

УДК 631.674

DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-105-125

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

Т. В. Коржова

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, 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

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НОВЫХ СРЕДСТВ И СПОСОБОВ ПОЛИВА НА ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Целью исследований являлось совершенствование теории управления водораспределением на оросительных системах, использующих недавно появившиеся средства и способы полива. Сделан вывод о том, что появление новых возможностей у современных дождевальных машин, а также все более широкое использование маловодозатратных способов полива определяет и возникновение новых, ранее не рассматриваемых в теории водораспределения видов возмущающих воздействий, оказывающих влияние на работу оросительных систем. Показано, что в ряде случаев это может приводить к нештатным ситуациям на водораспределительной сети и, как следствие, к непроизводительным потерям оросительной воды или даже аварийным ситуациям. Анализ работы дождевальных машин в режиме *Zone Control* позволил выявить, что возможность программируемого управления вентилями дождевателей в этом режиме, с одной стороны, позволяет управлять поливной нормой, но, с другой, приводит к неконтролируемому дисбалансу между количеством воды, подаваемой водораспределительной системой и забираемой на нужды орошения. Анализ опции *Speed Control*, позволяющей управлять поливными нормами путем изменения скорости движения дождевальной машины, показал, что в ряде случаев это может приводить к конфликтам, связанным с неправильным позиционированием дождевальной машины на водораспределительной системе, и, как следствие, неправильному определению времени добеганий и рассинхронизации подаваемых и забираемых расходов. Показано также, что применение систем капельного орошения, обеспечивая экономное использование оросительной воды при проведении поливов, в то же время может приводить к ее возможным непроизводительным потерям в водораспределительной сети из-за технической невоз-

возможности согласования в ней величин подаваемых и забираемых расходов. Сделаны выводы о том, что применение новых способов полива и их возможностей должно организационно и технически увязываться с существующими возможностями систем водораспределения, подающих им воду, сопровождаться совершенствованием алгоритмов и средств управления водораспределением.

Ключевые слова: оросительные системы, способы полива, дождевальные машины, капельное орошение, водопотребление, водоподача, водораспределительная сеть, управление водораспределением.

V. I. Korzhov

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of Don State Agrarian University, Novocherkassk, 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

T. V. Korzhova

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of Don State Agrarian University, Novocherkassk, 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

ANALYSIS OF INFLUENCE OF NEW IRRIGATION FACILITIES AND METHODS ON WATER DISTRIBUTION OPERATION PROCESSES

The aim of the research was to perfect the theory of water distribution management in irrigation systems using newly developed means and methods of irrigation. The conclusion was drawn that the emergence of new opportunities in modern sprinklers as well as the increasing use of low-water irrigation methods, also determines the appearance of new types of disturbances affecting the work of irrigation systems that have not been previously considered in the theory of water distribution. It is shown that, in some cases, it can lead to emergencies in the water distribution network and, as a consequence, to unproductive losses of irrigation water or even emergencies. Analysis of the operation of sprinklers in the Zone Control mode revealed that the possibility of programmable control of sprinkler valves in this mode, on the one hand, allows controlling the irrigation norm, but, on the other hand, leads to an uncontrolled disbalance between the amounts of water supplied by the water distribution system, and water withdrawn for irrigation. Analysis of the Speed Control option which allows controlling the irrigation rates by changing the speed of the sprinkler, showed that in some cases this can lead to conflicts connected with incorrect positioning of the sprinkler on water distribution system and, as a consequence, to the wrong definition of lag time and dissynchronization of costs and expenses. It is also shown that the use of drip irrigation systems ensuring the economical use of irrigation water during irrigation at the same time can lead to its possible unproductive losses in water distribution network due to the engineering impossibility of matching the amounts of costs and expenses therein. Conclusions are drawn that the use of new irrigation methods and their capacities should be organizationally and technically linked with the existing capabilities of water distribution systems, delivering water to them and be

accompanied by the improvement of algorithms and means of water distribution management.

Key words: irrigation systems, irrigation methods, sprinkler machines, drip irrigation, water consumption, water delivery, water distribution network, water distribution management.

Введение. Появление новых средств и способов полива сельскохозяйственных культур определило и появление новых, раньше не рассматриваемых режимов забора ими воды из водораспределительной сети. При этом можно выделить два основных направления этих изменений.

Первое направление связано с использованием современных высокопроизводительных и высокотехнологичных дождевальных машин (в т. ч. импортного производства Reinke, Valley и Zimmatic и их отечественных аналогов). Множество появившихся у этих машин новых опций и возможностей (таких, например, как возможности полива на площадях разного размера и конфигурации, работы на склонах до 15 %, внесения удобрений и средств защиты растений с оросительной водой, низкие давления на входах в машину и др. [1, 2]) определило их заслуженную популярность у сельхозпроизводителей.

В то же время, признавая достоинства этих новых опций и возможностей, следует отметить, что реализация многих из них зачастую связана с существующими возможностями других участников мелиоративно-хозяйственного комплекса, в т. ч. реально действующих водораспределительных систем. Большинство из этих систем было запроектировано и построено несколько десятилетий назад, и в связи с этим их технические возможности продолжают базироваться на средствах и технологиях водораспределения того периода [3–5]. Поэтому появление в их структурах новых, не предусмотренных ранее субъектов водопользования может приводить к новым, не учитываемым ранее ситуациям. Так, например, современные широкозахватные машины могут в автоматическом режиме за несколько минут изменить свой режим водопотребления от нуля до нескольких сотен литров в секунду [6]. Очевидно, что это не может не сказываться как на гидравлических режимах работы оросителя, подающего им воду,

так и на режимах работы каналов и сооружении всей водораспределительной системы в целом [7]. Или, например, ряд таких недавно появившихся у современных дождевальных машин опций, как Zone Control и Speed Control [8], может определять неравномерный, а самое главное неконтролируемый для существующих на настоящий момент технологий управления водораспределением режим забора ими воды из оросительной сети. Очевидно, это также не может способствовать оптимальному водораспределению на оросительной системе в целом.

Второе направление изменений противоположно первому. Оно связано с все большим использованием водопользователями маловодозатратных способов полива, и в первую очередь капельного орошения. Системы капельного орошения, в отличие от высокопроизводительных дождевальных машин, характеризуются относительно небольшими заборами воды из оросительной сети, ориентированными, главным образом, на заполнение регулирующих емкостей, из которых затем осуществляется забор воды на нужды капельного орошения [9]. Попытка синхронной подачи воды к водовыделам этих водопользователей теми же расходами, которые они забирают, сталкивается с их многократной несоизмеримостью с производительностью используемого на действующих системах насосно-силового оборудования и пропускными возможностями водопроводящей сети. В результате объемы воды, используемые на нужды орошения, становятся соизмеримыми с объемами, затрачиваемыми на поддержание командных уровней, потерями на фильтрацию и испарение¹.

Таким образом, появление современных средств и способов полива создало условия для возникновения конфликтов между новыми возможностями этих средств и реально имеющимися возможностями действующих водораспределительных систем. Это определило необходимость анализа

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

подобных ситуаций и оценки их влияния на процессы управления водораспределением. Этому и были посвящены настоящие исследования.

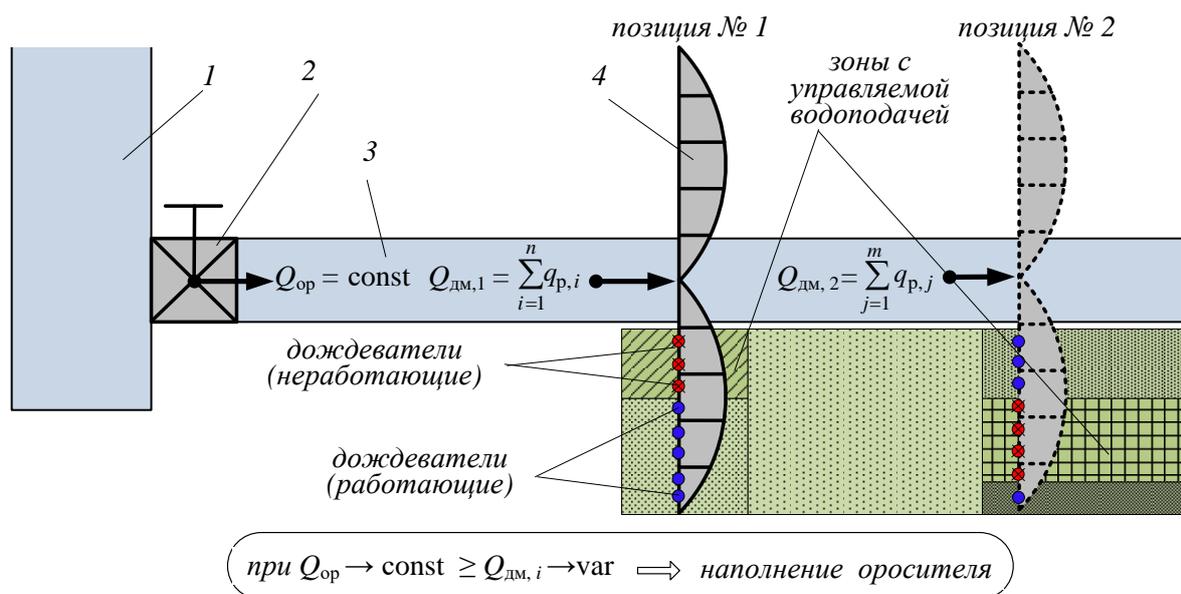
Материалы и методы. Методологическая основа работы базируется на применении теоретических и практических положений, связанных с использованием схем, алгоритмов и моделей регулирования процессов водораспределения, которые изложены в работах В. Н. Щедрина, П. И. Коваленко, Я. В. Бочкарёва, И. Ф. Юрченко и других специалистов, посвятивших свои исследования данной проблематике [10–16]. Основными объектами анализа являлись расходы и объемы воды в контурах управления водораспределением в условиях действия в их структуре новых, не анализируемых ранее возмущающих воздействий, возникающих в связи с применением новых средств и способов полива и (или) их новых возможностей.

Материалами для анализа влияния новых возможностей современных дождевальных машин на процессы управления водораспределением послужили технические характеристики дождевальных машин Valley [8], а также опыт их внедрения в ООО «Исток-1» (63 и 100 га) и КФХ «Юзефов Н. Н.» (92 га) Семикаракорского района Ростовской области [17], в КФХ «Наполов Ю. А.» Неклиновского района Ростовской области (36 га)². Анализу подвергались варианты работы дождевальной машины Valley в режимах Zone Control и Speed Control.

При анализе влияния систем капельного орошения на процессы управления водораспределением использовались сведения о достоинствах и недостатках капельного орошения, конструкциях и компоновке оросительной сети и систем капельного решения [9, 18–21]. Опыт работы систем капельного орошения в составе действующей системы водораспределения изучался на примере ОАО «Золотая Коса», забирающего воду из канала МР-1 Миусской оросительной системы насосной станцией НС-19 для полива ягодников на площади 130 га, и КФХ «Рыпунов М. Н.», забирающего

воду из канала МР-2 Миусской оросительной системы с использованием помпы для полива овощей на площади 8 га².

Результаты и обсуждение. Функция Zone Control обеспечивает возможность программируемого открывания (закрывания) вентиля дождевателей в зонах поля с особо управляемой водоподачей (например, на участках, не требующих полива: эксплуатационных площадках, дорогах, канавах и т. п., а также участках с другой поливной нормой, другим типом почв и т. п.) [8]. В связи с этим работа дождевальной машины в режиме Zone Control предполагает, что расход дождевальной машины на каждой ее конкретной позиции на оросителе определяется не максимальной производительностью ее водозаборной установки $Q_{\text{дм, max}}$, а суммой расходов открытых на данный момент дождевателей (рисунок 1).



1 – распределительный канал; 2 – водовыдел; 3 – ороситель; 4 – дождевальная машина

Рисунок 1 – Схема взаимодействия открытой водораспределительной сети с дождевальной машиной фронтального типа, использующей функцию Zone Control

Это означает, что фактический расход, забираемый этой машиной из оросителя, будет определяться следующим образом:

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

$$Q_{\text{дм},i} = \sum_{j=1}^n q_j,$$

где $Q_{\text{дм},i}$ – фактический расход, забираемый дождевальной машиной из оросителя на i -й позиции, л/с;

i – номер позиции дождевальной машины на оросителе;

n – количество одновременно работающих дождевателей, шт.;

q – расход одного работающего дождевателя, л/с.

Очевидно, что при таком режиме подачи воды, когда в ороситель будет подаваться постоянный расчетный расход $Q_{\text{ор}}$, равный максимальной производительности дождевальной машины $Q_{\text{дм},\text{max}}$, а фактически ею будет забираться меньший расход $Q_{\text{дм},i}$, равный сумме расходов только работающих дождевателей, будет наблюдаться дисбаланс:

$$Q_{\text{ор}} \rightarrow \text{const} \geq Q_{\text{дм},i} \rightarrow \text{var}. \quad (1)$$

Этот дисбаланс (1) означает, что в некоторые моменты времени будут наблюдаться явления накопления излишков воды в оросителе. Очевидно, что игнорирование этих явлений может привести к его переполнению и даже переливам через бровки.

Решение данной проблемы лежит, прежде всего, в совершенствовании алгоритмов управления водораспределением. В тех же случаях, когда отклонения между режимами подачи воды в ороситель $Q_{\text{ор}}$ и ее забором дождевальной машиной $Q_{\text{дм},i}$ не столь существенны, для решения проблемы могут быть предложены еще и следующие варианты:

- первый вариант – обеспечить регулирование объемов воды в канале-оросителе путем использования его регулирующих емкостей. При этом должен быть произведен превентивный расчет всех возможных вариантов поведения системы (с учетом имеющихся зон с управляемой водоподачей) с тем, чтобы не было аварийных переполнений каналов;

- второй вариант – обеспечить синхронное с изменениями расходов

В данном случае могут быть предложены следующие решения:

- первый вариант – обеспечить синхронное с изменениями расходов дождевальной машины изменение расходов на насосной станции, подающей воду в систему. Для этого может быть использована локальная система автоматического регулирования расхода на участке;

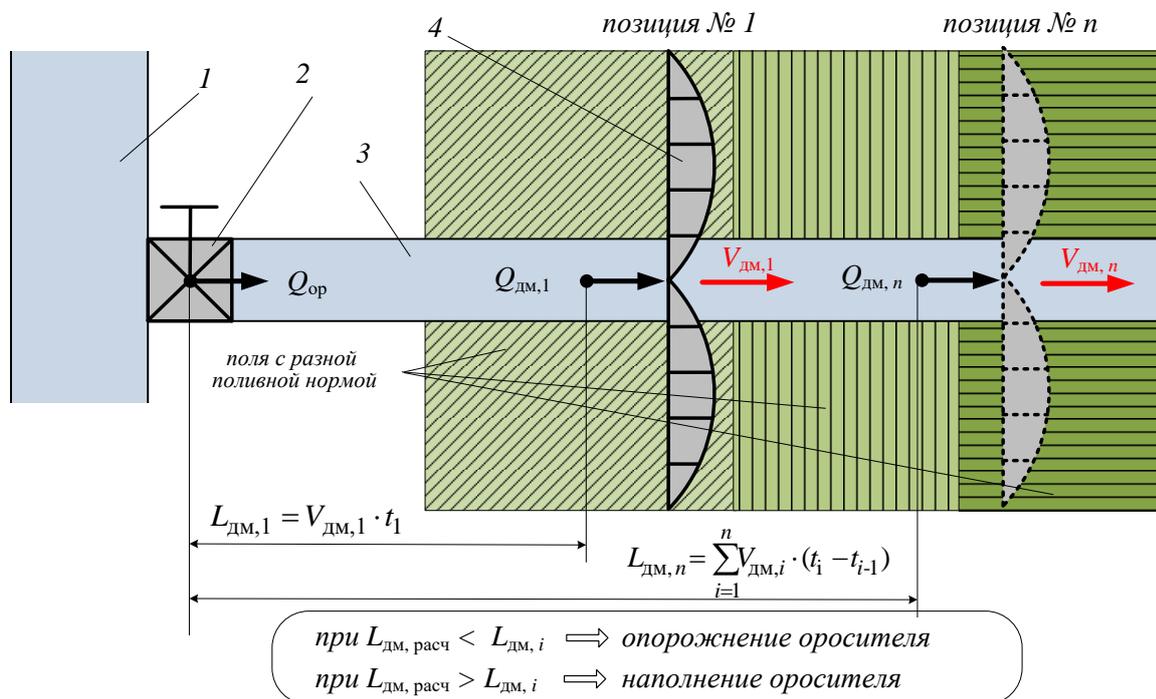
- второй вариант – обеспечить программированное регулирование расходов воды, подаваемых в закрытую оросительную сеть. При этом, так же как и для машин фронтального действия, должен быть произведен превентивный расчет всех возможных вариантов поведения системы с учетом имеющихся зон с управляемой водоподачей.

Функция Speed Control предполагает программированное ускорение или замедление движения дождевальной машины для обеспечения разных поливных норм в разных зонах полива [8]. В связи с этим особенности влияния этой функции на режимы водораспределения связаны в первую очередь с этими возможными ее неконтролируемыми положениями относительно оросителя и (или) поля. Схема взаимодействия дождевальной машины фронтального действия, работающей в режиме Speed Control, с открытым водораспределителем проиллюстрирована на рисунке 3.

«Рваный» режим движения дождевальной машины, использующей функцию Speed Control, может вызвать у служб управления водораспределением неопределенность, связанную с несовпадением ее расчетного местоположения относительно оросителя $L_{\text{дм, расч}}$ с фактическим $L_{\text{дм, i}}$. Как следствие, это может привести к неточному определению времени добега измененных расходов к дождевальной машине $t_{\text{доб, i}}$ и появлению проблем, связанных с рассинхронизацией подаваемого в ороситель расхода $Q_{\text{ор}}$ и расхода, забираемого дождевальной машиной $Q_{\text{дм}}$, а именно:

- при $L_{\text{дм, расч}} < L_{\text{дм, i}}$ – к неконтролируемому опорожнению водораспределителя, подающего воду к машине;

- при $L_{\text{дм, расч}} > L_{\text{дм, } i}$ – к неконтролируемому наполнению водораспределителя, подающего воду к машине.



1 – распределительный канал; 2 – водовыдел; 3 – ороситель; 4 – дождевальная машина

Рисунок 3 – Схема взаимодействия открытой водораспределительной сети с дождевальными машинами фронтального типа, использующей функцию Speed Control

В данном случае могут быть предложены следующие решения:

- первый вариант: использовать емкости канала-водораспределителя в качестве регулирующих для «сглаживания» возможных отклонений между подаваемыми и забираемыми объемами. При этом, так же как и для случая с использованием функции Zone Control, должен быть произведен превентивный расчет всех возможных вариантов поведения системы с учетом имеющихся зон с разными поливными нормами;

- второй вариант: обеспечить синхронное с изменениями уровней воды в оросителе изменение расходов на регулируемом водовыделе. Для этого может быть использована локальная система автоматического регулирования уровня [11, 21];

- третий вариант: зная последовательность чередования полей с раз-

ными поливными нормами, производить периодическое переопределение местоположения дождевальной машины относительно канала-оросителя:

$$L_{\text{дм}, i} = \sum_{i=1}^n V_{\text{дм}, i} \cdot (t_i - t_{i-1}),$$

где $L_{\text{дм}, i}$ – расстояние от водовыдела до дождевальной машины на i -й позиции, м;

$V_{\text{дм}, i}$ – скорости дождевальной машины на i -х позициях, м;

$t_i - t_{i-1}$ – интервал времени перемещения дождевальной машины от предыдущей позиции к текущей, с.

Схема воздействия водозаборов дождевальной машины кругового действия, работающей в режиме Speed Control, на закрытую систему водораспределения проиллюстрирована на рисунке 4.

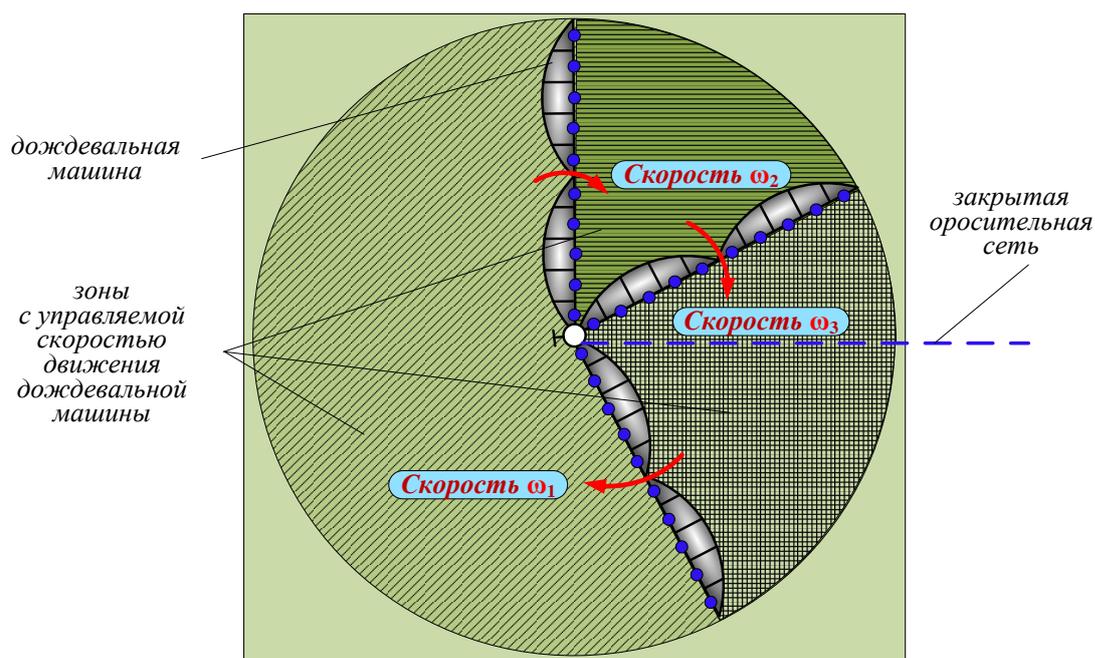


Рисунок 4 – Схема взаимодействия закрытой водораспределительной сети с дождевальной машиной кругового действия, использующей функцию Speed Control

Для данного варианта режим работы дождевальной машины, использующей функцию Speed Control, может вызвать у служб эксплуатации ошибку в определении точного местоположения дождевальной машины

на поле, связанную с несовпадением ее расчетного угла $\varphi_{\text{дм, расч}}$ и фактического угла $\varphi_{\text{дм, i}}$ местоположения на поле. При наличии на поле сельхозкультур с разными поливными нормами такая ошибка может привести к нарушению их режимов орошения.

Здесь могут быть предложены следующие варианты:

- первый вариант: использовать средства навигации (как правило, имеющиеся в современных машинах [8]), позволяющие точно и оперативно определять местоположение дождевальную машины на поле;

- второй вариант: зная последовательность чередования полей с разными поливными нормами, производить периодический расчет местоположения дождевальную машины на поле:

$$\varphi_{\text{дм, i}} = \sum_{i=1}^n \omega_{\text{дм, i}} \cdot (t_i - t_{i-1}),$$

где $\varphi_{\text{дм, i}}$ – угол местоположения машины на i -й позиции, град;

$\omega_{\text{дм, i}}$ – угловые скорости машины на i -х позициях, град/с;

$t_i - t_{i-1}$ – интервал времени перемещения машины от предыдущей позиции к текущей, с.

Действие систем капельного орошения на работу водораспределительных систем, как ни странно, связано с малыми значениями возмущающих расходов и объемов, которые они могут вносить в гидравлические режимы водораспределительной сети (используя для этого насосы небольшой производительности с расходами 1–20 л/с [1]).

Дело в том, что подача воды в большинство действующих оросительных систем осуществляется насосными агрегатами большой производительности. При этом их режим работы имеет важную для регулирования процессов водораспределения особенность – она может подаваться ими только ступенчато, с дискретностью, кратной их производительности (плавное регулирование водоподдачи с помощью современных частотных

регуляторов на действующих системах пока практически не применяется).

Между тем обеспечение устойчивого управления водораспределением на системе предполагает, что для каждого установленного на системе интервала регулирования $\Delta t_{\text{рег}}$ должно выполняться условие:

$$W_{\text{к, min}} \leq Q_{\text{гнс}} \cdot \Delta t_{\text{гнс}} - Q_{\text{к/о}} \cdot \Delta t_{\text{к/о}} \leq W_{\text{к, max}},$$

где $W_{\text{к, min}}$, $W_{\text{к, max}}$ – соответственно минимально и максимально допустимые объемы воды в бьефе канала, м^3 ;

$Q_{\text{гнс}}$ – расход головной насосной станции, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\Delta t_{\text{гнс}}$ – интервал времени работы головной насосной станции, с;

$Q_{\text{к/о}}$ – расход, забираемый системой капельного орошения, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\Delta t_{\text{к/о}}$ – интервал времени работы системы капельного орошения, с.

Выход за пределы $W_{\text{к, min}}$ и $W_{\text{к, max}}$ будет означать возникновение нештатной (или даже аварийной) ситуации на системе.

Схема взаимодействия системы капельного орошения с системой водораспределения при использовании такого способа регулирования представлена на рисунке 5.

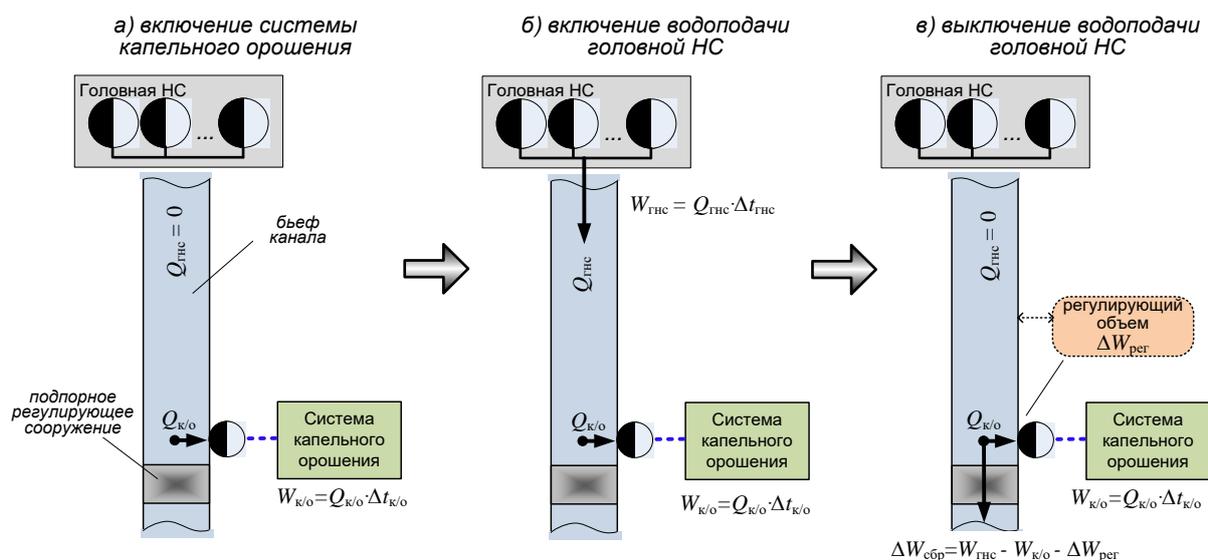


Рисунок 5 – Схема взаимодействия открытой водораспределительной сети с системой капельного орошения

Суть такого взаимодействия сводится к следующему.

Включение насосного агрегата системы капельного орошения определяет начало забора воды из бьефа текущего канала (рисунок 5, а):

$$W_{\text{к/о}} = Q_{\text{к/о}} \cdot \Delta t_{\text{к/о}},$$

где $W_{\text{к/о}}$ – объем воды, забираемый системой капельного орошения, м³;

$Q_{\text{к/о}}$ – производительность насоса, подающего воду в систему капельного орошения, м³/с;

$\Delta t_{\text{к/о}}$ – интервал времени, в течение которого забирается вода системой капельного орошения, с.

Для компенсации этого забора должен включаться соответствующий насосный агрегат на головной (или вышележащей подкачивающей) насосной станции и начинать подавать воду в текущий бьеф (рисунок 5, б):

$$W_{\text{гнс}} = Q_{\text{гнс}} \cdot \Delta t_{\text{гнс}},$$

где $W_{\text{гнс}}$ – объем воды, подаваемый в бьеф головной насосной станции, м³;

$Q_{\text{гнс}}$ – производительность включаемого насоса головной насосной станции, м³/с;

$\Delta t_{\text{гнс}}$ – интервал времени работы головной насосной станции, с.

Можно показать, что с учетом огромной несоизмеримости подаваемого $Q_{\text{гнс}}$ и забираемого $Q_{\text{к/о}}$, а также технических требований к эксплуатации насосно-силового оборудования головной насосной станции [10] выполнение условия $Q_{\text{гнс}} \cdot \Delta t_{\text{гнс}} = Q_{\text{к/о}} \cdot \Delta t_{\text{к/о}}$ является практически невозможным.

Так, например, даже при непрерывном заборе воды из Миусской оросительной системы системой капельного орошения с производительностью водозаборного насоса, равной 10 л/с, в течение суток расчетное время работы одного из насосных агрегатов головной насосной станции производительностью 1500 л/с составит:

$$\Delta t_{\text{гнс, расч}} = \frac{Q_{\text{к/о}}}{Q_{\text{гнс}}} \cdot \Delta t_{\text{к/о}} = \frac{10}{1500} \cdot 86400 = 576 \text{ с.}$$

Очевидно, что такой режим эксплуатации насосной станции, когда один из ее агрегатов включается всего менее чем на 10 мин, недопустим! А значит, решения по управлению водораспределением должны предусматривать ситуацию, когда фактическое время работы головной насосной станции $\Delta t_{\text{гнс, факт}}$ будет больше (а в ряде случаев значительно больше) их расчетных значений $\Delta t_{\text{гнс, расч}}$.

Это означает, что после выключения головной насосной станции (рисунок 5, в) в бьефе канала вынужденно будет возникать избыток воды:

$$\Delta W_{\text{к}} = W_{\text{гнс}} - W_{\text{к/о}},$$

где $\Delta W_{\text{к}}$ – избыточный объем воды в бьефе канала, м³;

$W_{\text{гнс}}$ – объем воды, поданный в бьеф канала головной насосной станции, м³;

$W_{\text{к/о}}$ – объем воды, забранный из бьефа канала системой капельного орошения, м³.

Этот избыточный объем $\Delta W_{\text{к}}$ можно:

- первый вариант – накопить в самом бьефе, используя для этого регулируемую емкость канала $W_{\text{рег}}$, м³;

- второй вариант – вынужденно сбросить в нижележащие бьефы в объеме $\Delta W_{\text{сбр}}$:

$$\Delta W_{\text{сбр}} = \Delta W_{\text{к}} - W_{\text{рег}}.$$

Отметим, что в условиях применения капельного орошения первый вариант является не столь «терпимым», как это имеет место для «больших» водопотребителей. Это связано с тем, что для условий небольших объемов, характерных для систем капельного орошения, потери воды на фильтрацию и испарение из канала становятся соизмеримыми с полезными объемами воды, используемыми для орошения³.

³ Технический отчет Неклиновского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» за 2017 г.

Второй же вариант обязывает либо «грамотно» распорядиться сброшенной водой при ее водораспределении в нижележащих бьефах, либо (что значительно хуже) вовсе сбросить воду из системы.

Выводы. Новые технические возможности современных средств и способов полива позволяют значительно повысить эффективность оросительных мелиораций. Вместе с тем их реализация накладывает ряд требований на режимы работы других объектов и процессы мелиоративно-хозяйственного комплекса, и в частности на работу систем водораспределения, подающих им оросительную воду. В связи с этим применение данных новых средств и способов полива должно технически увязываться с работой водораспределительной сети и оборудования, сопровождаться совершенствованием алгоритмов и средств управления водораспределением, а в ряде случаев реконструкцией или даже строительством дополнительных объектов или сооружений. В случае игнорирования этих требований эффективность водо- и энергосбережения, декларируемого этими новыми способами и средствами полива, может быть полностью (или частично) нивелирована потерями на других участках оросительных систем.

Список использованных источников

- 1 Воронов, О. В. Дождевальная техника и технологии дождевания / О. В. Воронов, Г. М. Сукало, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: Лик, 2016. – 370 с.
- 2 Шкура, В. Н. Средства и технологии дождевого орошения: учеб. пособие / В. Н. Шкура, И. В. Новикова, Е. Н. Лунева; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т ДГАУ. – Новочеркасск, 2015. – 344 с.
- 3 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.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 Шкура, В. Н. Широкозахватные дождевальные машины: учеб. пособие / В. Н. Шкура, И. В. Новикова, Е. Н. Лунева; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т ДГАУ. – Новочеркасск, 2015. – 128 с.
- 7 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.

8 Каталог продукции Valley [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/40321992-Katalog-produkcii-valley.html>, 2018.

9 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 200 с.

10 Щедрин, В. Н. Совершенствование конструкций открытых оросительных систем и управления водораспределением / В. Н. Щедрин. – М.: Мелиорация и вод. хозяйво, 1998. – 160 с.

11 Коваленко, П. И. Автоматизация мелиоративных систем / П. И. Коваленко. – М.: Колос, 1983. – 304 с.

12 Бочкарёв, Я. В. Основы автоматики и автоматизации гидромелиоративных систем / Я. В. Бочкарёв, П. И. Коваленко, А. И. Сергеев. – М.: Колос, 1993. – 284 с.

13 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.

14 Щедрин, В. Н. Совершенствование технологий управления водораспределением на открытых оросительных системах / В. Н. Щедрин, В. И. Коржов. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 1995. – 80 с.

15 King, B. A. A simulation procedure for on-farm irrigation system planning / B. A. King, B. W. Sauer, J. R. Busch // Irrigation system for the 21st Century. – 1987. – P. 132–139.

16 Havard, P. A model for sub irrigation systems evaluation / P. Havard, S. Prasher // Paper Amer. Soc. of Agr. Engineers. – St. Joseph, Michigan, 1987. – 12 p.

17 Гурина, И. В. Режим орошения и водопотребление картофеля весенней посадки при поливах современной дождевальной техникой / И. В. Гурина, Т. В. Мельник, И. М. Калечак // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 158–168. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec552-field6.pdf.

18 Ясониди, О. Е. Водосбережение при орошении / О. Е. Ясониди; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2004. – 473 с.

19 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: монография / О. Е. Ясониди; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

20 Бородычёв, В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур / В. В. Бородычёв. – Волгоград: Инлайт, 2010. – 241 с.

21 Бочкарёв, В. Я. Автоматизация водораспределения на каналах оросительных систем равнинной зоны методом непосредственного отбора расходов / В. Я. Бочкарёв, Я. В. Бочкарёв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2013. – № 1(09). – С. 32–41. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec157-field6.pdf.

References

1 Voronov O.V., Sukalo G.M., Shkura V.N., 2016. *Dozhdeval'naya tekhnika i tekhnologii dozhdevaniya* [Sprinkling Technique and Sprinkler Technologies]. Novocher-kassk, Lick Publ., 370 p. (In Russian).

2 Shkura V.N., Novikova I.V., Luneva E.N., 2015. *Sredstva i tekhnologii dozhdevogo orosheniya: ucheb. posobie* [Means and technologies of sprinkling irrigation: Textbook]. No-

vocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of DGAU. Novocherkassk, 344 p. (In Russian).

3 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).

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

5 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. In 2 parts. Part 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).

6 Shkura V.N., Novikova I.V., Luneva E.N., 2015. *Shirokozakhvatnye dozhdieval'nye mashiny: ucheb. posobie* [Wide-range Sprinklers: Textbook]. Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of DGAU. Novocherkassk, 128 p. (In Russian).

7 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).

8 *Katalog produktsii Valley* [Valley Product Catalog], available: <http://docplayer.ru/40321992-Katalog-produkcii-valley.html>, 2018. (In Russian).

9 Vasil'ev S.M., Korzhova T.V., Shkura V.N., 2017. *Tekhnicheskie sredstva kapel'nogo orosheniya: ucheb. posobie* [Technical means of drip irrigation: Textbook]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 200 p. (In Russian)

10 Shchedrin V.N., 1998. *Sovershenstvovanie konstruktsiy otkrytykh orositel'nykh sistem i upravleniya vodoraspredeleniem* [Perfection of the open irrigation systems constructions and water distribution management]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Industry]. Moscow, 160 p. (In Russian).

11 Kovalenko P.I., 1983. *Avtomatizatsiya meliorativnykh sistem* [Automation of Irrigation Systems]. Moscow, Kolos Publ., 304 p. (In Russian).

12 Bochkarev Ya.V., Kovalenko P.I., Sergeev A.I., 1993. *Osnovy avtomatiki i avtomatizatsii gidromeliorativnykh sistem* [Fundamentals of Automatics and Automation of Irrigation and Drainage Systems]. Moscow, Kolos Publ., 284 p. (In Russian).

13 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).

14 Shchedrin V.N., Korzhov V.I., 1995. *Sovershenstvovanie tekhnologiy upravleniya vodoraspredeleniem na otkrytykh orositel'nykh sistemakh* [Improvement of Water Distribution Management Technologies in Open Irrigation Systems]. Moscow, TsNTI "Meliovodinform" Publ., 80 p. (In Russian).

15 King B. A., Sauer B.W., Busch J. R., 1987. A simulation procedure for on-farm irrigation system planning. *Irrigation system for the 21st Century*, pp. 132-139. (In English).

16 Havard P.A., Prasher S., 1987. Model for subirrigation systems evaluation. Paper Amer. Soc. of Agr. Engineers. St. Joseph, Michigan, 12 p. (In English).

17 Gurina I.V., Melnik T.V., Kalechak I.M., 2018. *Rezhim orosheniya i vodopotreblenie kartofelya vesenney posadki pri polivakh sovremennoy dozhdeval'noy tekhnikoy* [Irrigation regime and water consumption of potatoes of spring planting with irrigation by modern sprinkling equipment]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(30), pp. 158-168, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec552-field6.pdf. (In Russian).

18 Yasonidi O.E., 2004. *Vodosberezhenie pri oroshenii* [Water Saving in Irrigation]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy. Novocherkassk, “Nabla” YURSTU (NPI) Publ., 473 p. (In Russian).

19 Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie: monografiya* [Drip Irrigation: monograph]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy. Novocherkassk, Lick Publ., 322 p. (In Russian).

20 Borodychev V.V., 2010. *Sovremennye tekhnologii kapel'nogo orosheniya ovoshchnykh kul'tur* [Modern Technologies of Drip Irrigation of Vegetable Crops]. Volgograd, Inlayt Publ., 241 p. (In Russian).

21 Bochkarev V.Ya., Bochkarev V.V., 2013. *Avtomatizatsiya vodoraspredeleniya na kanalakh orositel'nykh sistem ravninnoy zony metodom neposredstvennogo otbora raskhodov* [Automation of water distribution on irrigation canals of lowlands by the method of direct selection of costs]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(09), pp. 32-41, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec157-field6.pdf. (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

Коржова Татьяна Викторовна

Должность: аспирант

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428

E-mail: korjovatatyana@ya.ru

Korzhova Tatyana 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

E-mail: korjovatatyana@ya.ru

Матвиенко Геннадий Олегович

Должность: аспирант

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной 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