0,00	984,20
Октябрь / *October*	324,11	987,90	13229	82,99	1395	135,8	0,00		29,00	25,80	38,33	1018,4	0,00	40,12	107,52	1395,0	0,00	0,00	1018,40
Ноябрь / *November*	296,13	318,28	12911	82,99	697,4	135,8	0,00		29,00	25,80	38,33	440,30	28,14	0,00	0,00	697,40	0,00	0,00	440,30
Декабрь / *December*	216,85	378,95	12532	82,99	678,8	135,8	0,00		29,00	25,80	38,33	402,00	47,83	0,00	0,00	678,79	0,00	0,00	402,00
Январь / *January*	183,62	431,87	12100	82,99	698,5	135,8	0,00		29,00	25,80	38,33	402,00	67,53	0,00	0,00	698,49	0,00	0,00	402,00
Февраль / *February*	153,89	419,78	11680	82,99	656,7	135,9	0,00		29,00	25,80	38,33	363,00	64,71	0,00	0,00	656,67	0,00	0,00	363,00
ГОД / *YEAR*	14860	2935	11680	1040	18835	1630	440,0	70,00	348,0	309,6	460,0	11692	1660	50,88	1615	18835	0,00	0,00	11692

Таблица 3

Table 3

Водохозяйственный баланс реки Маныч в створе объединенного гидроузла

Water management balance of the Manych river in the site of the combined hydraulic unit

Месяцы *Months*	**ПРИХОДНАЯ ЧАСТЬ ВХБ** *INCOMING PART OF WMB*								**РАСХОДНАЯ ЧАСТЬ ВХБ** *OUTCOMING PART OF WMB*							**РЕЗУЛЬТАТЫ ВХБ** *RESULTS OF WMB*		
	Естественный приток к створу объединенного водохранилища *Natural inflow*	**Регулирование стока** *Flow regulation*	**Наполнение на конец интервала** *Filling at the end of the interval*	**Водоподача из ДМК** *Water supply from DMC*	**Поступление по Кубанскому тракту** *Inflow on the Kuban tract*	**Возвратные воды Садковской ОС** *Return water of the Sadkovskoy IS*	**Возврат с Пролетарской ОС** *Return from the Proletarskoy IS*	**Располагаемые водные ресурсы ЦВ** *Available water resource of TsR*	**Водопотребление Азовской и Веселов-ской ОС** *Water consumption of the Azovskoj and Veselovskoy IS*	**Потери из Пролетарского в-ща** *Losses from the Proletarskogo WR*	**Потери из Веселовского в-ща** *Losses from the Veselovskogo WR*	**Энергетические попуски** *Power releases*	**Попуски на шлюзование и фильтрацию** *Releases on locking and filtration*	**Комп-Санитар-но-экологический** *Comp-sanitary-ecological*	**Суммар-ные требования к водным ресурсам** *Total requirements to water resources*	**Дефицит** / *Deficit*	**Резерв** / *Reserve*	**Транзит в нижний бьеф** *Transit downstream*
Ноябрь / *November*	1,71	–74,42	1326,9	30,81	53,87	0,00	0,49	12,47	0,00	0,75	–3,60	10,26	4,56	0,50	12,47	0,00	0,00	15,32
Декабрь / *December*	1,17	–79,83	1406,8	21,39	60,30	0,00	0,51	3,54	0,00	–3,10	–3,97	10,26	0,00	0,34	3,54	0,00	0,00	10,60
Январь / *Janury*	0,82	0,00	1406,8	0,00	60,30	0,00	0,21	61,33	0,00	1,54	–3,43	10,26	0,00	0,24	8,61	0,00	52,72	63,22
Февраль / *February*	3,87	0,00	1406,8	0,00	52,03	0,00	0,17	56,07	0,00	0,00	–3,17	10,26	0,00	1,13	8,22	0,00	47,85	59,24
Март / *March*	73,90	0,00	1406,8	0,00	60,57	0,00	0,21	134,68	0,00	17,02	13,99	10,26	59,84	21,64	122,8	0,00	11,94	103,68
Апрель / *April*	10,38	0,00	1406,8	0,00	51,80	1,06	0,10	63,34	5,97	21,11	18,21	10,26	4,56	3,04	63,14	0,00	0,19	18,05
Май / *May*	4,76	0,00	1406,8	44,39	61,64	5,41	9,49	125,70	25,89	39,66	36,93	10,26	6,70	1,39	120,8	0,00	4,86	23,21
Июнь / *June*	1,29	34,15	1372,6	38,35	59,57	8,60	10,31	152,26	39,22	51,54	44,39	10,26	6,48	0,38	152,3	0,00	0,00	17,11
Июль / *July*	0,41	52,65	1320	31,88	61,64	8,36	13,40	168,34	30,18	63,52	57,57	10,26	6,70	0,12	168,3	0,00	0,00	17,08
Август / *August*	0,30	40,86	1279,1	31,88	61,64	6,22	8,60	149,50	17,62	59,50	55,34	10,26	6,70	0,09	149,5	0,00	0,00	17,04
Сентябрь / *September*	0,17	19,10	1260,0	30,81	59,57	2,41	0,70	112,76	11,83	44,94	39,21	10,26	6,48	0,05	112,8	0,00	0,00	16,78
Октябрь / *October*	0,40	7,50	1252,5	31,88	64,32	0,28	0,59	104,97	4,29	17,42	3,99	10,26	6,70	0,12	42,78	0,00	62,19	79,27
ГОД / *YEAR*	99,18	0,00	1252,5	261,40	707,25	32,34	44,79	1145,0	135,00	313,90	255,47	123,08	108,71	29,04	965,2	0,00	179,75	440,6

Таблица 4

Водно-энергетическая оценка мощности и выработки гидроэлектростанции

Table 4

Water and energy assessment of hydroelectric power plant capacity and generation

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ / *WATER-ENERGY CALCULATIONS*								
$Q_{гэс}$, м³/с / Q_{GES}, m^3/s	Отметка в НБ, м / *Mark in NB, m*	ВБ, м начало интервала / *WB, m Start of interval*	ВБ, м конец интервала / *WB, m end of interval*	Среднее наполнение, м / *Average filling, m*	Отметка ВБ, м / *Elevation WB, m*	Напор, м / *Head, m*	Среднемесячная мощность, КВт / *Average monthly power, kW*	Выработка электроэнергии, МВТ*час / *Power generation, MVT*h*
5,91	1,35	1252,50	1326,92	1289,71	9,03	7,68	410,09	295,26
3,96	1,14	1326,92	1406,75	1366,84	9,30	8,17	291,50	209,88
23,59	2,42	1406,75	1406,75	1406,75	9,44	7,02	1495,27	1076,60
24,48	2,45	1406,75	1406,75	1406,75	9,44	6,99	1543,23	1111,12
38,69	2,98	1406,75	1406,75	1406,75	9,44	6,46	2256,11	1624,40
6,97	1,44	1406,75	1406,75	1406,75	9,44	8,00	502,80	362,02
8,66	1,58	1406,75	1406,75	1406,75	9,44	7,86	614,12	442,17
6,61	1,41	1406,75	1372,61	1389,68	9,38	7,97	475,11	342,08
6,37	1,39	1372,61	1319,96	1346,28	9,23	7,84	450,85	324,61
6,36	1,39	1319,96	1279,10	1299,53	9,07	7,68	440,60	317,23
6,48	1,40	1279,10	1260,00	1269,55	8,96	7,56	442,01	318,25
29,58	2,66	1260,00	1252,50	1256,25	8,91	6,25	1668,83	1201,56
13,97	1,80	1354,30	1354,30	1354,30	9,26	7,46	882,54	7625,17

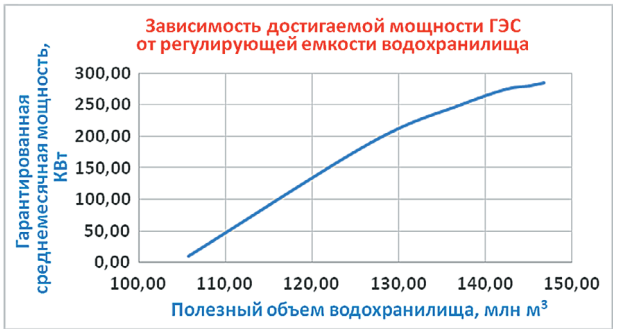

Рис. 4. **Водохозяйственный баланс реки Маныч в створе объединенного гидроузла в сочетании с водно-энергетической оценкой мощности и выработки потенциальной гидроэлектростанции**

Fig. 4. **Water management balance of the Manych River in the site of the combined hydroelectric complex in combination with water and energy assessment of the capacity and generation of a potential hydroelectric power plant**

Выводы

Выполненные разработки ВКР показали, что максимальный водозабор из Цимлянского водохранилища на реке Дон для обводнения малых рек и развития орошения в бассейне Западного Маныча составляет 1615 млн м³, что соответствует правилам управления водными ресурсами реки Дон.

Водоподача в бассейн Маныча 254 млн м³ в год включает в себя 134 млн м³ для орошения 36,7 тыс. га и опреснительный транзит 127 млн м³, нуждаясь в дальнейшем обосновании. Водно-энергетический потенциал объединенных водохранилищ оценивается в 440 КВт и 7,78 ГВТ/ч ежегодной выработки. При суточном регулировании гарантированная мощность достигает 3-5 МВт, что соответствует уровню малых ГЭС.

Водохозяйственная система является перспективной для многих направлений исследований. Действующая система переброски стока функционирует в течение продолжительного времени. Немалый опыт эксплуатации водохозяйственной системы Маныча дает необходимую информацию для эффективного прогнозирования и оценки потенциала данного объекта при условии научной поддержки проблемы.

Детальное обоснование режима и параметров ВХС Западного Маныча требует большого цикла научных исследований включая лимиты водозабора из Цимлянского водохранилища, динамику солености озера Маныч-Гудило и др.

Библиографический список

1. **Kalnay E.** et all. The NCEP/NCAR40-Year Reanalysis Project // Bulletin of the American Meteorological

References

1. **Kalnay E.,** et al. (1996) The NCEP/NCAR40-Year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological

Society. – 1996. – Т. 77.№ 3. – Pp. 437-471. http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437

2. **Раткович Л.Д.** Факторы влияния диффузного загрязнения на водные объекты / В.Н. Маркин, И.В. Глазунова, С.А. Соколова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 3. – С. 64.

3. **Бубер А.Л., Раткович Л.Д., Рябиков А.И.** Имитационное моделирование водохозяйственных систем в режиме оптимизации диспетчерских правил управления на примере уникального природно-технического комплекса «Озеро Байкал – Иркутское водохранилище» // Природообустройство. – 2018. – № 3. – С. 31-39.

4. **Раткович Л.Д.** Зависимость комплексной гарантированной водоотдачи от регулирующего объема водохранилища / А.А. Иванов, И.Г. Исмайылова, Е.Л. Раткович // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 54-62.

5. **Ratkovich L.D., Bakshtanin A.M., Glazunova I.V., Plokhikh N.E.** Aspectsof Multi-Year Flow Control In Relation To Transboundary Rivers // International Journal of Advanced Science and Technology. – Australia, 2020. – Pp. 2418-2439. – URL: http://sersc.org/journals/index.php / IJAST/article/view/20761.

6. **Алексеев Г.А.** Перспективы и резервы усовершенствования гидрологических расчетов и прогнозов для водохозяйственного проектирования // Тр. V ВГС. Т. 6. Теория и методы гидрологических расчетов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – С. 15-21.

7. **Ван Бик И., Лаукс П.** Планирование и управление водохозяйственными системами. Введение в методы, модели и приложения: Монография / И. Ван Бик П. Лаукс / Под ред. М.В. Селиверстовой; Пер. с англ. А.В. Степанова и др. – М.: Юстицинформ, 2009. – 660 с.

8. **Раткович Л.Д.** Аспекты управления водными ресурсами в условиях комплексного водопользования // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 3(24). – С. 52-56.

9. **Угроватова Е.Г.** Обоснование комбинированных типов переброски стока на примере реки западный Маныч // Природообустройство. – 2013. – № 4. – С. 70-75.

10. **Штанько А.С., Акопян А.С., Сафарова Н.И.** Обобщение и анализ нормативных документов, определявших режим использования водных ресурсов Пролетарского, Веселовского и Усть-Манычского водохранилищ // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 1 (05). – С. 180-189.

11. **Сазонов А.Д., Решетников О.С., Закруткин В.Е.** Изменчивость гидрохимических характеристик рек Сали, Западный Маныч в условиях современного антропогенного воздействия и климатических изменений (в пределах Ростовской области) // Наука Юга России. – 2021. – № 1. – С. 24-25.

Society, 77, 437-471. http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437

2. **Ratkovich L.D., Markin V.N., Glazunova I.V., Sokolova S.A.** Faktory vliyaniya diffuznogo zagryazneniya navodnye objekty / Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitelstvo. – 2016. – № 3. – S. 64.

3. **Buber A.L., Ratkovich L.D., Ryabikov A.I.** Imitacionnoe modelirovanie vodohozyajstvennyh sistem v rezhime optimizatsii dispetcherskih pravil upravleniya na primere unikalnogo prirodno-tekhnicheskogo kompleksa «Ozero Bajkal – Irkutskoe vodohranilishche» // Prirodoobustrojstvo. – 2018. – № 3. – S. 31-39.

4. **Ratkovich L.D.** Zavisimost kompleksnoj garantirovannoj vodootdachi ot reguliruyushchego objema vodohranilishcha. / Ivanov A.A., Ismajylova I.G., Ratkovich E.L. // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 1. – S. 54-62.

5. **Lev D.** Ratkovich, Alexander M. Bakshtanin, Irina V. Glazunova, Natalya E. Plokhikh. Aspects of Multi-Year Flow Control In Relation To Transboundary Rivers 2418-2439 2020-06-05. International Journal of Advanced Science and Technology. Australia. http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/20761

6. **Alekseev G.A.** Perspektivy i rezervy usovershenstvovaniya gidrologicheskih raschetov i prognozov dlya vodohozyajstvennogo proektirovaniya. Tr. V VGS, t. 6, teoriya i metody gidrologicheskih raschetov. – L.: Gidrometeoizdat, 1989. – S. 15-21.

7., **I. Van Bik P. Lauks.** Planirovanie i upravlenie vodohozyajstvennymi sistemami. Vvedenie v metody, modeli i prilozheniya: monografiya / I. Van Bik P. Lauks; pod red. M.V. Seliverstovoj; Federalnoe agentstvo vodnyh resursov; per. s angl. A.V. Stepanova [i dr.]. – M.: Yustitsinform, 2009. – 660 s.

8. **Ratkovich L.D.** Aspekty upravleniya vodnymi resursami v usloviyah kompleksnogo vodopolzovaniya // Evrazijskij soyuz uchenyh. – 2016. – № 3 (24). – S. 52-56.

9. **Ugrovatova E.G.** Obosnovanie kombinirovannyh tipov perebroski stoka na primere reki zapadnyj Manych // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – № 4. – S. 70-75.

10. **Shtanko A.S., Akopyan A.S., Safarova N.I.** Obobshchenie i analiz normativnyh dokumentov, opredelyavshih rezhim ispolzovaniya vodnyh resursov Proletarskogo, Veselovskogo i Ust-Manychskogo vodohranilishch. Generalization and analysis of regulatory documents for usage mode of water resources of Proletarskoye, Veselovskoye and Ust-Manychskoye reservoirs // Nauchny zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii. – 2012. – № 1(05). – S. 180-189.

11. **Sazonov A.D., Reshetin O.S., Zakrutkin V.E.** Izmenchivost gidrohimicheskih harakteristik rek Sal i Zapadnyj Manych v usloviyah sovremennogo antropogennogo vozdejstviya i klimaticheskih izmenenij (v predelah Rostovskoj oblasti) // Nauka Yuga Rossii. – 2021. – № 1. – S. 24-25

Критерии авторства

Раткович Л.Д., Исмайылова И.Г., Бовина Ю.А., Щёголева С.Н., Манхаль М. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.10.2022
Одобрена после рецензирования 18.10.2022
Принята к публикации 25.10.2022

Criteria of authorship

Ratkovich L.D., Ismajylova I.G., Bovina Yu.A., Shchegoleva S.N., Mankhal M. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Ratkovich L.D., Ismajylova I.G., Bovina Yu.A., Shchegoleva S.N., Mankhal M. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 03.10.2022
Approved after reviewing 18.10.2022
Accepted for publication 25.10.2022