Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4(32), 2018 г., [38–59]

УДК 626.82

DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-38-59

В. И. Коржов
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация
О. В. Сорокина
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация;
Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Ростовской области, Ростов-на-Дону, Российская Федерация
Г. О. Матвиенко
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация
Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский центр, Ростов-на-Дону, Российская Федерация
И. В. Коржов
Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский центр, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

МОБИЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Целью исследований являлось создание простых и доступных для использования средств информационно-технологической поддержки процессов управления водораспределением на оросительных системах. Сделан вывод, что в условиях реальной эксплуатации действующих оросительных систем применение специализированных информационно-технологических средств не всегда возможно ввиду их сложности и (или) большой стоимости. Предложено использовать мобильные средства, построенные на базе общедоступных программных средств (например, Microsoft Excel). С этой целью разработана методика расчета параметров водораспределения, заключающаяся в разбивке водораспределительной сети на типовые контуры регулирования и последующем последовательном поконтурном моделировании процессов водораспределения в этих контурах. В качестве схемы управления водораспределением внутри контура выбрана схема регулирования с использованием регулирующих емкостей. Разработана структура, интерфейс и программное обеспечение универсального программного модуля. Для демонстрации возможностей разработанных средств приведен вариант расчета параметров водораспределения для участка Миусской оросительной системы, включающего в себя два гидравлически зависимых контура регулирования. Получены зависимости режимов работы открытой водораспределительной оросительной сети от режимов подачи в них оросительной воды и ее забора водопотребителями. Определены режимы работы насосных агрегатов головной насосной станции и подпорного регулирующего сооружения системы. Время, необходимое эксплуатационному персоналу для настройки разработанных средств на один контур регулирования, может составлять несколько часов, а время, затрачиваемое на последующее использование этих средств

в процессе оперативного управления водораспределением, – от одной-двух до нескольких минут (в зависимости от квалификации персонала).

Ключевые слова: оросительные системы, эксплуатация, управление водораспределением, схемы регулирования, программные средства, моделирование.

V. I. Korzhov
Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, Russian Federation
O. V. Sorokina
Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation;
Land Reclamation and Agricultural Water Supply Department of Rostov Region, Rostov-on-Don, Russian Federation
G. O. Matvienko
Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation;
Russian Information and Analytical and Research Water Management Center, Rostov-on-Don, Russian Federation
I. V. Korzhov
Russian Information and Analytical and Research Water Management Center, Rostov-on-Don, Russian Federation

MOBILE SUPPORT OF WATER DISTRIBUTION MANAGEMENT FOR IRRIGATION SYSTEM ACTUAL OPERATION

The aim of the research was to create simple and accessible tools for information and technological support of water distribution operation in irrigation systems. The conclusion was drawn that the use of specialized information technology tools (DSS, MAKE, etc.) is not always possible under the actual operation of existing irrigation systems because of their complexity and (or) high cost. It has been suggested to use mobile means designed on the basis of public domain software (for example, Microsoft Excel). To this end, the methodology for calculating the parameters of water distribution which consists in dividing water distribution network into standard control loops and further consequent water distribution processes in these circuits has been developed. As a control scheme for water distribution within the contour a regulating circuit with regulating tanks was chosen. The structure, interface and software of universal software module is developed. To demonstrate the capabilities of the developed means the variant of calculating the water distribution parameters for the Miusskaya irrigation system reach including two hydraulically dependent control loops is given. The dependences of the operation modes of the open water distribution irrigation network on the irrigation water supply regimes and its diversion by water consumers are obtained. The modes of operation of the pumping units of the head pumping station and the retaining regulating structure of the system are determined. The time required by the operation staff to adjust the developed means for a single control loop can be several hours, and the time spent on the subsequent use of these means in the process of operational management of water distribution is from one to two minutes (depending on the qualifications of the staff).

Keywords: irrigation systems, operation, water distribution management, control schemes, software tools, simulation.

Введение. Управление водораспределением на открытых оросительных системах – сложный многофакторный процесс, требующий учета и

оценки большого количества параметров – гидравлических, эксплуатационных, технических, временных и т. п. – и имеющий, как правило, множество вариантов решения [1–4]. Эффективность реализации этого важнейшего в структуре эксплуатации оросительных систем процесса во многом определяется как заложенными при их проектировании параметрами (постоянными параметрами), так и качеством управления водораспределением на них в условиях реально складывающейся водно-мелиоративной обстановки (оперативными параметрами).

Что касается первого фактора, то следует отметить, что большинство оросительных систем Ростовской области (да и России в целом) проектировались и строились несколько десятилетий назад [5]. А это значит, что на них изначально были применены технологии и средства того времени. Поэтому применение современных средств проектирования и моделирования позволяет лишь «приспособиться» к уже сложившейся данности и в лучшем случае улучшить ситуацию.

Еще более усугубляет ситуацию то, что даже эти запроектированные несколько десятилетий назад технологии не могут быть полноценно реализованы в штатных режимах их эксплуатации. Это связано с тем, что изменились не только технологии и средства, но и структура водопользования на оросительных системах. Ввиду разных обстоятельств многие водопользователи либо перешли на другие режимы водопользования (например, капельное орошение), либо вовсе отказались от услуг оросительных систем (например, перейдя на орошение из местного стока или обустройство и использование локальных скважин) [6]. Все это резко снизило объемы водопотребления из оросительных систем для нужд орошения, в ряде случаев они стали соизмеримы с объемами воды, используемыми для технологических нужд (испытаний насосных станций, поддержания горизонтов, вынужденных сбросов, замочки и заполнения каналов), и потерями. Так, например, в 2017 г. на Миусской оросительной системе Ро-

стовской области[1] при общем объеме воды, забираемой из источника орошения, равном 1,3 млн м^3, подача воды на орошение составила 0,6 млн м^3, на технологические нужды – тоже 0,6 млн м^3, а потери на испарение – 0,1 млн м^3.

Изменилась и дисциплина водопользования. Если раньше водораспределение осуществлялось в соответствии с предварительно рассчитанными планами водопользования [7] (позволяющими превентивно определить режимы работы насосно-силового оборудования, каналов, регулирующих сооружений), то сейчас водозабор из каналов сети может осуществляться достаточно волюнтаристским способом – вплоть до несанкционированного забора воды из канала путем использования различного рода передвижных (мобильных) насосных установок.

Известно, что в этих условиях повысить качество принимаемых технических решений может использование специальных программно-компьютерных средств и технологий [8–10]. Действительно, их применение на стадиях проведения научных исследований, проектирования, автоматизации документооборота и т. п. не вызывает сомнения. Что же касается применения этих средств непосредственно в контуре оперативного управления водораспределением, то, к сожалению, оно пока что очень сильно ограничено [11–13]. Это связано и со сложностью этих средств, и с их дороговизной, и с повышенными требованиями к их информационному обеспечению, и с высокими требованиями к квалификации эксплуатационного персонала и т. п. Даже незначительные изменения в структуре системы или отклонения от штатных режимов ее работы (например, вследствие аварий) могут потребовать большого и трудоемкого перерасчета режимов ее работы, что в условиях эксплуатации оросительной системы весьма проблематично. Предусмотреть же все множественные варианты

[1] Технический отчет Неклиновского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» за 2017 г.

поведения системы в этих условиях и превентивно выработать варианты принимаемых для этих ситуаций решений практически невозможно.

В связи с вышеизложенным возникает потребность в разработке и использовании относительно недорогих и широкодоступных средств информационно-технологической поддержки водораспределения, которые могли бы легко эксплуатироваться и настраиваться на конкретные условия применения самим эксплуатационным персоналом оросительных систем [14].

Решению таких задач и посвящено настоящее исследование.

Материалы и методы. Предметом исследований являлись оросительные системы, водораспределение на которых осуществляется по открытым каналам с использованием головной и перекачивающих насосных станций и подпорно-регулирующих сооружений.

В задачи исследований входило:

- разработать универсальные, широкодоступные и легко адаптируемые к конкретному объекту средства поддержки принятия решений, связанных с управлением водораспределением на оросительной системе;

- разработать методику моделирования процессов управления водораспределением на основе разработанных средств;

- провести моделирование и расчет одного из вариантов водораспределения с использованием разработанных средств.

В качестве теоретической основы исследований был принят способ регулирования водораспределения с использованием регулирующих емкостей, как наиболее простой и достаточно точный для решения задач оперативного управления водораспределением в условиях эксплуатации оросительной системы [14]. Суть способа заключается в том, чтобы в любой момент времени в регулируемом контуре соблюдалось условие:

$$W_{\text{р/ем, min}} \le W_{\text{рег, тек}} \le W_{\text{р/ем, max}},$$

где $W_{\text{р/ем, min}}$, $W_{\text{р/ем, max}}$ – соответственно минимальное и максимальное значение регулирующих емкостей в контуре регулирования, м^3;

$W_{\text{тек}}$ – текущее значение объема воды в контуре регулирования, м^3.

Для установленного на системе интервала регулирования $\Delta t_{\text{рег}}$ это выражение принимает вид:

$$W_{\text{р/ем, min}} \le W_{\text{рег,нач}} + \left(\sum_{i=1}^{m} Q_{\text{н/а},\, i} - \sum_{i=1}^{n} Q_{\text{в/п},\, i} \right) \cdot \Delta t_{\text{рег}} \le W_{\text{р/ем, max}},$$

где $W_{\text{рег,нач}}$ – начальное значение объема воды в контуре регулирования, м^3;

m – количество насосных агрегатов, шт.;

i – порядковый номер насосного агрегата;

$\sum_{i=1}^{m} Q_{\text{н/а},i}$ – суммарная производительность насосных агрегатов, л/с;

n – количество водопользователей на системе, шт.;

i – порядковый номер водопользователя;

$\sum_{i=1}^{n} Q_{\text{в/п},\, i}$ – суммарные расходы, забираемые из системы водопользователями, л/с;

$\Delta t_{\text{рег}}$ – интервал регулирования, с.

В качестве объекта исследований была определена система водораспределения на Миусской оросительной системе Ростовской области. Технико-эксплуатационные характеристики системы[2], определяющие режимы управления водораспределением на ней, сводятся к следующему.

Источником орошения является Миусский лиман. Головная насосная станция (ГНС) берегового типа, стационарная, расположена в с. Гаевка. Она включает в себя четыре насоса марки Д5000/50 (из них три – рабочие, один – резервный). Производительность одного насоса составляет 1,5 м^3/с. ГНС обеспечивает подачу воды на орошаемые площади государственной системы (5,8 тыс. га).

ГНС подает воду в магистральный канал-распределитель (МК)

[2] Технический отчет Неклиновского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» за 2017 г.

по двум напорным трубопроводам диаметром 1200 мм и длиной 900 м.

Из МК вода подается по межхозяйственным каналам-распределителям: МР-1, МР-2 и МР-3. Из этих распределителей вода забирается для подачи хозяйствам-водопотребителям перекачивающими насосными станциями и внутрихозяйственными самотечными водовыделами.

Общая протяженность межхозяйственной сети составляет 33,03 км, в т. ч. в бетонной одежде и лотках – 29,63 км, в закрытой сети – 3,40 км.

Используемая дождевальная техника при поливе: ДМ «Фрегат», ДДА-100М, ДДН-70, ДМ Valley, капельное орошение.

Для контроля за процессами водораспределения и осуществления водоучета на ГНС установлены ультразвуковые расходомеры РУС-1. На перекачивающих насосных станциях учет воды производится косвенным методом по производительности агрегатов насосной станции и времени их работы.

Наблюдение за уровнями воды, управление водовыпусками и подпорными сооружениями диспетчеризировано. Диспетчерская служба ведет контроль водораспределения и управляет им.

Результаты и обсуждение. Для решения проблемы предложено использовать методику поконтурного моделирования процессов управления водораспределением, заключающуюся в выделении в структуре водораспределительной сети характерных контуров, для которых можно использовать типовую моделирующую программу, оперативно настраиваемую на параметры этого контура, и последовательном расчете параметров водораспределения по каждому из этих контуров [3, 4].

Суть такой методики сводится к следующему.

1 За основу регулирования принят типовой контур регулирования (рисунок 1).

Структура включает в себя:

- описание функции (или алгоритма) подачи воды в контур регулирования водоподающим сооружением (самотечным или насосной станцией);

- параметры водораспределительной сети этого контура (текущее, минимальное, максимальное заполнение каналов);

- описание функции (или алгоритма) забора воды из контура водопотребителями.

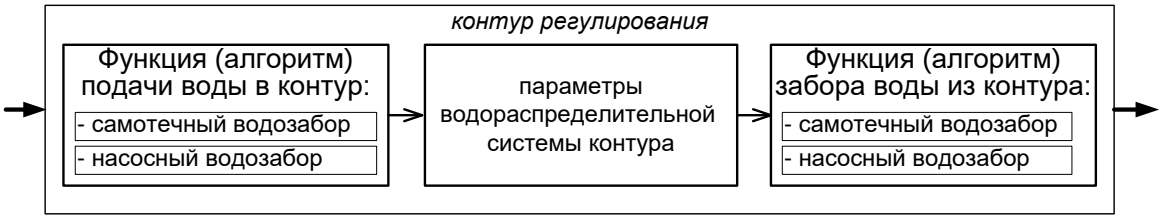

Рисунок 1 – Структура типового контура регулирования водораспределения

2 Для моделирования процессов водораспределения в этом типовом контуре разрабатывается универсальная компьютерная программа моделирования, реализующая принятый способ регулирования и обеспечивающая возможность ее легкой адаптации к конкретным условиям применения самим эксплуатационным персоналом (диспетчером) оросительной системы. Вариант экранной формы такой программы представлен на рисунке 2.

Интерфейс программы включает в себя блок исходных данных, блок моделирования процесса и блок контроля за процессом.

В блок исходных данных вводятся:

- данные о планируемых заборах воды водопотребителями;

- данные об имеющихся на системе объемах регулирования (минимальном, максимальном, текущем);

- данные о технических характеристиках подпорно-регулирующего сооружения или насосной станции, подающей воду в контур регулирования.

Блок моделирования обеспечивает варьирование режимов работы подпорно-регулирующего сооружения или агрегатов насосной станции, подающих воду в контур регулирования. Исходя из этого, а также планируемых режимов забора воды из контура водопотребителями и имеющихся в нем регулирующих емкостей, для каждого установленного на системе

интервала регулирования $\Delta t_{\text{рег}}$ оперативно определяются следующие значения параметров управления водораспределением:

- расходы и объемы, подаваемые в контур регулирования;

- расходы и объемы, забираемые из контура регулирования водопотребителями;

- текущие запасы воды в контуре регулирования;

- прогноз сработки воды в контуре при отсутствии воздействий, связанных с управлением водораспределением;

- баланс подаваемых в контур и забираемых из него объемов воды.

Блок контроля за процессом позволяет эксплуатационному персоналу (диспетчеру) обеспечить визуальный графический контроль за поведением системы по интервалам регулирования $\Delta t_{\text{рег}}$ на весь планируемый интервал моделирования и включает в себя:

- график, позволяющий контролировать динамику регулируемых объемов;

- номограмму, позволяющую контролировать значения подаваемой и забираемой воды в контуре регулирования;

- номограмму, отражающую баланс подаваемых и забираемых расходов в контуре регулирования.

Программа выполнена в среде программирования Microsoft Excel и ввиду своей общедоступности и простоты оперативно настраивается на конкретные условия эксплуатации эксплуатационным персоналом (диспетчером) оросительной системы.

3 На водораспределительной системе выделяются характерные, гидравлически связанные между собой исходные контуры регулирования водораспределения (рисунок 3).

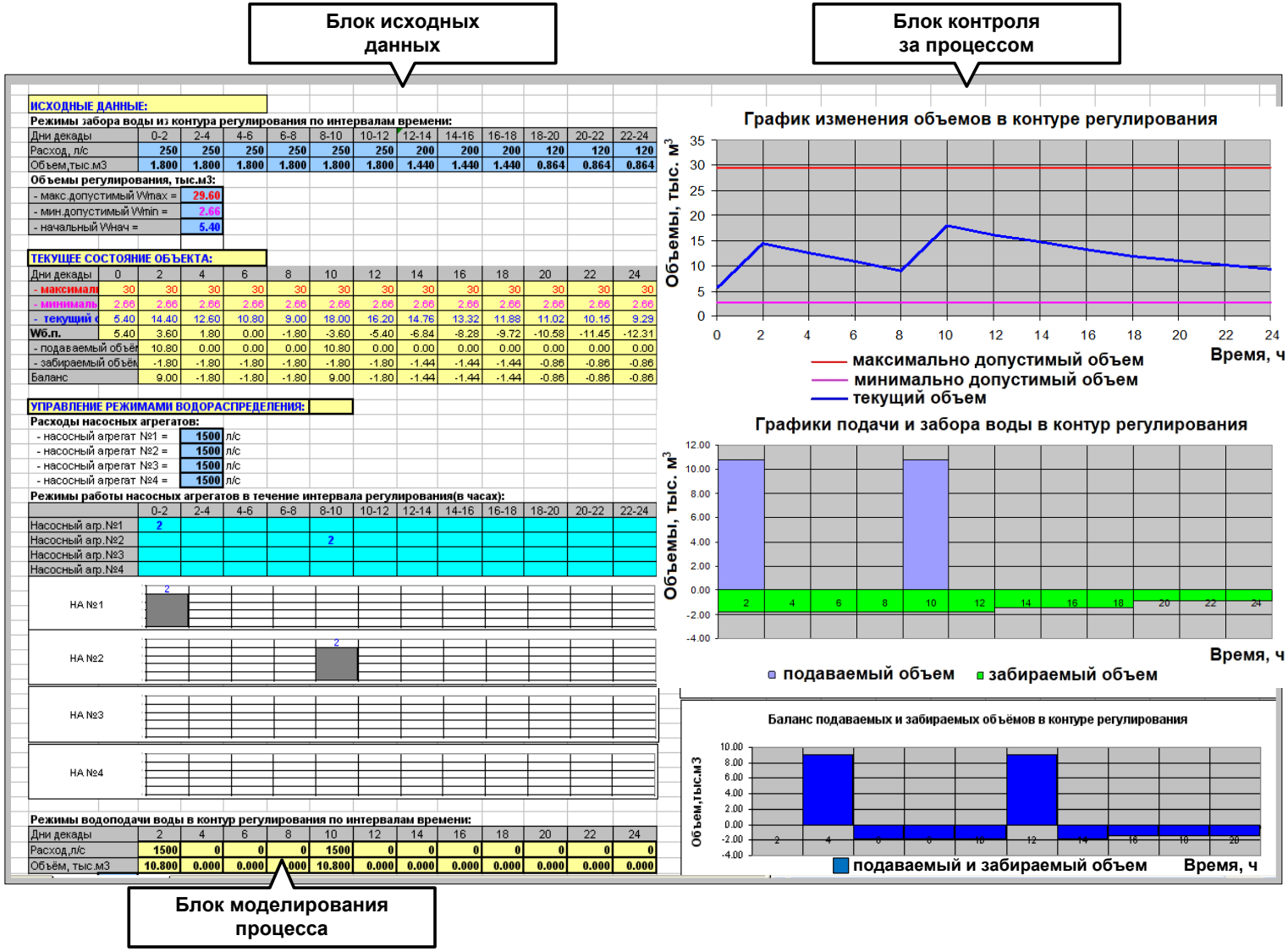

Рисунок 2 – Вариант экранной формы программы моделирования водораспределения в типовом контуре

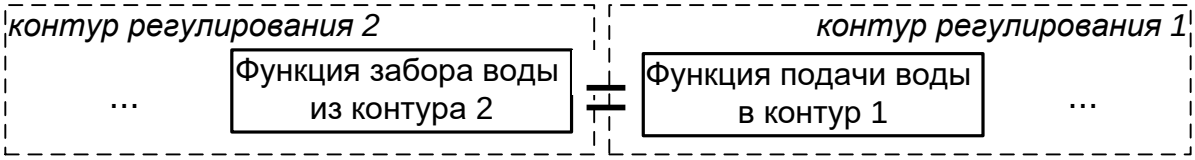

Рисунок 3 – Выделение исходных контуров регулирования

4 Производится имитационное моделирование процессов регулирования водораспределения в контуре регулирования 1. Для этого используется универсальная компьютерная программа моделирования (см. п. 2), настроенная на исходные данные этого контура: режимы забора воды из контура (заявки водопользователей) и оперативные данные о регулирующих емкостях в контуре. Моделирование ведется путем варьирования режимов подачи воды в контур регулирования (в соответствии с их эксплуатационно-техническими характеристиками соответствующих средств подачи воды в этот контур). По итогам моделирования определяется функция (или алгоритм) подачи воды в контур регулирования. Эта функция передается далее в качестве функции (алгоритма) забора воды для моделирования режимов водораспределения в контуре 2 (см. п. 5).

5 Производится имитационное моделирование процессов регулирования водораспределения в контуре регулирования 2. Для этого используется та же (или лучше хранящаяся в отдельном файле или закладке) типовая универсальная программа моделирования (см. п. 2), но настроенная на исходные данные уже этого контура 2. В качестве исходных данных в этом случае выступает функция (алгоритм) забора воды из контура 2, равная функции подачи воды в контур регулирования 1 (см. п. 4), и оперативные данные о регулирующих емкостях контура 2. Моделирование ведется путем варьирования режимов подачи воды в контур регулирования 2 в соответствии с эксплуатационно-техническими характеристиками средств подачи воды в этот контур. По итогам моделирования определяется функция (или алгоритм) подачи воды в контур регулирования (систему).

6 При необходимости аналогичным образом производится модели-

рование в третьем и последующих выделенных контурах регулирования водораспределения.

Определенные таким образом режимы управления водораспределением могут использоваться в качестве вариантов решений, принимаемых службой эксплуатации оросительной системы (диспетчером), по управлению работой насосно-силового оборудования и подпорно-регулирующих сооружений системы, обеспечивающих управление водораспределением на этой системе.

Для демонстрации возможностей предлагаемого способа управления водораспределением в качестве одного из объектов был взят участок Миусской оросительной системы (рисунок 4).

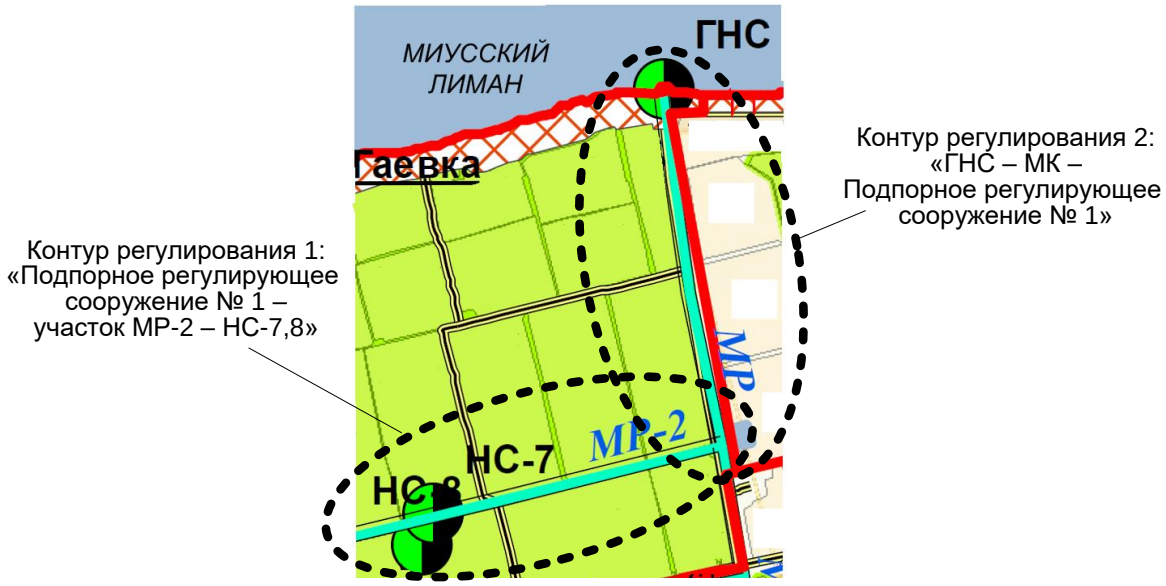

Рисунок 4 – Фрагмент исследуемого участка водораспределения на Миусской оросительной системе

Задача регулирования состояла в следующем:

1 Исходя из заявки на воду, которая подается на орошаемые площади, подвешенные к станциям НС-7 и НС-8, и оперативных данных об объемах воды на участке канала МР-2, определить режим подачи воды в МР-2 подпорным регулирующим сооружением № 1.

2 Исходя из определенного в п. 1 режима подачи воды в МР-2 подпорным регулирующим сооружением № 1 и оперативных данных о режи-

мах работы распределительной сети на участке МК, определить режим работы ГНС, подающей воду в систему.

В соответствии с изложенной выше методикой были выделены два контура регулирования (см. рисунок 4). С учетом же технических характеристик выделенного участка структура моделирования приобрела вид, представленный на рисунке 5.

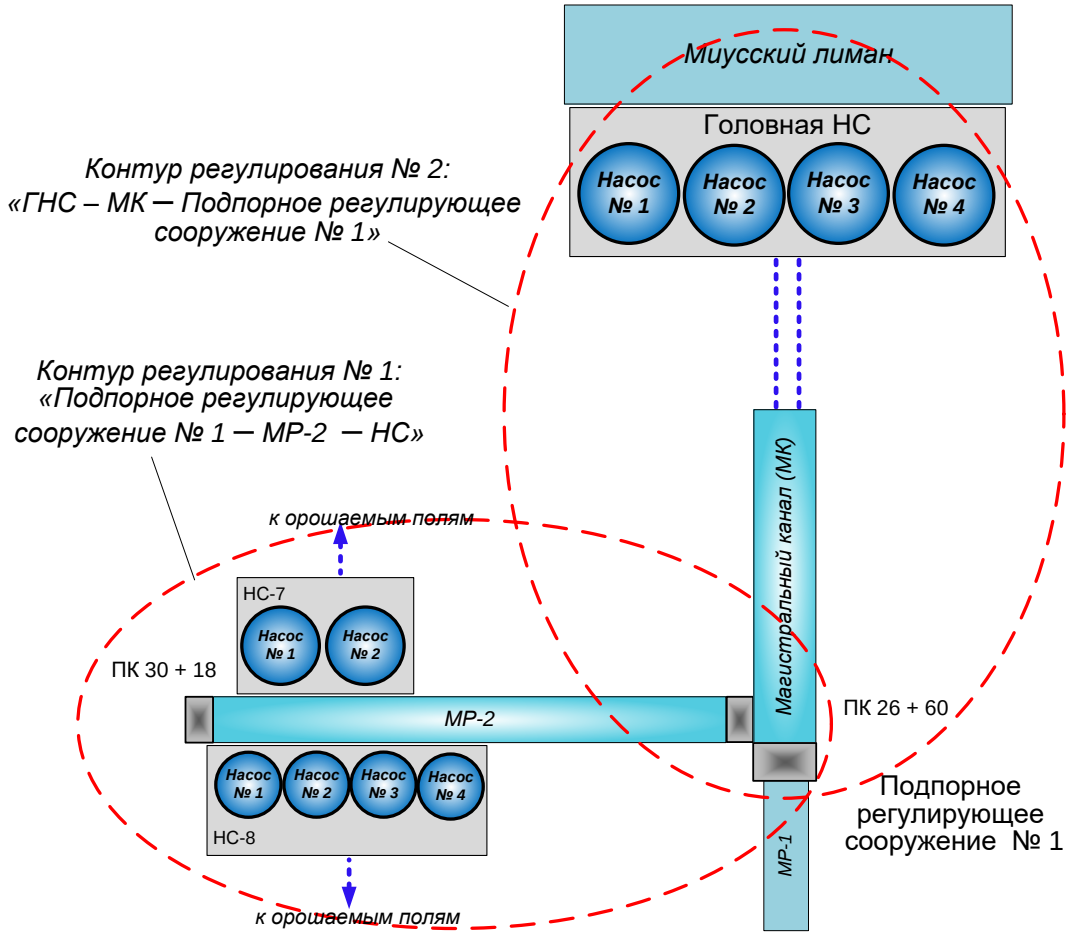

Рисунок 5 – Структура управления водораспределением на исследуемом участке водораспределительной сети

Контур регулирования № 1 включил в себя нижний бьеф подпорного регулирующего сооружения № 1, участок канала МР-2 (до ПК 30 + 18), насосные станции НС-7 и НС-8.

В контур регулирования № 2 вошли ГНС, МК, верхний бьеф подпорного регулирующего сооружения № 1.

На первом этапе моделирования был проимитирован процесс водо-

распределения в контуре регулирования № 1. В качестве оперативных исходных данных были приняты:

- интервал регулирования – 2 ч (принятый на Миусской оросительной системе);

- режим забора воды из канала МР-2 – в соответствии с одним из возможных вариантов заявки на воду, подаваемую на орошаемые поля насосными станциями НС-7 и НС-8 (таблица 1);

- оперативные данные об объемах воды на участке канала МР-2 от подпорного регулирующего сооружения № 1 до ПК 30 + 80:

а) текущий объем воды на начало регулирования – 5,2 тыс. м^3;

б) минимально допустимый объем воды в канале, обеспечивающий забор воды НС-7 и НС-8, – 2,0 тыс. м^3;

в) максимально допустимый объем воды в канале – 12 тыс. м^3.

Таблица 1 – Заявка на воду из канала МР-2 насосными станциями НС-7 и НС-8

Показатель	Интервал регулирования, по часам											
	00–02	02–04	04–06	06–08	08–10	10–12	12–14	14–16	16–18	18–20	20–22	22–24
Расход, л/с	200	200	300	300	300	100	100	100	–	–	400	400
Объем, м^3	1440	1440	2160	2160	2160	720	720	720	–	–	2880	2880

Моделирование производилось путем варьирования возможных режимов подачи воды в МР-2 подпорным регулирующим сооружением № 1.

Результаты моделирования в контуре регулирования № 1 (нижний бьеф подпорного регулирующего сооружения № 1 – МР-2 – НС-7 и НС-8) представлены на рисунке 6.

Результаты моделирования позволили определить режим подачи воды в МР-2 подпорным регулирующим сооружением № 1 (таблица 2).

Таблица 2 – Определенный режим подачи воды в МР-2 подпорным регулирующим сооружением № 1

Показатель	Интервал регулирования, по часам											
	00–02	02–04	04–06	06–08	08–10	10–12	12–14	14–16	16–18	18–20	20–22	22–24
Расход, л/с	250	250	250	250	250	250	200	200	200	120	120	120
Объем, м^3	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1440	1440	1440	864	864	864

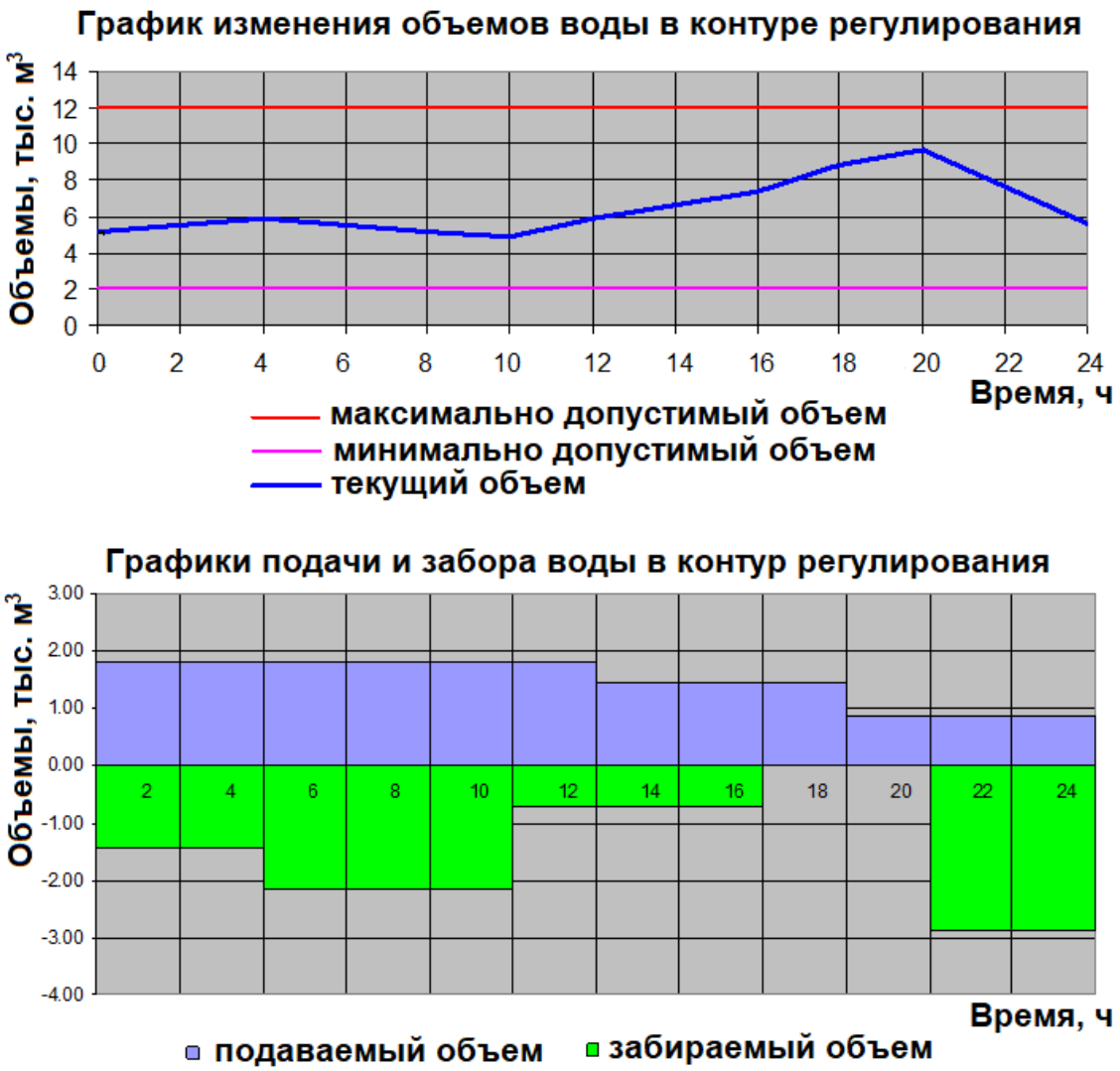

Рисунок 6 – Результаты моделирования водораспределения в контуре регулирования № 1

На втором этапе моделирования был проимитирован процесс водораспределения в контуре регулирования № 2. В качестве оперативных исходных данных были приняты:

- режим подачи воды из МК в МР-2, полученный по результатам моделирования в первом контуре регулирования (см. таблицу 2);

- технические характеристики насосных агрегатов ГНС:

а) количество насосных агрегатов – четыре;

б) производительность одного насосного агрегата – 1500 л/с;

- оперативные данные об объемах воды в МК:

а) текущий объем воды на начало регулирования – 5,4 тыс. м^3;

б) минимально допустимый объем воды – 2,66 тыс. м^3;

в) максимально допустимый объем воды – 29,6 тыс. м^3.

Моделирование осуществлялось путем варьирования режимов работы насосных агрегатов ГНС, подающих воду в систему. Результаты моделирования представлены на рисунке 7.

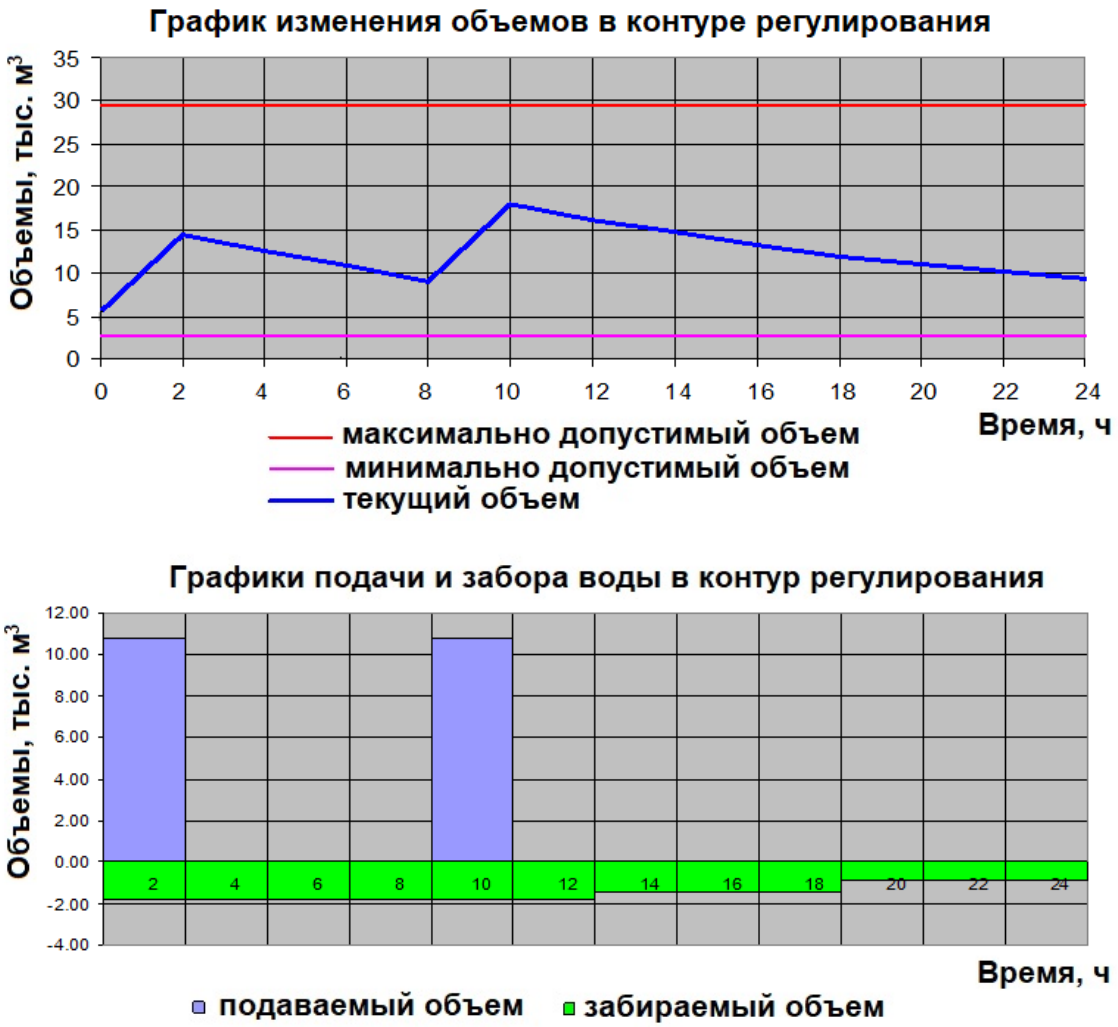

Рисунок 7 – Результаты моделирования водораспределения в контуре регулирования № 2

Отметим, что результат моделирования в контуре № 2 позволил не только определить режимы подачи воды в систему всей ГНС, но и составить графики работы насосных агрегатов ГНС, что, в свою очередь, может представлять интерес для эксплуатационных служб, обеспечивающих их техническое обслуживание и ремонт.

Опытное внедрение разработанных средств показало, что время, не-

обходимое эксплуатационному персоналу для настройки разработанных средств на один контур регулирования, может составлять несколько часов (при этом целесообразно для каждого контура регулирования выделять отдельную закладку, так как это позволяет уменьшить затраты времени на перенастройку программы, снизить риск ошибок). Время же, затрачиваемое на последующее использование этих средств в процессе оперативного управления водораспределением на системе, лежит в пределах от одной-двух до нескольких минут (в зависимости от квалификации персонала).

Выводы. Разработанные мобильные средства поддержки управления водораспределением предназначены для повышения оперативности и качества принимаемых решений, связанных с организацией и проведением оперативного управления водораспределением на оросительных системах. Они ориентированы на работу в условиях эксплуатации оросительной системы и обеспечивают возможность их настройки и применения самими специалистами оросительных систем, не имеющими специальных знаний в области компьютерных технологий.

Апробация разработанных средств показала, что, несмотря на ряд принятых в ней существенных упрощений и огрублений, они позволяют с достаточной точностью определить режимы работы насосно-силового оборудования и подпорно-регулирующих сооружений системы, отследить динамику объемов в ее каналах, автоматизировать процедуры расчета эксплуатационных показателей работы оросительной системы и документооборота.

Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Совершенствование конструкций открытых оросительных систем и управления водораспределением / В. Н. Щедрин. – М.: Мелиорация и вод. хоз-во, 1998. – 160 с.

2 Моделирование динамического управления водораспределением на каналах открытой оросительной сети / В. Н. Щедрин, А. А. Чураев, В. М. Школьная, Л. В. Юченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2015. – № 4(20). – С. 1–20. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec367-field6.pdf.

3 Ткачев, А. А. Активное управление водораспределением в магистральных ка-

налах с предельно обеспеченным (100 %) водопотреблением уровней воды на перегораживающих сооружениях / А. А. Ткачев // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2006. – № 2. – С. 100–109.

4 Чураев, А. А. Управление процессами водораспределения на оросительных системах: науч. обзор / А. А. Чураев, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2014. – 52 с. – Деп. в ВИНИТИ 02.06.14, № 156-В2014.

5 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 307 с.

6 Щедрин, В. Н. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 395 с.

7 Обоснование эффективности планирования технологических процессов водопользования и оперативное управление водораспределением на базе использования метода Монте-Карло / В. И. Ольгаренко, И. Ф. Юрченко, И. В. Ольгаренко, Г. Г. Костюнин, М. С. Эфендиев, В. Иг. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 49–66. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec530-field6.pdf.

8 Юрченко, И. Ф. Системы поддержки принятия решений как фактор повышения эффективности управления мелиорацией / И. Ф. Юрченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 2(26). – С. 195–209. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec490-field6.pdf.

9 Кульгавюк, А. В. Информационно-технологическое обеспечение водораспределения на оросительных системах / А. В. Кульгавюк, А. А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2011. – № 3(03). – С. 1–6. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec53-field6.pdf.

10 Юрченко, И. Ф. Автоматизированное управление водораспределением на межхозяйственных оросительных системах / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 2. – С. 178–184.

11 Хмеляк, А. С. Информационные системы управления предприятием: положительные и отрицательные стороны внедрения / А. С. Хмеляк // Актуальные вопросы экономических наук. – 2013. – № 35. – С. 182–186.

12 Школьная, В. М. К вопросу автоматизации водораспределения на участке канала с применением SCADA-систем / В. М. Школьная, В. Э. Завалюев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2(62). – С. 43–48.

13 Ткачев, А. А. Управление водораспределением в каналах с локальным регулированием уровней воды по верхнему бьефу перегораживающих сооружений / А. А. Ткачев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2008. – № 5. – С. 35–40.

14 Вариант имитационного моделирования водораспределения по контурам регулирования / В. И. Коржов, О. В. Сорокина, Т. В. Коржова, Г. В. Матвиенко // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), 7–24 нояб. 2017 г. / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова. – Новочеркасск: Лик, 2017. – Вып. 15, ч. 1. – С. 85–92.

References

1 Shchedrin V.N., 1998. *Sovershenstvovanie konstruktsiy otkrytykh orositel'nykh sistem i upravleniya vodoraspredeleniem* [Perfection of the open irrigation systems construc-

tions and water distribution management]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Industry]. Moscow, 160 p. (In Russian).

2 Shchedrin V.N., Churaev A.A., Shkol'naya V.M., Yuchenko L.V., 2015. *Modelirovanie dinamicheskogo upravleniya vodoraspredeleniem na kanalakh otkrytoy orositel'noy seti* [Simulation of dynamic water distribution control at canals of open irrigation net]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 4(20), pp. 1-20, available: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec367-field6.pdf. (In Russian).

3 Tkachev A.A., 2006. *Aktivnoe upravlenie vodoraspredeleniem v magistral'nykh kanalakh s predel'no obespechennym (100 %) vodopotrebleniem urovney vody na peregorazhivayushchikh sooruzheniyakh* [Active management of water distribution in main canals with 100 % water demand at water-fired facilities]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Management in Russia: Problems, Technologies, Management], no. 2, pp. 100-109. (In Russian).

4 Churaev A.A., Yuchenko L.V., Vainberg M.V., 2014. *Upravlenie protsessami vodoraspredeleniya na orositel'nykh sistemakh: nauch. obzor* [Management of water distribution processes in irrigation systems: scientific review]. Novocherkassk, 52 p., deposited in VINITI on 02.06.14, no. 156-B2014. (In Russian).

5 Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasil'ev S.M., Churaev A.A., 2013. *Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya. V 2 chastyah. CHast' 2* [Irrigation systems in Russia: from generation to generation: monograph]. In 2 parts, part 2, Novocherkassk, Helikon Publ., 307 p. (In Russian).

6 Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Slabunov V.V., 2013. *Osnovnye pravila i polozheniya ekspluatatsii meliorativnykh sistem i sooruzheniy, provedeniya vodoucheta i proizvodstva ekspluatatsionnykh rabot: monografiya. V 2 chastyah. CHast' 2* [Basic rules and regulations for the operation of reclamation systems and structures, water accounting and maintenance works: monography. In 2 parts. Part 1]. Novocherkassk, Helikon Publ., 395 p. (In Russian).

7 Ol'garenko V.I., Yurchenko I.F., Ol'garenko I.V., Kostyunin G.G., Efendiev M.S., Ol'garenko V.Ig., 2018. *Obosnovanie effektivnosti planirovaniya tekhnologicheskikh protsessov vodopol'zovaniya i operativnoe upravlenie vodoraspredeleniem na baze ispol'zovaniya metoda Monte-Karlo* [Substantiation of the efficiency of planning water-use technological processes and operating control of water distribution using the Monte Carlo method]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(29), pp. 49-66, available: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec530-field6.pdf. (In Russian).

8 Yurchenko I.F., 2017. *Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy kak faktor povysheniya effektivnosti upravleniya melioratsiey* [Decision support systems as a factor of increasing the efficiency of reclamation operation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(26), pp. 195-209, available: http: rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec490-field6.pdf. (In Russian).

9 Kulgavyuk A.V., Churaev A.A., 2011. *Informatsionno-tekhnologicheskoe obespechenie vodoraspredeleniya na orositel'nykh sistemakh* [Information and technological support of water distribution in irrigation systems]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 3(03), pp. 1-6, available: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec53-field6.pdf. (In Russian).

10 Yurchenko I.F., Trunin V.V., 2012. *Informatsionno-tekhnologicheskoe obespechenie vodoraspredeleniya na orositel'nykh sistemakh* [Computer assisted control of water distribution in inter-farm irrigation systems]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo*

kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Bull. Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education], no. 2, pp. 178-184. (In Russian).

11 Khmelyak A.S., 2013. *Informatsionnye sistemy upravleniya predpriyatiem: polozhitel'nye i otritsatel'nye storony vnedreniya* [Information systems of enterprise management: positive and negative aspects of implementation]. *Aktualnye voprosy ekonomicheskikh nauk* [Urgent Issues of Economic Sciences], no. 35, pp. 182-186. (In Russian).

12 Shkol'naya V.M., Zavalyuev V.E., 2016. *K voprosu avtomatizatsii vodoraspredeleniya na uchastke kanala s primeneniem SCADA-sistem* [On the issue of water distribution automation in the channel area using SCADA systems]. *Puti povysheniya effektivnosty oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(62), pp. 43-48. (In Russian).

13 Tkachev A.A., 2008. *Upravlenie vodoraspredeleniem v kanalakh s lokal'nym regulirovaniem urovney vody po verkhnemu b'yefu peregorazhivayushchikh sooruzheniy* [Water supply management of canals with local water level control by obstructing constructions]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 5, pp. 35-40. (In Russian).

14 Korzhov V.I., Sorokina O.V., Korzhova T.V., Matvienko G.V., 2017. *Variant imitatsionnogo modelirovaniya vodoraspredeleniya po konturam regulirovaniya* [A variant of simulation of water distribution along the regulating loops]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Puti povysheniya effektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti melioratsiy zemel' Yuga Rossii: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Shumakovskie chteniya)* [Irrigation and Water Management. Ways of increasing the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia: Proc. of All-Russian scientific-practical conf. (Shumakov readings),]. A.K. Kortunov Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute. Novocherkassk, Lick Publ., issue 15, part 1, pp. 85-92. (In Russian).

Коржов Виктор Иванович
Ученая степень: кандидат технических наук
Ученое звание: профессор
Должность: профессор
Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»
Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428
E-mail: kvi.vi@yandex.ru

Korzhov Viktor Ivanovich
Degree: Candidate of Technical Sciences
Title: Professor
Position: Professor
Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University
Affiliation address: str. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428
E-mail: kvi.vi@yandex.ru

Сорокина Оксана Викторовна
Должность: аспирант
Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428
Должность: инженер-мелиоратор
Место работы: федеральное государственное бюджетное учреждение «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Ростовской области»
Адрес организации: пр-т М. Нагибина, 14а, г. Ростов-на-Дону, Ростовская область, Российская Федерация, 344000
E-mail: oksana.sorokina27@gmail.com

Sorokina Oksana Viktorovna
Position: Graduate Student
Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University
Affiliation address: str. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428
Position: Land Reclamation Engineer
Affiliation: Land Reclamation and Agricultural Water Supply Department for the Rostov Region
Affiliation address: ave. M. Nagibina, 14a, Rostov-on-Don, Rostov region, Russian Federation, 344000
E-mail: oksana.sorokina27@gmail.com

Матвиенко Геннадий Олегович
Должность: аспирант
Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»
Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428
Должность: инженер
Место работы: федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр»
Адрес организации: ул. Филимоновская, 174, г. Ростов-на-Дону, Ростовская область, Российская Федерация, 344000
E-mail: gena19932503@mail.ru

Matvienko Gennady Olegovich
Position: Graduate Student
Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University
Affiliation address: str. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428
Position: Engineer
Affiliation: Russian Information and Analytical and Scientific and Research Water Management Center
Affiliation address: str. Filimonovskaya, 174, Rostov-on-Don, Rostov region, Russian Federation, 344000
E-mail: gena19932503@mail.ru

Коржов Иван Викторович
Должность: заведующий сектором моделирования водохозяйственных систем
Место работы: федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр»

Адрес организации: ул. Филимоновская, 174, г. Ростов-на-Дону, Ростовская область, Российская Федерация, 344000
E-mail: sedoj1001@yandex.ru

Korzhov Ivan Viktorovich
Position: Head of Sector for Water Management Systems Modeling
Affiliation: Russian Information-Analytical and Scientific and Research Water Management Center
Affiliation address: str. Filimonovskaya, 174, Rostov-on-Don, Rostov Region, Russian Federation, 344000
E-mail: sedoj1001@yandex.ru