ISSN 2313-2248

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научно-практический журнал

Выпуск № 1(73)/2019

Новочеркасск

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научно-практический журнал
ФГБНУ «РосНИИПМ»
Издается с июня 1978 года
Выходит четыре раза в год

Выпуск № 1(73)/2019

Январь – март 2019 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – академик РАН, доктор технических наук, профессор В. Н. Щедрин
Заместитель главного редактора – доктор сельскохозяйственных наук А. Н. Бабичев
Ответственный секретарь – Л. И. Юрина
Редакторы: доктор технических наук, профессор А. В. Колганов; доктор технических наук, профессор Ю. М. Косиченко; доктор сельскохозяйственных наук, профессор Г. Т. Балакай; доктор технических наук Ю. Ф. Снипич; доктор экономических наук, доцент Л. Н. Медведева; кандидат технических наук А. А. Чураев; чл.-кор. РАН, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО НИМИ ДГАУ В. И. Ольгаренко; кандидат технических наук О. А. Баев; кандидат физико-математических наук М. В. Власов; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент В. Д. Гостищев; кандидат сельскохозяйственных наук Л. М. Докучаева; кандидат технических наук Ю. Е. Домашенко; кандидат технических наук С. Л. Жук; кандидат технических наук А. Л. Кожанов; кандидат технических наук А. А. Кузьмичёв; кандидат технических наук, доцент С. А. Манжина; кандидат сельскохозяйственных наук В. А. Монастырский; кандидат технических наук В. Иг. Ольгаренко; кандидат технических наук В. В. Слабунов; кандидат технических наук, доцент А. И. Тищенко; кандидат технических наук А. С. Штанько; кандидат сельскохозяйственных наук Р. Е. Юркова
Технический редактор, выпускающий – Е. А. Бабичева
Литературный редактор – А. И. Литовченко
Переводчик – В. В. Кульгавюк

Адрес редакции: 346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, Баклановский проспект, 190

Тел./факс: (8635) 26-86-24
http://www.rosniipm.ru/ppeoz
e-mail: transfer-rosniipm@yandex.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство ПИ № ФС 77-61083 от 19 марта 2015 г.

Подписано в печать 15.03.2019. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 30,82. Тираж 500 экз. Заказ № 15

ФГБНУ «РосНИИПМ»
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, Баклановский проспект, 190

Отпечатано ИП Белоусов А. Ю.
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, Баклановский проспект, 190 «Е»

ISSN 2313-2248

9 772313 224008

Дата выхода в свет 29.03.2019
Свободная цена

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Научно-практическая конференция «Техническое состояние и безопасность мелиоративных систем»

Лытов М. Н. Концептуальные подходы к управлению технологическим процессом орошения по мониторинговым данным 6

Стрельбицкая Е. Б., Соломина А. П. Пути повышения экологической безопасности при эксплуатации мелиоративных систем Нечерноземной зоны 11

Васильев С. М., Домашенко Ю. Е., Митяева Л. А. Повышение агроэкологической эффективности функционирования мелиоративных систем за счет мелиорантов 16

Капустян А. С. Прогноз изменения уровня грунтовых вод в результате затопления пойменной территории нижнего течения р. Дон 21

Кожанов А. Л. Конструктивные схемы энергосберегающих осушительных систем двойного регулирования водного режима 27

Кореновский А. М., Вайнберг М. В. Оценка риска аварии гидротехнических сооружений Федоровского подпорного гидроузла в Краснодарском крае 34

Шепелев А. Е., Юченко Л. В. Анализ средств водоизмерения на пунктах водоучета мелиоративных систем Минсельхоза России 43

Щедрин В. Н., Чураев А. А., Снипич Ю. Ф., Вайнберг М. В. Фронтальная дождевальная машина с автономным энергообеспечением и непрерывным процессом полива 46

Триполева А. Р., Штавдакер М. И., Триполев Д. П. Методологические основы оценки самоорганизации на оросительно-обводнительных системах 51

Чураев А. А., Снипич Ю. Ф., Юченко Л. В., Филимонова В. М. К вопросу агротехнической оценки опытного образца широкозахватной дождевальной машины кругового действия 57

Лытов М. Н. Компоненты энергетической функции оросительной гидромелиоративной системы 62

Чембарисов Э. И., Рахимова М. Н., Мирзакобулов Ж. Б., Махмудова Д. И., Расулов Б. О. Использование метода пластики рельефа при решении гидромелиоративных проблем 66

Слабунова А. В. Разработка функциональной модели определения стоимости услуги по подаче (отводу) воды на орошение 71

Пономаренко Т. С., Мартынов Д. В. Характеристика гидрологического режима реки Кундрючья 77

Бубер А. А., Талызов А. А. Подготовка исходных данных для гидродинамической модели участка р. Дон от Цимлянского гидроузла до устья 82

Сейтумеров Э. Э. О возможности использования слабоминерализованных вод озер Донузлав и Сасык-Сиваш для орошения и питьевого водоснабжения 87

Туктаров Р. Б., Мельникова В. П., Пасовец Р. Д., Мазнева Л. Н., Греков Д. А., Горностаева Л. Н. Оценка изменения состояния облицовочных покрытий откосов оросительных каналов, находящихся в процессе длительной эксплуатации 92

Пулатов Ш. Я., Аллаерзода Б., Саидумаров С. С. Состояние бассейна реки Зеравшан и пути его улучшения 97

Белов В. А., Анохин А. М., Дралина А. С. Правовая основа мелиораций водных объектов 102

Шевченко А. В., Власов М. В. Некоторые особенности развития процессов вторичного засоления орошаемых почв на оросительных системах Ростовской области 106

Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Сравнительный анализ расчетных методов определения эвапотранспирации риса и опытных данных 108

Шадских В. А., Кижаева В. Е., Рассказова О. Л. Экологически обоснованный поливной режим в системе орошаемых севооборотов сухостепной зоны Поволжского региона 114

Федотова Е. В. Возможности виртуальной модели оросительной системы для повышения эффективности водопользования 120

Кременской В. И., Джапарова А. М. Очищенные сточные воды канализационно-очистных сооружений г. Симферополя – резерв поливной воды в Крыму 126

Коржов В. И., Белоусов А. А. Средства имитационного моделирования режимов водозабора и водораспределения на оросительной системе при использовании схемы регулирования по верхнему бьефу 132

Васильев С. М., Домашенко Ю. Е., Ляшков М. А. Экономическая эффективность внедрения процесса автоматизации водораспределения при реконструкции оросительной системы 138

Компаниец Е. В. Использование родников Черноморского побережья в качестве источников орошения 144

Рыжаков А. Н., Гостищев В. Д. Топографическая съемка мелиоративного канала гражданским беспилотным летательным аппаратом 148

Газарян А. А., Гловацкий О. Я., Махкамов С. Х., Тожибеков Н. А. Опыт эксплуатации крупных ирригационных каналов с бетонопленочными облицовками 154

Гловацкий О. Я., Насырова Н. Р., Сапаров А. Б., Бердалиев М. К. Некоторые методы расчета неустановившегося движения воды в системе «канал – насосная станция» 160

Бондаренко В. Л., Алиферов А. В., Хецуриани Е. Д. Методологические основы понятия времени в оценке экологического состояния в зонах влияния мелиоративных систем 165

Пунинский В. С. Система машин как программа реализации перспективной научно-технической политики в области новых разработок машин и обновления структуры их парка для мелиорации земель 175

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Воеводин О. В., Слабунов В. В. О термине «водозаборное сооружение» и его синонимах, применяемых в области мелиорации 185

Штанько А. С., Власов М. В. Определение объемов зон увлажнения почвенного пространства при капельном поливе 190

Бабичев А. Н., Монастырский В. А., Ольгаренко В. Иг., Скиданов Р. В., Подлипнов В. В. Система управления широкозахватной дождевальной машины кругового действия для прецизионного орошения 195

Шкура В. Н., Штанько А. С. Исследование распределения влажности почвы в контурах капельного увлажнения 200

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Баев О. А., Гарбуз А. Ю. Обоснование средооткрытой бассейновой технологии рыбоводства 207

Косиченко Ю. М., Колганов А. В., Сильченко В. Ф., Козарезова Е. А. Гидравлический расчет магистрального канала при частичном зарастании русла..... 212

Гарбуз А. Ю., Баев О. А. Конструктивные особенности и параметры рыбоводных бассейнов 218

Сильченко В. Ф. Повышение противофильтрационной эффективности накопителей отходов 225

Тищенко А. И. Пути решения проблемы борьбы с местными размывами отводящего русла за гидротехническими сооружениями на каналах мелиоративной сети 230

Баев О. А. Оценка надежности и долговечности противофильтрационных покрытий каналов..... 236

Косиченко Ю. М., Колганов А. В., Сильченко В. Ф., Козарезова Е. А. Расчет потерь на фильтрацию из магистрального канала 242

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Гаевая Э. А. Водопотребление озимой пшеницы на черноземах обыкновенных в зависимости от обработки почвы 248

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

Воеводина Л. А. Основание для использования кооперативной формы организации в мелиоративном парке 254

ОСОБОЕ МНЕНИЕ

Рамазанов А. Уроки «экстенсивного» развития орошаемого земледелия в Узбекистане 260

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Научно-практическая конференция «Техническое состояние и безопасность мелиоративных систем»

УДК 631.674.5:504.064.36

М. Н. Лытов
Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОРОШЕНИЯ ПО МОНИТОРИНГОВЫМ ДАННЫМ

Цель исследований состоит в разработке концептуального описания системы мониторинга и управления орошением, предполагающей частичную или полную автоматизацию процесса выработки, принятия и реализации управляющих решений. Приводится описание технологий, реализуемых в действующих технических системах и средствах орошения, обосновывается необходимость расширения функциональных требований к системам, работающим в автоматическом режиме. Предложенные концептуальные подходы к формированию системы мониторинга и управления орошением рассматривают оператора в качестве субъекта, контролирующего выполняемые в автоматическом режиме процессы. Полномочия оператора включают возможность прерывания запускаемых системой процессов с возможностью корректировки режимов их исполнения в ручном режиме. Сбор, трансляция и обработка мониторинговых данных, выработка, принятие и реализация управляющих решений осуществляются системой в автоматическом режиме. Предложенное концептуальное описание автоматизированной системы мониторинга и управления орошением положено в основу разработки новых системных и функциональных технических решений.

Ключевые слова: орошение, мониторинг, управление, автоматизированная система, концептуальные подходы.

****

M. N. Lytov
All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL OF IRRIGATION BY MONITORING DATA

The purpose of the research is to develop a conceptual description of the system for irrigation monitoring and control, involving the partial or full automatization of the process of developing, making and implementing management decisions. A description of the technologies implemented in existing engineering systems and irrigation methods is given, the need to expand the functional requirements for systems operating in automatic mode is substantiated. The proposed conceptual approaches to the formation of the irrigation monitoring and control system regard the operator as the subject controlling the processes carried out in automatic mode. The operator authorities include the possibility of interrupting the processes launched by the system with the possibility of adjusting their executive states in manual mode. The monitoring data collection, translation and processing, the development, making and implementation of control decisions are carried out by the system automatically. The proposed

conceptual description of an automated irrigation monitoring and control system is the basis for the development of new system and functional engineering decisions.

Key words: irrigation, monitoring, management, automated system, conceptual approaches.

Задача оптимального управления орошением была и остается актуальной задачей гидротехнических мелиораций. Задача многоплановая, решается на основе учета совокупности факторов [1–4]. Приоритетным направлением развития мелиоративных технологий является автоматизация решения этой задачи на основе сенсорных данных, регистрируемых и обрабатываемых в режиме реального времени [5–7].

Возможность мониторинга технологического процесса и параметров, характеризующих водное состояние орошаемых участков, сегодня является брендом многих успешных фирм – производителей оросительной техники. Технологии позволяют в дистанционном режиме сформировать достаточно ясные и объективные суждения о ситуации на орошаемом поле, обеспечивают интерактивную связь для реализации управляющих действий. Наряду с этим главным субъектом, принимающим управляющие решения, остается человек.

Обобщенная схема использования данных мониторинга технологического процесса орошения, реализуемая сегодня многими зарубежными брендами, представлена на рисунке 1. Система при этом не имеет непосредственного допуска к управлению оросительной техникой, управляющие воздействия выполняются непосредственно оператором в физической форме или дистанционно, посредством организации канала обратной связи. Сенсоры и устройство глобального геопозиционирования со встроенным хронографом являются основными физическими компонентами системы. Регистрируемые данные объединяются в геоопределенные мониторинговые комплексы и транслируются на сервер обработки данных, где выполняется вычислительный алгоритм. Основными информационными продуктами вычислительного алгоритма таких систем являются:

- информация о геопозиционном положении оросительной техники на местности;
- информация о динамике мониторинговых показателей, в совокупности дающих представление о ситуации на орошаемом участке;
- прогнозная информация об общем, текущем и оставшемся времени выполнения технологического процесса;
- информация о слое осадков, поданном на орошаемый участок;
- оценочная информация об отклонениях от задания на полив.

Блок визуализации является неотъемлемой компонентной системы, реализующей интерактивную связь с субъектом управления – оператором. Стандартный информационный комплекс включает визуализацию мониторинговых данных, визуализацию оценок выполнения графика-задания технологического процесса орошения, визуализацию оценочных сведений об абсолютных и относительных отклонениях по технологическим параметрам выполнения задания. Информация подается в адаптированной для восприятия форме с широким использованием графических индикаторов. Задача оператора сводится к оценке текущей ситуации выполнения технологического процесса и изучению необходимости внесения корректировок в параметры выполнения технологического процесса орошения.

Оператор как субъект управления непосредственно инициирует управляющие действия, в т. ч. в дистанционном режиме, с активацией обратного канала интерактивной связи.

Управление орошением с полной автоматизацией процесса ужесточает требования к вычислительным алгоритмам, требует развития сенсорной сети, вносит коррективы в сложившиеся схемы использования мониторинговых данных (рисунок 2). Вычислительные алгоритмы помимо обозначенной выше информации должны обеспечить:

- решение задачи о целесообразности и необходимости изменения режимных

параметров работы оросительной техники с формированием ранжированного по степени приоритетности списка рекомендательных действий;

- оценку значений мониторинговых показателей на предмет критических нарушений в поддержании технологического состояния с оценкой гипотезы об аварийном состоянии технической системы и формированием ранжированного списка рекомендательных действий;

- решение задачи о необходимости изменения плана-графика проведения поливов с формированием ранжированного списка рекомендательных действий;

- выполнение оценочного анализа технического состояния системы, необходимости проведения внеплановых работ по техническому обслуживанию и ремонту;

- обоснованный выбор управляющих действий при возникновении аварийных ситуаций и других критических нарушениях технологического процесса;

- выработку ситуационно-обоснованного решения об изменении режимных параметров выполнения технологического процесса с количественной оценкой изменения действующего плана-графика поливов;

- выработку ситуационно-обоснованного решения об оптимизации графика технического обслуживания и ремонта системы.

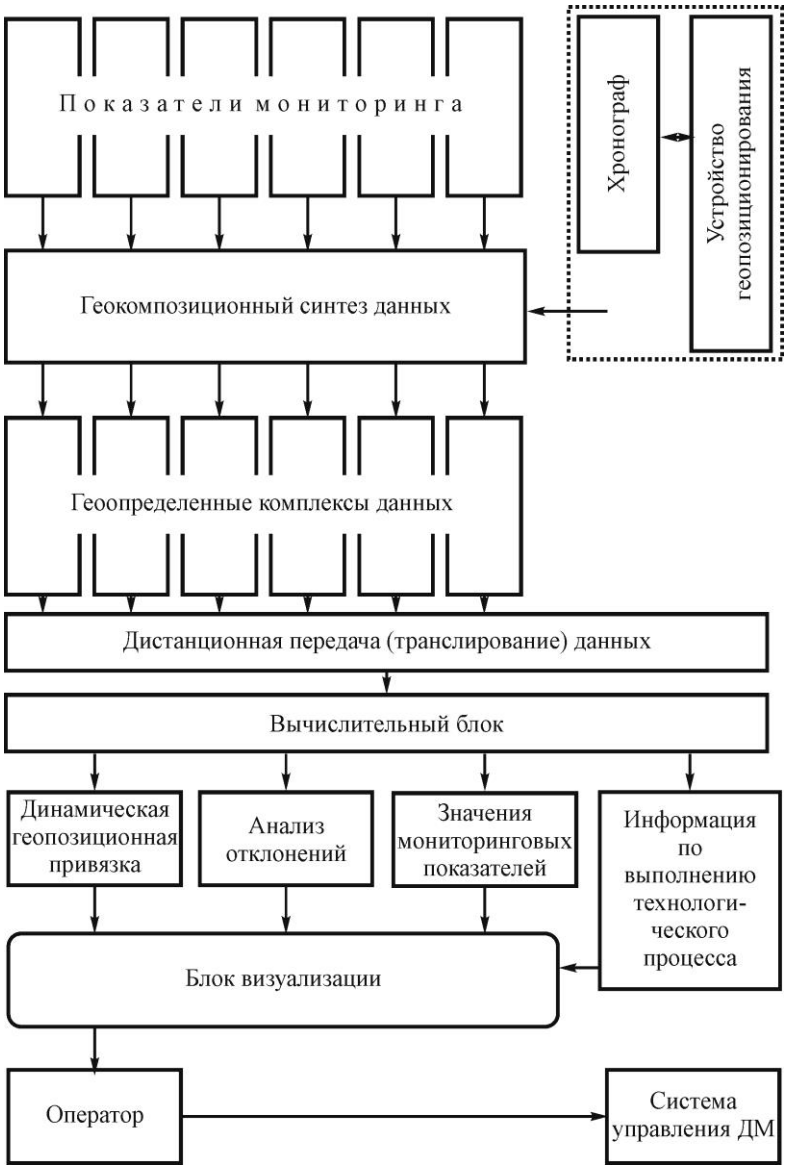


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема системы мониторинга и управления орошением с принятием управляющих решений оператором

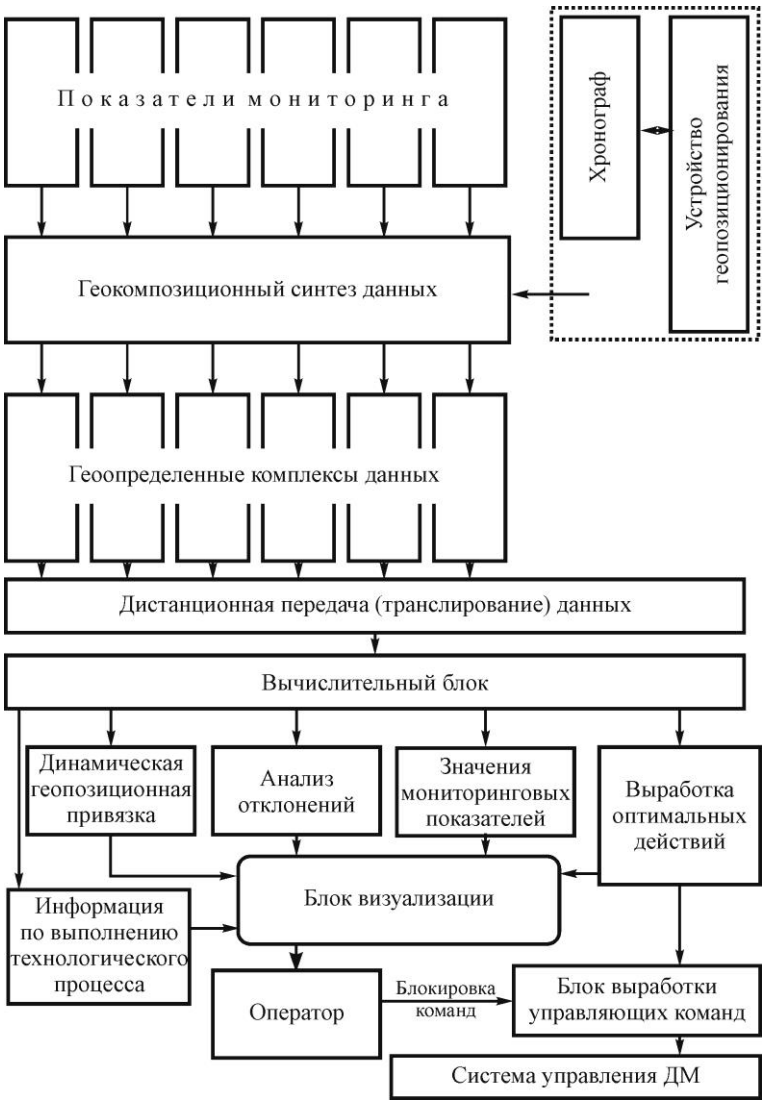


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема системы мониторинга и управления орошением с автоматическим принятием и реализацией управляющих решений

Наряду с развитием вычислительных алгоритмов новый уровень технологий управления орошением предполагает расширение функциональности интерактивного модуля визуализации системы мониторинга и автоматизированного управления технологическим процессом.

Относительно стандартных, хорошо отработанных решений в области мониторинга систем орошения модуль визуализации и интерактивного взаимодействия системы с оператором предполагает визуальное и (или) звуковое оповещение при критических состояниях технической системы, ставящих под угрозу выполнение технологического процесса с заданными агротехническими параметрами. Одновременно с подачей визуального (звукового) оповещения оператору предлагается ранжированный список оптимальных, ситуационно адаптированных управляющих воздействий с возможностью блокировки запущенных в автоматическом режиме процессов и активации воздействий из списка с более низким рангом. Для возможности четкого представления ситуации визуализируются результаты анализа причин возникновения критических ситуаций.

Выполняется визуальное и звуковое оповещение об отклонении от графика выполнения работ, визуализируются результаты анализа причин несоблюдения графика поливов, ранжированный перечень рекомендательных действий по устранению этих

причин и корректировке параметров выполнения технологического процесса, отображаются сведения о процессах, запущенных для исправления ситуации в автоматическом режиме, с возможностью их блокировки на любом этапе и выбора управляющих действий из списка с более низким рангом. В случае если корректировка параметров выполнения технологического процесса не позволяет исправить ситуации с нарушением плана-графика выполнения работ, система вырабатывает и создает визуализированное оповещение о необходимости внесения корректировок в задание на полив, в последовательном режиме отображается информация о действиях, предпринятых системой в автоматическом режиме, отображаются сведения о необходимости внесения изменений в план-график проведения поливов на следующем иерархическом уровне, в автоматическом режиме вносятся необходимые изменения в график проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту оросительной техники с возможностью их блокировки оператором и формирования перечня альтернативных решений.

Таким образом, частичная или полная автоматизация технологического процесса орошения связана с необходимостью существенного расширения сенсорной сети, разработки надежных алгоритмов сбора, трансляции и обработки мониторинговых данных, выработки объективных суждений о выполнении контролируемых процессов и соответствующих управляющих решений. Предложено концептуальное описание автоматизированной системы мониторинга и управления орошением, позволяющее представить ее функциональную структуру и являющееся основой для разработки новых системных и функциональных технических решений.

Список использованных источников

1 Бабичев, А. Н. Оперативное управление режимом орошения при программировании урожайности сельскохозяйственных культур / А. Н. Бабичев, Г. Т. Балакай, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 83–96. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec498-field6.pdf.

2 Пилецкий, И. В. Математическое моделирование водного режима культурного ландшафта / И. В. Пилецкий // Вестник Витебского государственного университета. – 1997. – № 1(3). – С. 110–115.

3 Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур / Н. Н. Дубенок, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, О. А. Белик // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 4. – С. 22–25.

4 Моделирование процесса управления водно-солевым режимом почв в условиях орошения / В. В. Бородычев, Э. Б. Дедова, М. А. Сазанов, М. Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2(42). – С. 26–33.

5 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – В 2 ч. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.

6 Макартичян, С. В. Автоматическая система капельного орошения с дистанционным управлением / С. В. Макартичян, А. Н. Филиппов, С. В. Ляпичев // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2016. – № 3(15). – С. 41–45.

7 Srinivasa Raju, K. Fuzzy data envelopment analysis for performance evaluation of an irrigation system / K. Srinivasa Raju, D. Nagesh Kumar // Irrigation and Drainage. – 2013. – Vol. 62, № 2. – P. 170–180.

УДК 504.53.06:631.6.02

Е. Б. Стрельбицкая, А. П. Соломина
Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

Целью исследования явились вопросы повышения экологической безопасности функционирования мелиоративных систем Нечерноземной зоны РФ для природных вод. На основании теоретической, нормативно-правовой, методической и научно-технической информации, а также практических результатов исследований и разработок в области нормирования и регулирования содержания загрязняющих веществ в дренажном и поверхностном стоке определены основные проблемы и пути повышения экологической безопасности при эксплуатации мелиоративных систем. Выполнение требований и рекомендаций по всему комплексу рационального природопользования на основе совершенствования нормативной и методической базы мелиоративной деятельности в зоне неустойчивого увлажнения, проведение оперативного мониторинга позволят повысить качество выполнения мероприятий по регулированию мелиоративных режимов осушаемых земель, поддержанию всех звеньев системы в работоспособном состоянии с целью повышения экологической безопасности эксплуатации мелиоративных систем Нечерноземной зоны.

Ключевые слова: осушительно-увлажнительная система, экологическая безопасность, эксплуатационная надежность, дренажно-сбросные воды, водоприемник, загрязнение природных вод, качество воды.

****

E. B. Strel'bitskaya, A. P. Solomina
All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

WAYS OF INCREASING ENVIRONMENTAL SAFETY AT OPERATION OF RECLAMATION SYSTEMS OF THE NONCHERNOZEM ZONE

The purpose of the study was to improve the environmental safety of the reclamation systems operation in the Nonchernozem zone of the Russian Federation for natural waters. The main challenges and ways to increase environmental safety in the reclamation systems operation are determined on the basis of theoretical, regulatory, methodological and scientific and technical information, as well as practical results of research and development in the field of regulation and rating of pollutants in the drainage and surface runoff. Meeting the requirements and recommendations for the entire complex of rational use of natural resources based on improving the regulatory and methodological framework of land reclamation in the unstable humidification zone, conducting the operational monitoring will improve the quality of measures to regulate the reclamation regimes of drained lands, to maintain all parts of the system in operating conditions to increase the environmental safety of the reclamation systems operation in the Nonchernozem Zone.

Key words: complex irrigation system, environmental safety, operational reliability, drainage-waste water, water intake, natural water pollution, water quality.

Введение. Требования, предъявляемые к хозяйственной деятельности в области охраны окружающей среды, формируются в условиях сложного процесса радикального реформирования всего природоохранного законодательства, начатого в 2015 г. и рассчитанного на длительный период [1]. В соответствии со стратегией экологической

безопасности РФ на период до 2025 г. в условиях неблагополучного по экологическим параметрам состояния окружающей среды, несмотря на принимаемые меры по снижению уровней воздействия неблагоприятных факторов, а также отсутствия возможности глобальной модернизации экономики возрастает роль безопасной эксплуатации объектов, в т. ч. мелиоративных систем [2].

Мелиорация переувлажненных земель Нечерноземной зоны РФ наряду с улучшением водно-воздушного режима, агрофизических и агрохимических свойств почв для вовлечения их в сельскохозяйственное производство оказывает определенное негативное воздействие на природную среду при нерациональных режимах эксплуатации осушительно-увлажнительных систем (ОУС). В условиях интенсивного аграрного производства возрастает экологический риск ускоренной минерализации гидроморфных мелиорируемых почв и выноса органоминеральных соединений дренажным и поверхностным стоком, что приводит не только к снижению почвенного плодородия, но и к ухудшению экологического состояния природных водоемов и рек, являющихся водоприемниками дренажно-сбросных вод (ДСВ) мелиоративных систем.

Эксплуатация ОУС, заключающаяся в производственной и управленческой деятельности по планированию и оперативному регулированию мелиоративных режимов мелиорируемых земель, поддержанию всех звеньев системы в работоспособном состоянии, их совершенствованию, инженерно-мелиоративному мониторингу, должна обеспечивать выполнение требований и рекомендаций по всему комплексу рационального природопользования и охране природных вод от загрязнения.

Материал и методы. Для определения путей повышения экологической безопасности мелиоративных систем Нечерноземной зоны РФ для природных вод, снижения выноса элементов почвенного плодородия и загрязняющих компонентов с мелиорируемых земель в природные водоемы и реки нами были использованы информационно-аналитические методы исследования, включающие комплексный анализ, обобщение и структуризацию теоретической, нормативно-правовой, методической и научно-технической информации. Кроме того, учитывались практические результаты исследований ВНИИГиМ, разработки РосНИИПМ и других институтов в области нормирования и регулирования содержания загрязняющих веществ в дренажном и поверхностном стоке в процессе производства сельскохозяйственной продукции и водоотведения.

Основным компонентом методической базы статьи явился принцип комплексного регулирования мелиоративных режимов почв на базе перспективных способов их осушения и увлажнения, рациональных конструкций и параметров мелиоративной сети с обеспечением экологической безопасности эксплуатации ОУС путем сведения до минимума выноса элементов почвенного плодородия и вредных химических соединений дренажным и поверхностным стоком в природные водоемы и реки.

Результаты и обсуждение. При осуществлении мелиорации земель, проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации мелиоративных систем согласно ст. 43 Федерального закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (10.01.2002, ред. 31.12.2017) должны приниматься меры по охране водных объектов, земель, почв, лесов и иной растительности, а также предупреждению негативного воздействия на окружающую среду. Мелиорация земель не должна приводить к ухудшению состояния окружающей среды, нарушать устойчивое функционирование естественных экологических систем. Кроме того, вопросы экологической безопасности мелиоративных систем регламентируются Федеральным законом № 4-ФЗ «О мелиорации земель» (10.01.1996, ред. 05.04.2016) и Федеральным законом № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (30.12.2009, с изменениями на 02.07.2013). Однако в приведенных документах устанавливаются минимальные требования без учета специфики работы мелиоративных систем [3].

Существующая система нормативного обеспечения и стандартизации в мелио-

рации отличается преобладанием строительных норм и правил (СНиП) с сопутствующими нормативно-методическими документами (ведомственные строительные нормы (ВСН), пособие к СНиП, методические указания (МУ) и т. п.), на основе которых выполняются основные виды проектных и строительных работ, включая эксплуатацию мелиоративных систем [4]. Вопросы же эксплуатации мелиоративных объектов не отражаются в полном объеме, должным образом не регламентируются и не детализируются [5].

Функционирование гидромелиоративных систем в большинстве регионов РФ осложнено из-за ухудшения их технического состояния, моральной и физической изношенности оборудования, несовершенства мелиоративных технологий, разделения объектов между собственниками. Следует отметить, что к настоящему времени срок эксплуатации большинства сооружений мелиоративного назначения составляет от 30 до 50 лет и выше, а изношенность основных фондов большинства функционирующих мелиоративных систем в среднем по РФ составляет более 60 % [6]. Наряду с этим на федеральном балансе остались только крупные гидротехнические сооружения, магистральные каналы и межхозяйственные системы, а мелиоративные системы общего и индивидуального пользования перешли к субъектам РФ и сельскохозяйственным товаропроизводителям, не готовым к эффективному использованию мелиорированных земель и квалифицированной эксплуатации мелиоративных систем [7].

Даже в сложившихся на гидромелиоративных системах страны условиях урожайность мелиорированного гектара в 2,3–2,5 раза превышает таковую на немелиорированных землях [8]. По данным Росреестра, общая площадь осушаемых земель в 2017 г. составила 6596,3 тыс. га, из них сельскохозяйственные угодья занимают 4753,7 тыс. га, в т. ч. пашня 2685,8 тыс. га, однако 38,8 % осушаемых земель находятся в неудовлетворительном состоянии (наибольшая доля неудовлетворительного состояния мелиорированных земель отмечается в Уральском (47,7 %) и Центральном (46,6 %) федеральных округах).

Технические мероприятия по эксплуатации ОУС должны обеспечивать нормальную работоспособность сооружений, устройств и оборудования на системах с целью обеспечения регулирования водного режима почв с поддержанием его оптимальных параметров в любые по метеорологическим условиям периоды года. Современные ОУС должны соответствовать совокупности показателей качества, выраженных в виде эксплуатационных требований, т. е. при эксплуатации системы должны обеспечивать:

- гарантированное осушение и увлажнение всего массива;
- маневренность управления нормами и режимами осушения и увлажнения, автономную работу осушительной и оросительной сети для быстрого реагирования на изменение условий неустойчивого природного увлажнения (обеспечение соблюдения оптимальных норм и режимов осушения и увлажнения будет способствовать снижению выноса загрязняющих веществ и элементов почвенного плодородия из почвенных горизонтов поверхностным и дренажным стоком);
- отвод поверхностных и инфильтрационно-почвенных вод за время, не превышающее рекомендуемых значений (на севооборотах и пастбищах: с поверхности почвы 0,5–1,0 сут, из пахотного слоя 1,5, из корнеобитаемого слоя 5 сут; на сенокосах соответственно до 1,5; 3 и 7 сут);
- глубину грунтовых вод, соответствующую норме осушения, в зависимости от возделываемых сельскохозяйственных культур и погодных условий;
- оперативное регулирование влажности корнеобитаемого слоя почвы в оптимальных пределах (0,8–1,0 НВ);
- незаиляемость регулирующей и проводящей сети;
- рациональное и эффективное сельскохозяйственное использование мелиорируемых земель;
- своевременное и качественное проведение мероприятий по технической эксплуатации мелиоративной сети;

- возможность механизации и автоматизации процессов полива;
- качество ДСВ в соответствии с нормативными требованиями.

Структура службы эксплуатации мелиоративных систем Нечерноземной зоны должна обеспечивать условия выполнения сооружениями оптимальных технологических функций, надежность их работы и нормальный уровень безопасности. В соответствии с правилами эксплуатации мелиоративных систем [9] служба эксплуатации осушительных систем обязана:

- осуществлять регулирование водного режима, обеспечивать своевременный отвод избыточных грунтовых и поверхностных вод с мелиорированных земель на системах одностороннего действия и поддерживать необходимую норму осушения и влажность корнеобитаемой зоны в засушливые периоды вегетации на системах двустороннего действия;
- обеспечивать безаварийный сброс воды по каналам и сооружениям, откачку из польдеров весенних и летне-осенних паводков;
- осуществлять планирование мероприятий по эксплуатации сбросной, проводящей и регулирующей осушительной сети и сооружений;
- проводить систематические наблюдения за режимом поверхностных и грунтовых вод на осушенных территориях, влажностью почвы в корнеобитаемом слое;
- вести регулярный качественный учет состояния осушенных земель и паспортизацию осушительных систем в порядке, утвержденном 07.08.1996 (№ 2933п-П1);
- строго выполнять требования по охране окружающей природной среды;
- своевременно и качественно проводить надзор, осмотр, наблюдения за состоянием и работой, обследования, планово-предупредительные и восстановительные ремонты осушительных систем;
- осуществлять меры по предупреждению заболачивания земель, безаварийному пропуску паводков по водоприемнику;
- проводить учет объемов воды, сбрасываемых проводящей осушительной сетью в водоприемники, и контроль за их качеством.

В настоящее время правила эксплуатации мелиоративных систем требуют актуализации, поскольку не соответствуют нормам Федерального закона «О техническом регулировании». Кроме того, до сих пор не определен уполномоченный государственный контрольно-надзорный орган в области мелиорации земель. Существующая нормативно-правовая база не обеспечивает сохранение и развитие мелиоративного фонда страны, а его государственную поддержку сводит в достаточно узкий сектор, функционирующий в рамках отдельных федеральных или региональных программ [10].

При эксплуатационных организациях на ОУС должна быть организована постоянно действующая служба, проводящая учет объемов воды, сбрасываемых проводящей осушительной сетью в водоприемники, а также регулярные наблюдения и контроль за их качеством. Однако такие наблюдения за показателями дренажного стока на мелиоративных системах РФ в настоящее время проводятся не во всех управлениях мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения из-за отсутствия соответствующих эксплуатационных структур и финансирования данных видов работ [11].

Проведение оперативного мониторинга и применение современных технических средств контроля должны обеспечить своевременное выявление несоответствия качества ДСВ нормативным требованиям. Условия отведения ДСВ с мелиорируемых земель не должны приводить к превышению предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воде водных объектов с учетом разных категорий водопользования (питьевое и хозяйственно-бытовое водоснабжение, рыбное хозяйство). Отбор проб воды на химический анализ, определение концентраций и расчеты выноса химических веществ сбросными водами следует производить для осушаемого объекта в пределах площади водосбора устьевого створа магистрального канала в расчетные

гидрологические периоды в зависимости от способа мелиорации, типа почв, степени их окультуренности, а также сельскохозяйственного использования земель. Сравнение концентраций загрязняющих компонентов с их ПДК на предмет соответствия нормативам по своей сути является основным критерием в системе управления качеством воды и обеспечения экологической безопасности ОУС для природных водоемов и рек.

Организация и проведение наблюдений за количественными и качественными показателями стока ДСВ, расположение створов наблюдений, периодичность и сроки их проведения, требования к отбору проб, состав определяемых показателей регламентированы в методических указаниях РосНИИПМ [11, 12], которые обобщают и актуализируют опыт экспериментальных и эксплуатационных исследований, посвященных методам, способам и средствам учета воды на мелиоративных системах, что позволяет использовать многие положения для эксплуатационных организаций в условиях Нечерноземной зоны. Систематическая информация о качественном составе ДСВ необходима для принятия управленческих решений хозяйственными органами по изменению (корректировке) технологий управления производством в зависимости от конкретных условий и назначения соответствующих инженерно-технических, организационно-хозяйственных, агромелиоративных мер по регулированию качества ДСВ в соответствии с экологическими требованиями и ограничениями для повышения экологической безопасности мелиоративных систем.

Выводы. Без надлежащего высокого уровня эксплуатации мелиоративных систем Нечерноземной зоны не представляется возможным обеспечение выполнения сооружениями оптимальных технологических функций, надежности работы сооружений, устройств и оборудования на системах и соответствия совокупности показателей качества, а также их экологической безопасности, в т. ч. и для природных вод.

Повышение экологической безопасности для природных вод при эксплуатации осушительно-увлажнительных систем может быть реализовано только при обеспечении выполнения требований и рекомендаций по всему комплексу рационального природопользования в пределах водосбросов, отдельных хозяйств и мелиоративных объектов на основе совершенствования нормативной и методической базы мелиоративной деятельности в зоне неустойчивого увлажнения. Реформирование и совершенствование нормативно-методической базы мелиорации, соблюдение уже разработанных нормативных документов позволят повысить качество выполнения мелиоративных мероприятий, производственной и управленческой деятельности по планированию и оперативному регулированию мелиоративных режимов осушаемых земель, поддержанию всех звеньев мелиоративной системы в работоспособном состоянии, их совершенствованию, инженерно-мелиоративному мониторингу с целью повышения экологической безопасности эксплуатации мелиоративных систем Нечерноземной зоны.

Список использованных источников

1 Бабина, Ю. В. Правовые основы охраны окружающей среды на предприятии: учеб.-метод. пособие / Ю. В. Бабина. – М.: Науч.-метод. центр, 2017. – 216 с.

2 О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176. – 14 с.

3 Обеспечение экологической безопасности мелиоративных систем / В. В. Слабунов, О. В. Воеводин, А. Л. Кожанов, С. Л. Жук // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2010. – Вып. 44. – С. 39–45.

4 Щедрин, В. Н. О концепции развития правовой и нормативно-технической базы мелиорации в России на период 2010–2020 годы / В. Н. Щедрин, В. Я. Бочкарев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2011. – № 1(01). – 15 с. – Режим доступа: http:rosniipmsm.ru/archive?n=1&id=9.

5 Сенчуков, Г. А. Совершенствование методического обеспечения разработки схем комплексного использования и охраны водных объектов / Г. А. Сенчуков, А. С. Капустян // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2010. – Вып. 44. – С. 55–59.

6 Современное состояние и пути повышения надежности и экологической безопасности эксплуатации мелиоративных систем. Информационный сборник / подг. Н. Г. Зубковой; ФГБНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ». – М., 2013. – 89 с.

7 Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» (утв. Распоряжением Правительства РФ от 22 января 2013 г. № 37-р) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:docs.cntd.ru/document/902394131, 2019.

8 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. – 888 с.

9 Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (утв. Минсельхозпродом РФ 26.05.1998) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=110478&fld=134&dst=100182,0&rnd=0.07326422103789343#024992693193221932, 2019.

10 Герасимов, А. А. Правовое обеспечение мелиорации земель / А. А. Герасимов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2013. – № 3(11). – С. 1–21. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec189-field6.pdf.

11 Методические указания по учету и контролю качества сбросных вод / М-во сел. хоз-ва РФ, Департамент мелиорации, ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015. – 67 с.

12 Методические указания по контролю состояния дренажно-сбросных вод и учету стока и выноса растворенных веществ / М-во сел. хоз-ва РФ, Департамент мелиорации, ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015. – 16 с.

УДК 631.67:631.42

С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Л. А. Митяева
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ МЕЛИОРАНТОВ

Целью исследований являлось повышение агроэкологической эффективности функционирования мелиоративных систем за счет мелиоранта, применяемого на орошаемом черноземе южном СПК колхоза «Прогресс» Неклиновского района Ростовской области. Использование мелиоранта, разработанного в ФГБНУ «РосНИИПМ», представляет практический интерес как прием быстрого восстановления плодородия почв с нарушенной структурой и изменения питательного и солевого режима почв. Установлено, что после внесения мелиоранта почвы в районе скважины 2 стали слабосолонцеватыми (количество обменного натрия составило 9 % от суммы ППК). Слабосолонцеватыми остались участки в районе скважин 1, 3 и 4 (количество обменного натрия соответственно 5, 4 и 4 % от суммы ППК). Именно после внесения мелиоранта отмечено значительное восстановление общего содержания гумуса с 3,4 до 3,43 % (на 0,03 % в среднем для всего участка).

Ключевые слова: орошаемый участок, мелиоранты, почвенный поглощающий комплекс, обменные основания, агрохимические свойства почвы, оросительная вода.

****

S. M. Vasilyev, Yu. E. Domashenko, L. A. Mityaeva
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

IMPROVING THE RECLAMATION SYSTEMS AGRO-ECOLOGICAL EFFICIENCY BY MEANS OF AMELIORANTS

The aim of the research was to increase the agro-ecological efficiency of reclamation systems operation due to the ameliorant used in the irrigated chernozem of the southern Agricultural Productive Cooperative in "Progress" collective farm in Neklinovsky district of the Russian Federation. The application of the ameliorant developed at the FSBSE "RSRILIP" is of practical interest as a method of quick recovery of the disturbed soil fertility and soils with altering nutrient and salt regimes. It was found that after ameliorant application the soil near the well 2 became slightly alkalinized (the amount of exchangeable sodium was 9 % of the amount of Salt Absorption Complex). The areas near the wells 1, 3, and 4 remained slightly alkalinized (the amount of exchangeable sodium was 5, 4, and 4 % of the SAC amount, respectively). It was after the introduction of the ameliorant that the total humus content was significantly reduced from 3.4 to 3.43 % (by 0.03 % on average for the entire site).

Key words: irrigated area, ameliorants, soil absorption complex, exchangeable bases, soil agrochemical properties, irrigation water.

Введение. В результате длительного (25–30 лет) орошения на обыкновенных (предкавказских) и южных черноземах Ростовской области получили развитие гидроморфный и полугидроморфный мелиоративные режимы и соответствующие им ирригационно-гидроморфный и ирригационно-полугидроморфный типы почвообразования. Гидроморфный мелиоративный режим формируется при залегании уровня грунтовых вод на глубинах 1,0–2,5 м и характеризуется солончаковым и солончаковатым типом засоления, ощелачиванием, оглиниванием, слитизацией, переувлажнением, накоплением в почвах токсичных недоокисленных соединений. Полугидроморфный мелиоративный режим формируется при залегании грунтовых вод на глубинах 2,5–6,0 м. Негативные процессы обусловлены геохимическими процессами при взаимодействии поливной воды с почвой и элювиально-иллювиальными явлениями, взаимосвязанными с режимом и способами орошения. Рассмотренные режимы при орошении черноземов нуждаются в осуществлении комплекса оросительных, химических и агротехнических мероприятий, направленных на сохранение плодородия этих почв [1–4].

Использование мелиорантов (или органоминеральных удобрений для внесения в почву и готовых почвенных субстратов) может существенно расширить возможности традиционно применяемых способов мелиорации и в ряде случаев дать принципиально новую технологию повышения почвенного плодородия. Внесение мелиорантов представляет практический интерес как прием быстрого восстановления плодородия почв с нарушенной структурой и изменения водно-воздушного, солевого режима почв.

Цель исследований – повышение агроэкологической эффективности функционирования мелиоративных систем за счет мелиорантов.

Материалы и методы. Объект исследования – чернозем южный СПК колхоза «Прогресс» Неклиновского района Ростовской области. Отбор почвенных образцов проведен на участке площадью 40 га из четырех скважин слоя 0–20 см. Оценка степени засоления по сумме токсичных солей и содержанию отдельных ионов для СПК колхоза «Прогресс» приведена в соответствии с экспериментальными исследованиями.

К наиболее неблагоприятным свойствам почв относится их щелочность. В ще-

лочной среде повышается подвижность гумуса, происходит диспергация структурных агрегатов, ухудшается пищевой режим почв. Изменение реакции почвы определяет поступление элементов питания в растения. Установлено, что наибольшая активность микробиологических процессов наблюдается при pH 6–8, гумификации – 5,0–7,5. Щелочность, рассчитанная по Зимовцу (CO_3^{2-} + HCO_3^- – Ca^{2+} + (Na^+ + Mg^{2+})), ммоль/100 г по водной вытяжке, в основном отсутствует, кроме скважины 3, где почвы характеризуются как среднещелочные. pH водной суспензии находится в пределах 7,76–8,28, что характеризует реакцию почвенной среды как слабо- и среднещелочную. Она обусловлена солонцеватостью почв. На участке преобладают слабосолонцеватые (малонатриевые) почвы. Их количество составляет 75 %, т. е. от общей площади участка 40 га на их долю приходится 30 га. Остальные 10 га заняты среднесолонцеватыми почвами (11 % обменного натрия от суммы ППК). Когда pH превышает 8 единиц, нормальные условия для развития сельскохозяйственных культур нарушаются. Кроме того, в этих условиях наблюдается опережающий вынос ионов кальция за пределы почвенного профиля.

Качество оросительной воды определяется общим содержанием растворенных солей [5], катионами Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} и анионом HCO_3^-. Повышенная минерализация оросительной воды и полив почвенного покрова хозяйства, характеризующегося высокой емкостью поглощения, может привести к осолонцеванию, а затем и засолению. Это связано с внедрением ионов Na^+ и Mg^{2+} в ППК. Источником орошения полей СПК колхоза «Прогресс» является Миусский лиман (таблица 1).

Таблица 1 – Оценка качества оросительной воды исследуемого участка

В мг-экв/дм^3

Степень опасности развития негативных процессов в почвах орошаемого участка			
Хлоридное засоление Cl	Натриевое осолонцевание Ca^{2+}/Na^+	Магниевое осолонцевание $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Ca^{2+})$	Содообразование (CO_3^{2-} + HCO_3^-) – – (Ca^{2+} + Mg^{2+})
Миусский лиман (СПК колхоз «Прогресс»)			
5,06/III	0,27/III	0,61/III	1,1/III

Вода IV класса практически непригодна для орошения. Полив водой с повышенной минерализацией способствует активному накоплению солей и в дальнейшем развитию процессов засоления и осолонцевания. Орошение такими водами должно сопровождаться проведением специальных мероприятий по недопущению возникновения негативных почвенных процессов (осолонцевания, уплотнения, слитизации, дегумификации, агроистощения и др.), к которым можно отнести внесение мелиорантов.

Содержание тяжелых металлов в исследуемой воде находится в пределах норм ПДК и не оказывает негативного воздействия на состояние почвенного покрова (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов и неорганических соединений в воде для орошения

Определяемый показатель	ПДК в оросительной воде, мг/л	Результат определения в воде Миусского лимана, мг/дм^3
1	2	3
Марганец	0,2	менее 0,005
Кобальт	0,05	менее 0,015
Никель	0,2	менее 0,015
Свинец	0,03	0,02
Цинк	1,0	0,014

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Медь	0,2	0,010
Хром	0,5	0,110
Нитраты (по NO_3)	45,0	0,1
Нитраты (по NO_2)	3,8	0,033
Железо общее	0,3	0,17

Мелиорант, разработанный в ФГБНУ «РосНИИПМ», состоит из следующих компонентов: гидрогель, глауконитовый песок, сапропель, ракушечник [6].

В таблице 3 приведены данные о содержании основных питательных элементов в каждом из компонентов мелиоранта.

Таблица 3 – Содержание основных питательных элементов в мелиоранте

В мг/кг

Компонент	NO_3	P_2O_5	K_2O
1 Гидрогель	–	–	–
2 Глауконитовый песок	7,6	14,0	214,0
3 Сапропель	155,0	183,0	234,0
4 Ракушечник	1,1	17,1	54,0

Оптимальная доза мелиоранта устанавливалась для нарушенного в слабой степени участка в количестве 1 т/га и определялась с учетом расчетных формул [7].

Оценка почвенного плодородия по агроэкологическим показателям применялась с учетом «Руководства по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель» [8].

Исследования базировались на экспериментальных и теоретических методах анализа, обобщения, сравнения.

Результаты и их обсуждения. Одним из важнейших агроэкологических показателей почвенного плодородия является засоленность почв. По содержанию и составу водорастворимых солей определяют степень засоления и глубину залегания солевого горизонта. Согласно существующим классификациям [9], после внесения мелиоранта характерно содержание водорастворимых солей до 0,25 %, что можно отметить на хорошем росте и развитии растений.

В результате исследования почвенного покрова после внесения мелиоранта выявлено, что агроэкологические показатели приблизились к оптимальным значениям. Регулирование агроэкологических показателей по поддержанию почвенного плодородия осуществляется в соответствии с Федеральным законом от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» [10].

О насыщении почв кальцием свидетельствуют результаты определения почвенного поглощающего комплекса (ППК), который представляет собой сумму обменного кальция (Ca), обменного магния (Mg) и обменного натрия (Na) (таблица 4).

Таблица 4 – Анализ обменных (поглощенных) оснований в почве СПК колхоза «Прогресс»

№ скважины	Ca^{2+}, ммоль/100 г	Mg^{2+}, ммоль/100 г	Na^{+}, ммоль/100 г	∑ ППК	% от ∑ ППК		
					Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль							
1	21,20	8,40	1,87	31,47	67	27	6
2	17,68	9,92	3,60	31,20	57	32	11
3	20,16	8,24	1,61	30,01	67	27	6
4	22,0	8,80	1,64	32,44	68	27	5

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
После внесения мелиоранта							
1	25,2	7,2	1,57	33,97	74	21	5
2	19,75	8,34	2,85	30,94	65	26	9
3	19,24	7,86	1,34	28,44	68	28	4
4	19,85	7,53	1,28	28,66	70	26	4

После внесения мелиоранта почвы в районе скважины 2 стали слабосолонцеватыми (количество обменного натрия составило 9 % от суммы ППК). Слабосолонцеватыми остались участки в районе скважин 1, 3 и 4 (количество обменного натрия соответственно 5, 4 и 4 % от суммы ППК). Изменение степени солонцеватости почвы можно объяснить влиянием ракушечника в составе мелиоранта, так как ракушечник является разновидностью известняка, состоящего преимущественно из карбоната кальция ($CaCO_3$) в виде кристаллов кальцита различного размера.

Только почвы, насыщенные кальцием, отличаются агрономически ценной водопрочной структурой, благоприятной для развития микробиологических процессов, оптимизирующих питательный режим почв. При «кальциевом голодании» усиливается токсичное влияние обменного натрия и растение начинает сильно отставать в росте, развиваются болезни.

Увеличение содержания в ППК обменного кальция (и уменьшение содержания Na и Mg) способствует формированию благоприятных свойств почв, которые выражаются прежде всего в улучшении водно-физических и химических свойств (уменьшается плотность сложения почв, увеличивается общая порозность), наблюдается благоприятная комковато-зернистая структура, увеличивается содержание гумуса в верхних горизонтах. То есть нормализуется оптимальное агроэкологическое равновесие между растением и почвой.

Одним из основных агрохимических показателей плодородия почв является гумус. Именно после внесения мелиоранта наблюдается значительное восстановление общего содержания гумуса с 3,4 до 3,43 % (на 0,03 % в среднем для всего участка) (таблица 5).

Таблица 5 – Изменение агрохимических свойств почвы по орошаемому участку

№ скважины	Гумус, %	Нитратный азот, мг/кг почвы	Подвижный фосфор, мг/кг почвы	Обменный калий, мг/кг почвы
Контроль				
1	3,29	58,9	64,86	303,5
2	3,36	52,5	49,43	374,0
3	3,46	51,3	73,29	322,0
4	3,50	49,0	62,43	305,0
После внесения мелиоранта				
1	3,31	59,8	66,63	305,8
2	3,38	54,6	50,48	387,3
3	3,52	53,8	75,36	358,6
4	3,51	52,4	64,56	308,9

Внесение мелиоранта не только способствовало увеличению содержания гумуса на участке, но и улучшило пищевой режим. Отмечено увеличение в пахотном слое почвы как нитратного азота (в 1,05 раза), так и доступного растениям фосфора (в 1,76 раза) и калия (в 1,04 раза) в среднем для четырех скважин на участке 40 га.

Вывод. Для предотвращения негативных процессов, происходящих в орошаемом почвенном покрове, необходимо поддержание бездефицитного баланса кальция

путем внесения мелиорантов, мелиоративные мероприятия, направленные на улучшение впитывания воды в почву. Система внесения мелиорантов является составной частью технологических процессов при восстановлении сельскохозяйственных земель и должна применяться с учетом местных почвенно-климатических условий, степени повреждения и загрязнения, ландшафтно-геохимической характеристики нарушенных земель, конкретного агроландшафта.

Список использованных источников

1 Попов, А. А. О мелиоративных режимах орошаемых черноземов Ростовской области / А. А. Попов, А. Ал. Попов // Тезисы докладов VIII Всесоюзного съезда почвоведов, 14–18 авг. 1989 г. – Новосибирск, 1989. – Кн. 5. – С. 75.

2 Васильев, С. М. Ретроспективный анализ изменения почвенно-мелиоративных условий орошаемых почв юга Ростовской области / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 3(43). – С. 17–24.

3 Васильев, С. М. Экологическая концепция оценки воздействия оросительных систем на ландшафты Нижнего Дона: монография / С. М. Васильев, В. Ц. Челахов, Е. А. Васильева. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2005. – 308 с.

4 Докучаева, Л. М. К обоснованию способа внесения мелиорантов на почвы с комплексным покровом / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Современные проблемы использования мелиорированных земель и повышения их плодородия: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Тверь, 27–28 июня 2013 г. / ГНУ ВНИИМЗ Россельхозакадемии. – Тверь: Изд-во ТвГУ, 2013. – С. 244–248.

5 Безднина, С. Я. Рекомендации по оценке качества воды для орошения сельскохозяйственных культур / С. Я. Безднина. – М.: ВНИИГиМ, 1983. – 120 с.

6 Пат. 2430952 Российская Федерация, МПК С 09 К 17/14. Композиция из влагосорбентов для защиты почв от водной эрозии / Щедрин В. Н., Васильев С. М., Митяева Л. А., Пацера А. А.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2010105352/05; заявл. 15.02.10; опубл. 10.10.11, Бюл. № 28. – 6 с.

7 Пат. 2638029 Российская Федерация, МПК А 01 В 79/02. Способ рекультивации нарушенных сельскохозяйственных земель / Щедрин В. Н., Васильев С. М., Домашенко Ю. Е., Митяева Л. А.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2016133421; заявл. 12.08.16; опубл. 11.12.17, Бюл. № 35. – 6 с.

8 Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова, Г. И. Табала; под общ. ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 137 с.

9 Вальков, В. Ф. Справочник по оценке почв / В. Ф. Вальков, Н. В. Елисеева, И. И. Шигрунт. – Майкоп: ГУР и ПП «Адыгея», 2004. – 236 с.

10 О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 104-ФЗ: по состоянию на 16 мая 2018 г. // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

УДК 556.324

А. С. Капустян
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ДОН

Целью исследования является прогноз подтопления прибрежных территорий в результате затопления пойменной части р. Дон. Рассматривается расчетная схема –

полубесконечный массив с фильтрационно-однородным составом и осредненными параметрами. Расчет уровня грунтовых вод осуществляется в соответствии с пособием к СНИП 2.06.15-85 с определением границ зон подтопления на основе трех последовательных операций: аналитические расчеты, графическое построение расчетных створов и построение изолиний зон подтопления. Приводятся результаты расчета расстояний от уреза воды зон затопления до границ зон подтопления, прогнозные площади зон сильного подтопления.

Ключевые слова: затопление, прогноз подтопления, изменение уровня грунтовых вод, пойменная территория реки Дон, изолинии зон подтопления, гидрогеологические исследования.

****

A. S. Kapustyan
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

FORECAST OF WATER TABLE CHANGES AS A RESULT OF FLOODING OF THE FLOOD PLAIN TERRITORY OF THE LOWER COURSE OF THE RIVER DON

The aim of the study is the underflooding of coastal areas as a result of flooding of the floodplain of the river Don. The design scheme – a semi-infinite mass with a filtration-homogeneous composition and averaged parameters is considered. The water table calculation is carried out in accordance with the manual for SNIP 2.06.15-85 with determination of the underflooding zone boundaries based on three successive operations: analytical calculations, graphical construction of control points and the construction of isolines of underflooding zones. The results of the calculation of the distances from the water's edge of the flood water zones to the underflooding borders, the predicted areas of the zones of intense underflooding are given.

Key words: flooding, underflooding forecast, water table change, floodplain territory of the river Don, isolines of underflooding zones, hydrogeological investigations.

Введение. Затопление пойменной территории р. Дон, особенно в устьевой его части, может привести к подтоплению значительных прибрежных территорий, деградированию почв и снижению урожая сельскохозяйственных культур [1]. Оценить масштабы данного явления возможно с применением методов прогноза уровня грунтовых вод. Прогноз подпора грунтовых вод в зоне затопления выполнялся для условий полубесконечного массива при установившемся движении грунтовых вод.

Материалы и методы. Топографическая основа и границы зоны затопления были получены по материалам собственных изысканий и расчетов.

Сбор инженерно-геологической информации проводился по материалам геологических отчетов в территориальных фондах геологической информации (Южгеология, ТФГИ по Южному федеральному округу).

Сбору и обработке подлежали также материалы государственных гидрогеологических и инженерно-геологических съемок, результаты опытно-фильтрационных работ прошлых лет, сведения о техническом освоении территории и данные об ущербе от развития подтопления.

Прогноз изменения уровня грунтовых вод в результате затопления пойменных территорий рек представляет сложную гидродинамическую задачу, которая решается с применением различных методов. В сельском хозяйстве и строительстве широкое распространение получили аналитические методы, позволяющие дать количественную оценку процессов подтопления [2, 3].

Прогнозы подтопления территории включают в себя расчеты уровня грунтовых вод в результате повышения уровня воды в водотоке и затопления территорий.

Затопление территории аналогично созданию водохранилищ, которые формируют подпор грунтовых вод, приводящий во многих случаях к подтоплению прилегающих территорий, особенно прибрежных. В соответствии с Пособием к СНиП 2.06.15-85 [2] рассматривается расчетная схема – полубесконечный массив.

Алгоритм действий при определении границ зон подтопления приведен нами ранее [3], он включает три последовательные операции: аналитические расчеты, графическое построение расчетных створов и построение изолиний зон подтопления.

Результаты и обсуждения. Применение аналитических методов предполагает определенное упрощение, т. е. схематизацию многосложных естественных характеристик природных гидродинамических процессов для целей решения дифференциальных уравнений, формально описывающих процессы подтопления.

В первую очередь это касается геолого-гидрогеологических условий: размеров водовмещающего пласта в плане, разрезе, фильтрационных свойств водовмещающих грунтов, инфильтрационного питания, параметров водоносных потоков и их граничных условий.

При формировании потоков грунтовых вод граничные условия формируются как на внешних (урез рек, напоров, водохранилищ, свободная поверхность грунтовых вод), так и на внутренних границах, идентифицирующих зоны с различными фильтрационными свойствами в плане и в разрезе.

При изучении внешних границ и их влияния на формирование фильтрационных потоков на всех участках исследования выделяются пласты, полуограниченные в плане.

В гидрогеологическом разрезе в интервале от поверхности земли до кровли водоупорной толщи выделяется единый четвертичный водоносный комплекс.

С точки зрения внутренних границ пласта выделяются фильтрационно-однородные и фильтрационно-неоднородные пласты. Поскольку однородность носит вероятностный характер и за однородный пласт можно принимать такой, в котором проницаемость отдельных участков отличается друг от друга не более чем в 25 раз, на всех участках исследования принята фильтрационно-однородная схема с осредненными параметрами.

Изучение и анализ большого объема информации по геологическому строению и гидрогеологическим условиям исследуемой территории показали, что имеющийся в фондах и архивах материал изысканий прошлых лет позволяет охарактеризовать только общие региональные представления о геолого-гидрогеологических условиях региона.

Для изучения современных показателей свойств грунтов и гидрогеологических условий пойменных участков реки необходимо производство геолого-разведочных работ и рекогносцировочное обследование существующих колодцев и скважин.

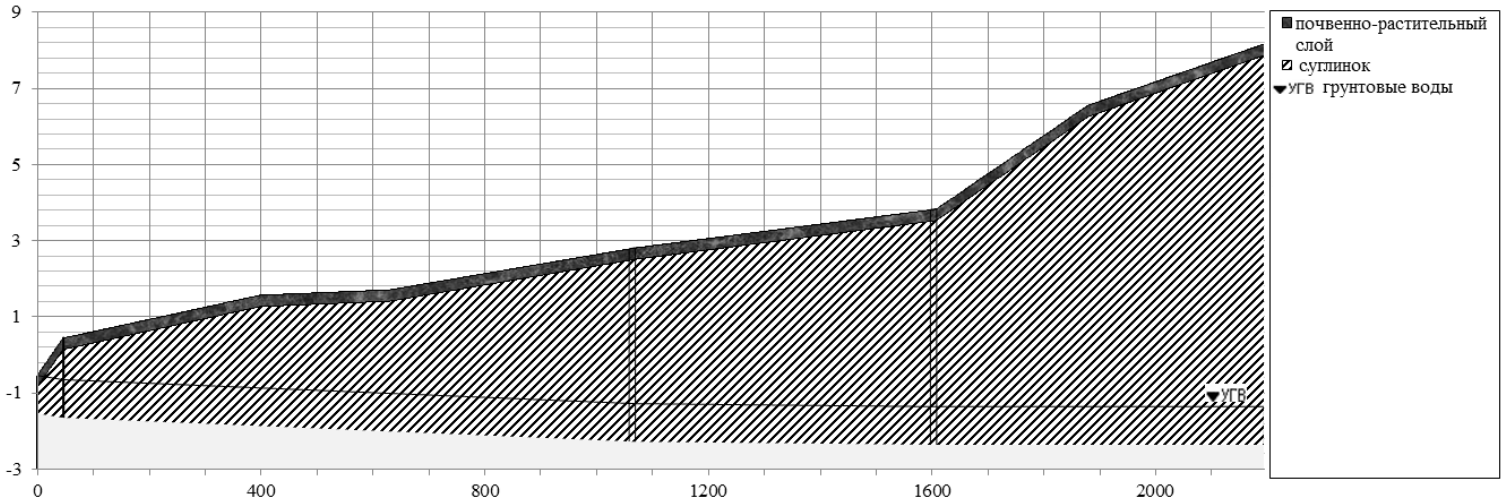
В процессе выполнения данных работ были получены сведения о литологическом составе грунтов зоны аэрации и уровнях грунтовых вод на всех участках наблюдений.

На рисунке 1 представлен характерный для участка исследований геологический разрез по створу 1.37, проходящему через х. Береговой.

Решение прямых и обратных задач по рекомендованному алгоритму действий [2, 3] позволило рассчитать уровни грунтовых вод в результате затопления территорий и определить в границах зон подтопления территории сильного (0,3 м), умеренного (2,0 м) и слабого подтопления (3,0 м).

Количество расчетных створов, необходимых для построения изолиний подтопления, определялось в зависимости от протяженности исследуемого участка и рельефа местности с учетом обеспечения непрерывности наблюдений.

В таблице 1 приведены результаты расчета расстояний от уреза воды зоны затопления до границ зон подтопления по створам, проходящим через населенный пункт, а в таблице 2 – прогнозные площади зон сильного подтопления.



Номер скв./кол.		Скв. 1.37.1	Кол. 1.37.2	Кол. 1.37.2
Абс. отм. устья		0,3	2,8	3,8
Абс. отм. забоя	Река	–0,8	–	–
Уровень п. вод		–0,6	–1,3	–1,4
Расст. между скв./кол.		1023	539	

Рисунок 1 – Геологический разрез по створу 1.37 (х. Береговой)

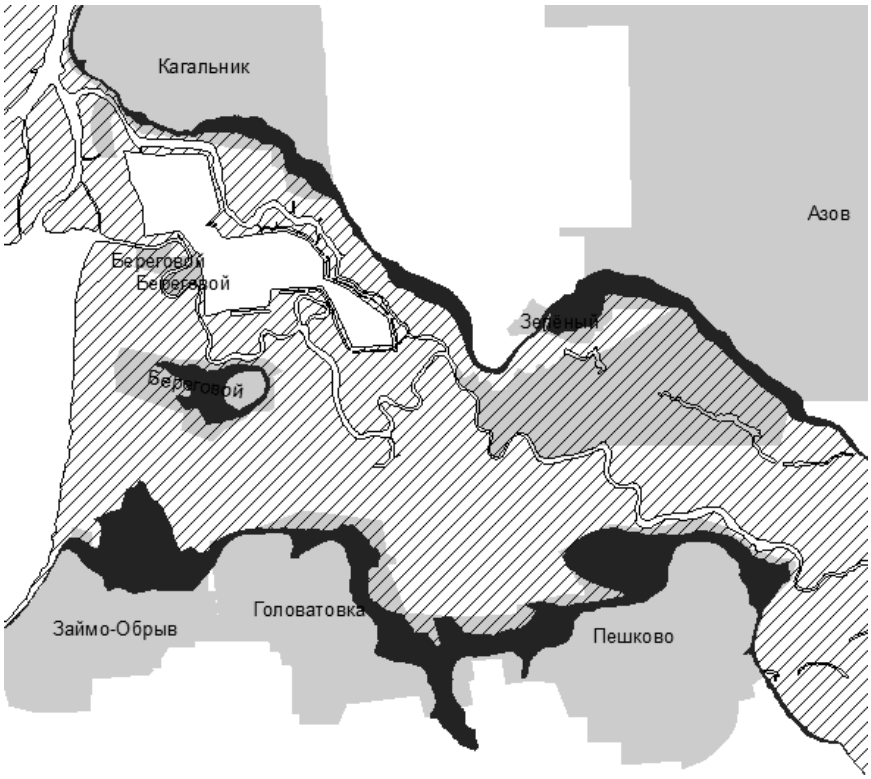
Таблица 1 – Расчетные расстояния по наблюдательным створам от уреза воды зон затопления до границ зон подтопления при 1% вероятности превышения максимального уровня

Номер участка	Участок исследования	Расстояние до границы зоны подтопления, м		
		сильное (0,3 м)	умеренное (2,0 м)	слабое (3,0 м)
1.26	х. Колузаево	2	13	8
1.27	х. Усть-Койсуг	17	11	62
1.28	х. Шмат	9	55	44
1.29	ст. Елизаветинская	9	21	109
1.30	х. Коса	2	18	14
1.31	г. Азов	3	19	13
1.32	х. Узяк	15	22	87
1.33	х. Донской	31	65	142
1.34	с. Кагальник	1	28	8
1.35	х. Курган	1	2	2
1.36	х. Казачий Ерик	3	12	7
1.36	х. Обуховка	9	28	60
1.36	х. Дугино	4	21	13
1.36	с. Рогожкино	2	9	6
1.36	х. Лагутники	8	158	47
1.36	х. Полушкино	8	32	138
1.37	х. Береговой	14	246	101
1.38	н. п. Займо-Обрыв	1	3	1

Таблица 2 – Прогнозные площади сильного подтопления пойменных территорий р. Дон

Номер участка	Участок исследования	Площадь сильного подтопления при различных значениях процентной обеспеченности стока, км^2					
		1 %	3 %	5 %	10 %	25 %	50 %
1.26	х. Колузаево	7,923	18,338	17,521	17,424	28,902	27,485
1.27	х. Усть-Койсуг						
1.28	х. Шмат						
1.29	ст. Елизаветинская						
1.30	х. Коса						
1.31	г. Азов						
1.32	х. Узяк						
1.33	х. Донской						
1.34	с. Кагальник						
1.35	х. Курган						
1.36	х. Дугино, с. Рогожкино, х. Обуховка, х. Лагутники, х. Полушкино, х. Казачий Ерик						
1.37	х. Береговой						
1.38	н. п. Займо-Обрыв						
4	р. Азовка (г. Азов)						
5.1	Рукав (гирло) Каланчи (х. Обуховка)						
5.2	Рукав (гирло) Каланчи (х. Дугино)						
6	Ерик Дугино (х. Дугино)						

Результаты расчета уровня грунтовых вод в виде изолиний зон подтопления нанесены на опорный план. В качестве примера на рисунке 2 приведены прогнозные площади подтопления в зоне затопления пойменной территории р. Дон при 1% вероятности превышения максимального уровня.



Условные обозначения:

– зона подтопления; – зона затопления

Рисунок 2 – Прогнозные площади подтопления пойменных территорий р. Дон при 1% обеспеченности стока

Выводы

1 Прогноз изменения уровня грунтовых вод в результате затопления пойменной территории нижнего течения р. Дон подтвердил возможность применения метода определения зон сильного, умеренного и слабого подтопления.

2 В результате затопления пойменной части р. Дон при 1% вероятности превышения максимального уровня прогнозируемое распространение границ зон подтопления составит в среднем:

- для зоны сильного подтопления – 7,94 м;
- для зон умеренного подтопления – 42,67 м;
- для зон слабого подтопления – 48,39 м.

3 Прогнозная площадь сильного подтопления при различных значениях процентной обеспеченности стока составляет: 1% – 7,923 км^2; 3% – 18,338 км^2; 5% – 17,521 км^2; 10% – 17,427 км^2; 25% – 28,902 км^2; 50% – 27,485 км^2.

Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 225 с.

2 Пособие к СНиП 2.06.15-85. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях (актуализированная редакция 2017 г.). – М.: Стройиздат, 1991. – 45 с.

3 Капустян, А. С. Определение границ зон подтопления населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий в результате подпора грунтовых вод / А. С. Капустян // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 54–57.

УДК 626.86

А. Л. Кожанов
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДВОЙНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА

Целью исследований являлось изучение и разработка комплекса технических решений модульных энергосберегающих осушительных систем двойного регулирования водного режима с минимизацией применения насосно-силового оборудования и внешних источников электроэнергии. Конструктивные схемы модульных энергосберегающих осушительных систем разработаны на основе применения принципа блочно-модульной компоновки, принципа водооборотности для аккумулирования и дальнейшего использования дренажного стока, снижения энергопотребления за счет использования потенциальной энергии воды, применения ярусности. Предложенные конструктивные решения позволяют наиболее эффективно использовать дренажный сток с осушаемого массива и потенциальную энергию водного потока проводящей осушительной сети, применять системы дождевания и капельного орошения, а также позволяют неиспользованный транзитный сток накапливать в различных накопителях на нижерасположенных ярусах и использовать для орошения либо в других целях (рыборазведение, пожаротушение и др.).

Ключевые слова: конструктивное решение, модуль, ярус, энергосбережение, система, двойное регулирование водного режима.

****

A. L. Kozhanov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

STRUCTURAL LAYOUT OF ENERGY-SAVING DRAINAGE SYSTEMS OF DOUBLE WATER REGULATION

The aim of the research was to study and develop a complex of engineering decisions for modular energy-saving drainage systems of double water regime regulation with minimization of pump-power equipment application and external sources of electricity. Constructive schemes of modular energy-saving drainage systems have been developed on the basis of application of a building-block system, the principle of water rotation for accumulation and further use of drainage water, reduction of energy consumption due to the use of potential water energy, the application of layers. The suggested constructive solutions make it possible to make the best use of drainage water from the drained massif and the potential energy of water flow of the diversion drainage network, to use the sprinkling and drip irrigation systems, and also to allow the unused transit runoff to be accumulated in various ponds downstream and to be used for irrigation or for other purposes (fish farming, fire fighting, etc.).

Key words: constructive solutions, module, layer, energy saving, system, double water regulation.

Введение. В настоящее время все более актуальным становится вопрос об энергосбережении и повышении энергоэффективности в сельском хозяйстве, а также в мелиоративном комплексе. Постоянное повышение тарифов на энергоносители, ороси-

тельную воду, а также действие закона «Об энергоэффективности и энергосбережении» вызывает значительный интерес сельхозпроизводителей к использованию современных элементов мелиоративных систем и эффективных технологий. Существуют работы, направленные на повышение эффективности использования энергии водного потока в водоводах, уменьшение потерь напора водного потока и, соответственно, повышение энергетической эффективности водопроводящего сооружения и др. [1–3].

В связи с этим в осушительных системах двойного регулирования водного режима необходимо по возможности применять те конструктивные решения, которые используют максимум потенциальной энергии водного потока, рельеф местности, если это возможно, без применения насосных станций [4].

Назначение правильно выбранных с энергетической точки зрения габаритных размеров элементов водопроводящих трактов позволит снизить энергетические затраты на работу насосно-силового оборудования, что в свою очередь уменьшит потребление энергии на системе в целом. Применение современных материалов также может повысить надежность и энергетическую эффективность осушительных систем двустороннего действия. Для более рационального использования земельных ресурсов на осушительных системах двустороннего действия в конструктивных решениях, которые имеют в своем составе аккумулирующие водоемы (пруды-накопители, бассейны регулирования и др.), накапливающие местный сток [5], возможно размещение на их площади устройств для выработки электроэнергии (из альтернативных источников возобновляемой энергии) при соответствующем технико-экономическом обосновании (плавучие солнечные или ветряные электростанции и др.).

Основными перспективными направлениями при подготовке конструктивных решений будут являться применение принципа блочно-модульной компоновки и принципа водооборотности для аккумулирования и дальнейшего использования дренажного стока, снижение энергопотребления за счет использования потенциальной энергии воды открытых водных потоков и применение дренажно-сбросного стока на нижерасположенных ярусах без использования насосных станций, применение дождевания (дождевальными машинами или установками) и капельного орошения как наиболее совершенных способов увлажнения [5–7].

Материалы и методы. Информационную базу для научного исследования составили известные разработки в области осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных и водооборотных систем двойного регулирования водного режима таких ученых, как А. И. Мурашко, К. Б. Шумакова, П. И. Пыленок, В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, Ю. А. Мажайский, В. В. Бородычев, Н. Д. Станкевич, М. Ю. Храбров и др. В ходе анализа данных систем применялся аналитический, сравнительный и логический метод. По результатам анализа разработаны новые конструктивные схемы модульных энергосберегающих осушительных систем двойного регулирования водного режима.

Результаты и обсуждение. Разработанное конструктивное решение ярусной осушительной системы двойного регулирования водного режима с накопителем стока и орошением дождевальными машинами, работающими при заборе воды из оросителя, может использоваться на пригодных для этих условий почве и рельефе местности (рисунок 1).

Применение предложенного конструктивного решения позволит наиболее эффективно и рационально использовать водно-ресурсный потенциал мелиорируемого участка, а также снизить энергозатраты за счет использования потенциальной энергии водного потока и рельефа местности.

Технический результат заключается в рациональном использовании стока с осушаемой территории за счет накопления его в пруде-накопителе сезонного регулирования для дальнейшего использования при орошении нижерасположенного яруса системы в засушливые периоды без применения насосной станции.

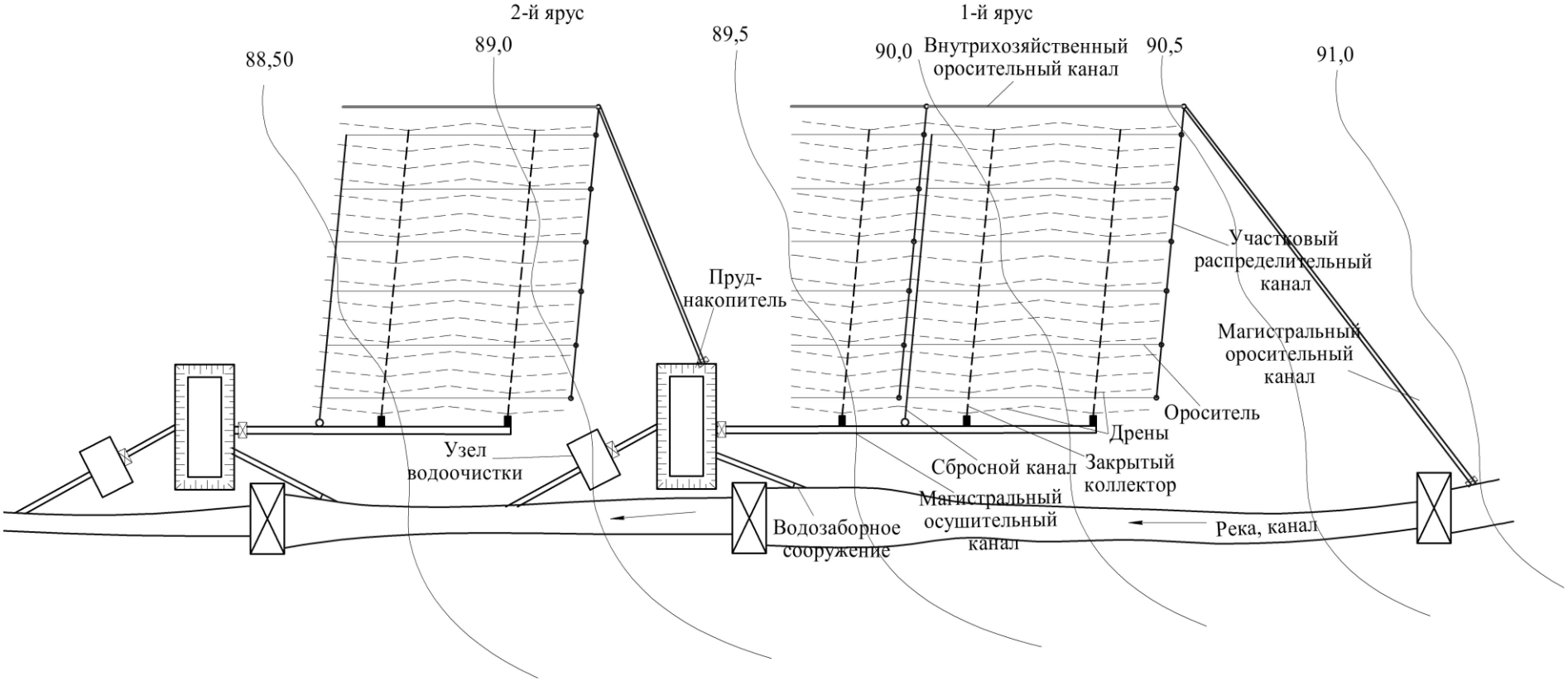


Рисунок 1 – Схема ярусной осушительной системы двойного регулирования водного режима с прудом – накопителем дренажного стока и орошением дождевальными машинами, работающими при заборе воды из оросителя

Данная ярусная осушительная система двойного регулирования водного режима с прудом – накопителем дренажного стока и орошением дождевальными машинами, работающими при заборе воды из оросителя, выполнена следующим образом. Осушительная часть системы выполнена из горизонтального закрытого дренажа, состоящего из дрен и закрытых коллекторов, по которым дренажный сток поступает в осушительный канал, далее через узел водоочистки поступает в пруд-накопитель сезонного регулирования. Избытки стока при необходимости сбрасываются в зарегулированный водоприемник-водоисточник. Когда сток прекращается, закрывается регулятор на осушительном канале, а вода из водоприемника-водоисточника через водозаборное сооружение с рыбозащитными устройствами подается в пруд-накопитель, за счет чего происходит разбавление дренажной воды до нормативных значений, пригодных для орошения, и поднимается уровень воды.

В засушливые периоды орошаемые участки первого яруса орошаются из оросительного канала, вода в который поступает из водоприемника-водоисточника по магистральному оросительному каналу. Далее вода по оросительным каналам поступает во временные оросители, из которых происходит забор воды на орошение дождевальными машинами, работающими при заборе воды из оросителя. Неизрасходованная оросительная вода из оросителей по сбросному каналу также сбрасывается в магистральный осушительный канал и далее через узел водоочистки в пруд-накопитель. Орошение на втором и последующих ярусах производится из пруда-накопителя по той же технологии.

Данная система представляет собой модульную систему, состоящую из осушительной части системы, оросительной части системы, а также блока водоподготовки и накопления дренажного стока. Применение настоящего технического решения системы позволит наиболее эффективно использовать дренажный сток с осушаемого массива без применения насосно-силовых агрегатов.

Предложенное к использованию в составе энергосберегающих осушительных систем двойного регулирования водного режима конструктивное решение модульной осушительной системы с прудом – накопителем дренажного стока и орошением дождевальными машинами, работающими при заборе воды из оросителя с применением перекачивающей насосной станции (рисунок 2), может использоваться на пригодных для этих условий почве и рельефе местности.

Данная система предусматривает двустороннее регулирование водного режима почв за счет местного стока, а также позволяет забирать воду из дополнительного водоисточника (реки, канала) при его наличии и применяется в тех условиях, когда невозможно подать воду из пруда – накопителя дренажных вод самотеком за счет рельефа местности.

Приведенная система включает шесть севооборотных участков (модулей). Система состоит из осушительной сети, включающей дренажную сеть (дрены), коллекторы 1-го и 2-го порядков, магистральные осушительные каналы или коллекторы, бассейн – накопитель дренажно-сбросных вод, узел водоочистки; оросительной сети, включающей насосную станцию с центром управления, узел химизации для подачи удобрений, мелиорантов, пестицидов в оросительную воду, узел водоподготовки, закрытый напорный оросительный трубопровод, подающий воду в нагорный канал, из которого вода поступает в оросители за счет рельефа местности и потенциальной энергии воды, затем вода подается к дождевальным машинам фронтального действия, работающим при заборе воды из временного оросителя с применением собственных насосно-силовых агрегатов.

Конструктивное решение модульной системы, использующей накопленный сток в каналах-накопителях для подпочвенного увлажнения и капельного орошения осушаемых участков, приведено на рисунке 3.

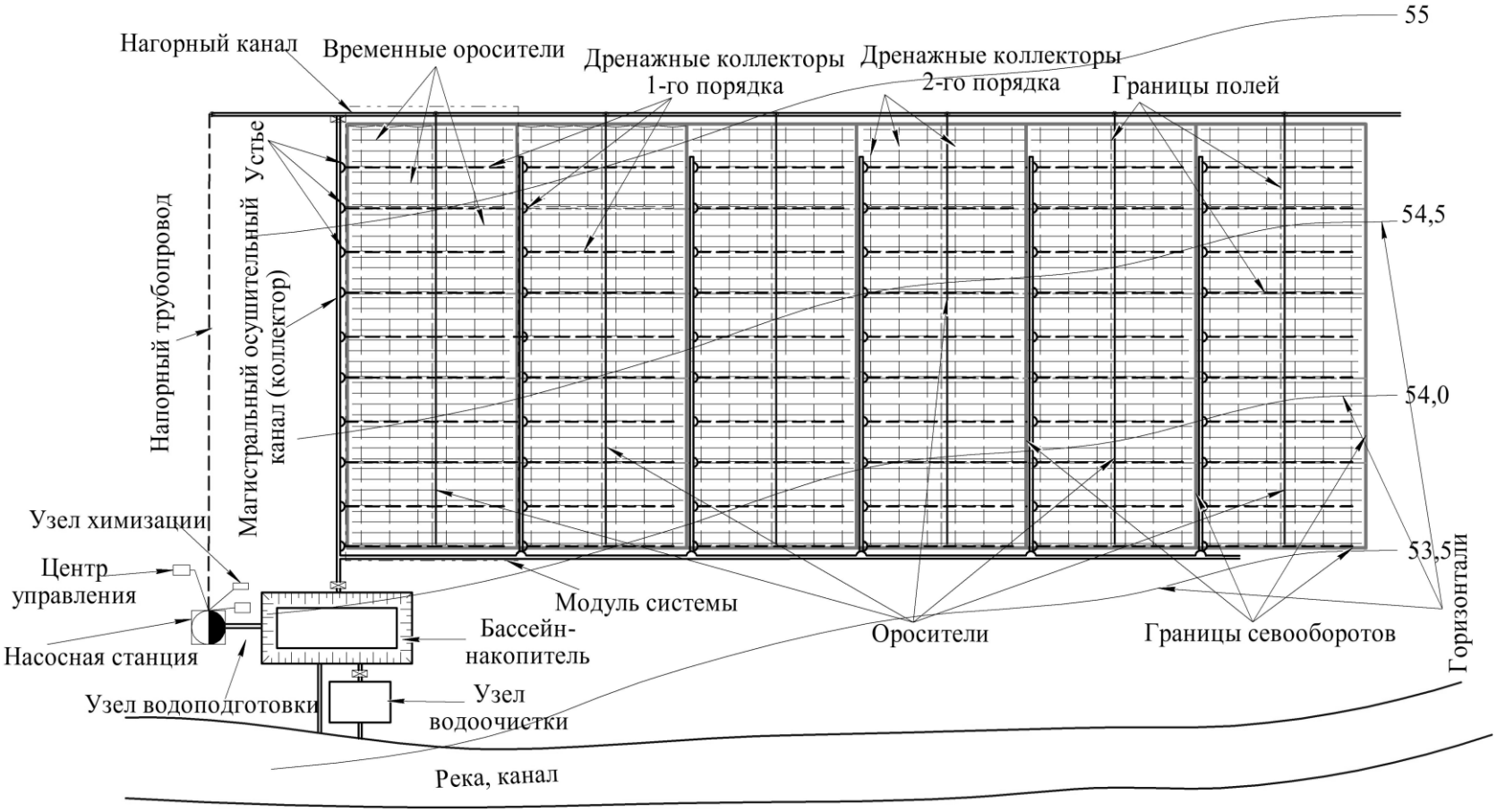


Рисунок 2 – Схема шестимодульной осушительной системы двойного регулирования водного режима с прудом – накопителем дренажного стока и орошением дождевальными машинами, работающими при заборе воды из оросителя с применением перекачивающей насосной станции

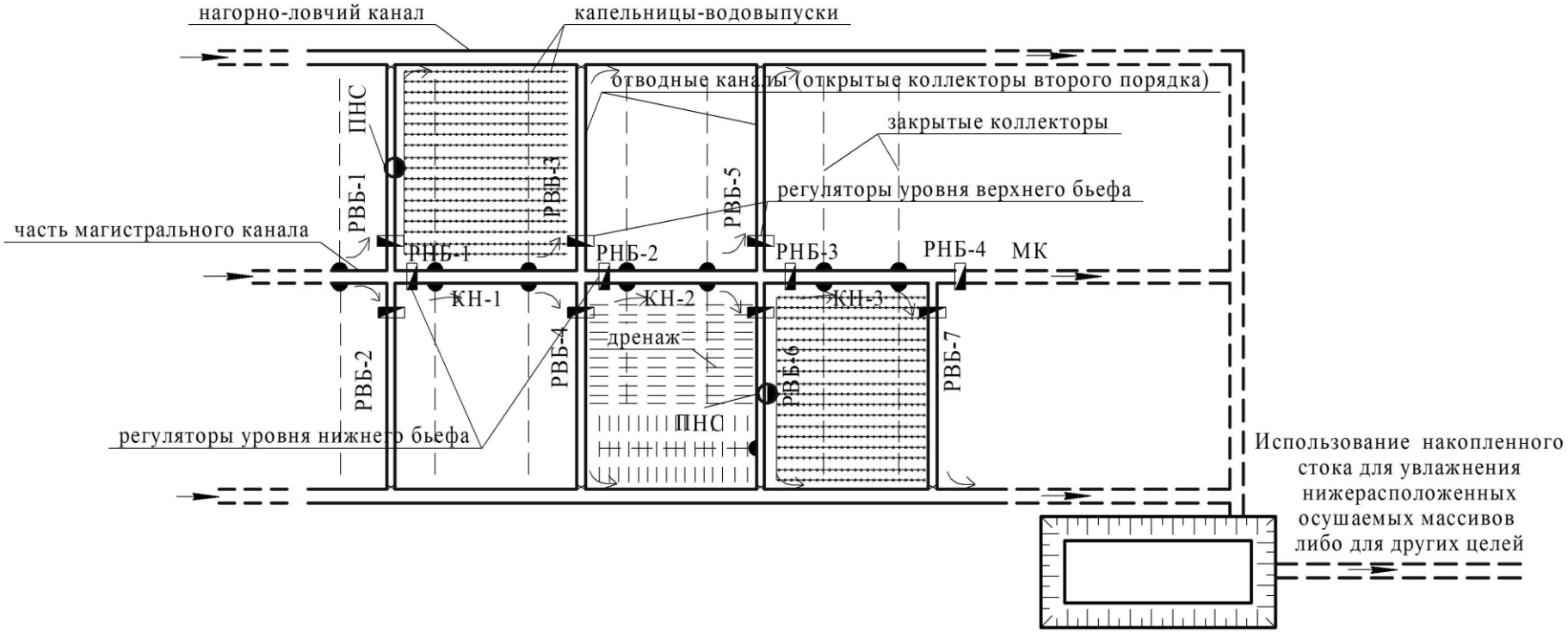


Рисунок 3 – Схема модульной системы, использующей накопленный сток в каналах-накопителях для капельного орошения

Представленная осушительная система двойного регулирования водного режима модульного типа с магистральным каналом-накопителем дает возможность поддерживать уровни воды в канале без внешнего водоисточника и не допускает вынужденного транзитного сброса дренажных вод, отличается низкой энергоемкостью, а при ее использовании требуются пониженные строительные и эксплуатационные затраты. Предложенная система позволяет эффективно использовать потенциальную энергию водного потока проводящей осушительной сети за счет регулирования уровней воды. Предлагаемая водооборотная система с каскадным расположением каналов – накопителей дренажных вод, представляющих собой часть магистрального канала, каждый из которых оборудован автоматическим регулятором нижнего бьефа в истоковой части, а отводные каналы совмещены с каналами проводящей сети и оснащены в головной части автоматическими регуляторами уровня воды верхнего бьефа. Накопленные дренажные воды вышерасположенного мелиоративного модуля (верхнего яруса) можно использовать для увлажнения почв нижерасположенного модуля (нижележащего яруса) без применения прудов-накопителей и водоподъемного насосно-силового оборудования при подпочвенном увлажнении за счет эффективного использования потенциальной энергии водных потоков проводящей осушительной сети. Система увеличивает степень использования дренажных вод для орошения, позволяет часть их исключать из транзитного стока и производить его очистку, что в особенности актуально для Нечерноземной зоны РФ, где состав этих вод характеризуется увеличенной концентрацией загрязняющих веществ. При необходимости в засушливые периоды для овощных и овоще-кормовых севооборотов на данной системе можно применять системы капельного орошения, для этого на канале устанавливается передвижная насосная станция для подачи воды в систему капельного орошения.

Неиспользованный транзитный сток может накапливаться в прудах-накопителях или бассейнах сезонного регулирования на нижележащих ярусах мелиорируемого массива для использования в осушительно-оросительных системах с дождеванием по ранее предложенной схеме либо для других целей (рыборазведения, пожаротушения и др.).

Данная конструкция системы совмещенного типа пригодна для подпочвенного увлажнения с использованием инфильтрации воды из каналов и дрен за счет поднятия уровня воды в каналах и образования напора воды в закрытых дренах при шлюзовании и применима на малоуклонных ровных участках с водопроницаемыми грунтами (мелко- и среднезалежные торфяники, подстилаемые пески).

Выводы. Предложенные конструктивные решения модульных энергосберегающих осушительных систем двойного регулирования водного режима позволяют наиболее эффективно использовать дренажный сток с осушаемого массива без применения насосных станций, эффективно использовать потенциальную энергию водного потока проводящей осушительной сети за счет регулирования уровней воды, применять системы капельного орошения с использованием передвижной насосной станции для подачи воды в засушливые периоды на овощные и другие пригодные для капельного орошения севообороты и обеспечивают двустороннее регулирование водного режима почв за счет местного стока, а также позволяют неиспользованный транзитный сток накапливать в различных накопителях на нижерасположенных ярусах и использовать для орошения либо в других целях (рыборазведение, пожаротушение и др.).

Список использованных источников

1 Селиверстов, В. А. Энергосбережение в мелиорации / В. А. Селиверстов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сб. ст. – Самара: СГАСУ, 2015. – С. 217–220.

2 Щедрин, В. Н. Концептуальное обоснование разработки стратегии научно-технического обеспечения развития мелиорации земель в России / В. Н. Щедрин,

Г. Т. Балакай, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 4(24). – С. 1–21. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec441-field6.pdf.

3 Кожанов, А. Л. К вопросу разработки энергоэффективных оросительных систем нового поколения / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3(59). – С. 62–65.

4 Моделирование использования энергетического потенциала водных ресурсов деривационной оросительной системы / С. М. Васильев, В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов, Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 112–130. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec549-field6.pdf.

5 Использование местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения: науч. обзор / Г. А. Сенчуков [и др.]; ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2011. – 172 с. – Деп. в ВИНИТИ 23.05.11, № 243-В2011.

6 Кожанов, А. Л. Анализ конструкций мелиоративных систем двустороннего действия и основные пути совершенствования / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 91–98.

7 Найденов, С. В. Обзор водооборотных систем на основе гидромелиоративного рециклинга / С. В. Найденов, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 95–111. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec548-field6.pdf.

УДК 627.8.059.2

А. М. Кореновский, М. В. Вайнберг
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОЦЕНКА РИСКА АВАРИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ФЕДОРОВСКОГО ПОДПОРНОГО ГИДРОУЗЛА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Целью исследований являлась оценка риска аварии гидротехнических сооружений (ГТС) Федоровского подпорного гидроузла на р. Кубани в Абинском районе Краснодарского края на основании экспертного анализа уровня опасности аварии и уровня уязвимости сооружений в соответствии с ГОСТ Р 22.2.09-2015 и методическими указаниями СТПВНИИГ 210.02.НТ-04. Установлено, что уровень риска по значению вероятности аварии ГТС Федоровского подпорного гидроузла характеризуется как пониженный и составляет 0,2658. Дальнейшая эксплуатация ГТС Федоровского подпорного гидроузла в проектном режиме возможна при обязательном выполнении в согласованные органами государственного надзора сроки мероприятий по повышению уровня безопасности, конкретный перечень которых вытекает из анализа факторов, обусловливающих максимальные значения показателей опасности и уязвимости.

Ключевые слова: риск, авария, гидротехнические сооружения, подпорный гидроузел, плотина, шлюз-регулятор, канал, рыбопропускной шлюз, рыбоход «Солдатова».

****

A. M. Korenovskiy, M. V. Vainberg
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

RISK ASSESSMENT OF THE EMERGENCY OF HYDRAULIC STRUCTURES OF FEDOROVSKIY RETAINING WATERWORKS IN KRASNODAR TERRITORY

The purpose of the research was to assess the risk of an accident of hydraulic structures (GTS) of the FedorovskIy retaining waterworks on the river Kuban in Abinsk District

Krasnoyarsk Territory on the basis of expert analysis of the hazard level of the accident and the level of structures vulnerability in accordance with GOST R 22.2.09-2015 and the methodical guidelines STPVNIIG 210.02.NT-04. It was found that the risk level by accident risk probability of GTS of the Fedorovsky retaining hydraulic system is characterized as low and is 0.2658. The further operation of the GTS of Fedorovsky retaining waterworks in the design mode is possible with the obligatory implementation of safety improvement measures agreed upon by the state supervision bodies, a specific list of which follows from the analysis of factors causing the maximum values of hazard and vulnerability indicators.

Key words: risk, emergency, hydraulic structures, retaining waterworks, dam, sluice gate-regulator, canal, fish passage, fish path "Soldatova".

Введение. При разрушении гидротехнических сооружений (ГТС) в зоне прохождения волны прорыва причиняется огромный вред населению, хозяйственным объектам и природе. Основная цель всех работ, проводящихся на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации ГТС, заключается в том, чтобы исключить возможность прорыва напорного фронта, ведущего к катастрофическим последствиям. Тем не менее риск аварий на ГТС неизбежен и подлежит оценке, анализу и контролю [1, 2].

Оценка риска аварии ГТС подразумевает процесс, используемый для определения частоты (вероятности) и степени тяжести последствий реализации опасностей аварий ГТС для здоровья, жизни людей, имущества и окружающей природной среды.

Материал и методы. С целью обеспечения безопасности ГТС Федоровского подпорного гидроузла (рисунок 1), находящихся на р. Кубани в Абинском районе Краснодарского края, сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» было проведено их обследование.

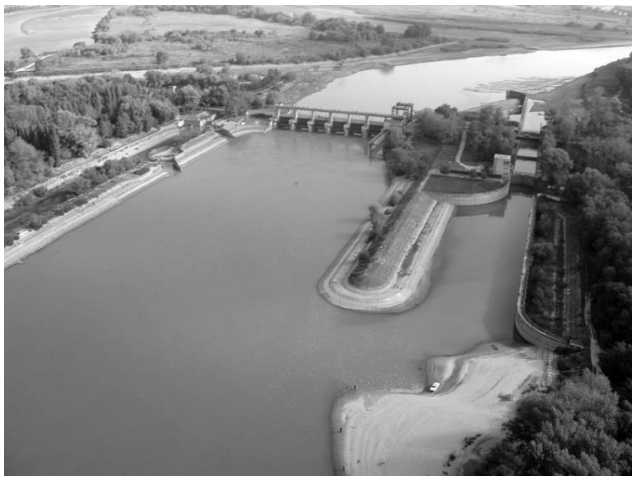


Рисунок 1 – Федоровский подпорный гидроузел (Краснодарский край)

В состав ГТС Федоровского гидроузла входят: водоподпорные сооружения (земляная плотина, железобетонная плотина, шлюз-регулятор в КОС, шлюз-регулятор в МЧОС I, шлюз-регулятор в МЧОС II, шлюз-регулятор в ФОС, головное сооружение Р-2-1); водопроводящие сооружения (канал спрямления, подводящий канал, подводящий канал к ФОС); ГТС специального назначения (рыбопропускной шлюз, рыбоход «Солдатова»).

ГТС Федоровского гидроузла предназначены для обеспечения самотечной подачи воды на правобережные оросительные системы площадью 107 тыс. га и левобережные площадью 12,9 тыс. га. Расчетный максимальный расход воды:

- основной расчетный случай 1% обеспеченности – 1400 м^3/с;
- поверочный расчетный случай 0,1% обеспеченности – 1700 м^3/с;
- подпор, создаваемый плотиной при НПУ, – 6 м;
- подпор, создаваемый плотиной при ФПУ, – 6,9 м.

Водоподпорные сооружения (железобетонная плотина, земляная плотина), ГТС специального назначения (рыбоход «Солдатова»), водопроводящие сооружения (канал спрямления) эксплуатируются с 1967 г. (срок эксплуатации 51 год). ГТС специального назначения (рыбопропускной шлюз) эксплуатируется с 1987 г. (срок эксплуатации 31 год). Водоподпорное сооружение (шлюз-регулятор в КОС) эксплуатируется с 1933 г. (срок эксплуатации 85 лет). Водоподпорное сооружение (шлюз-регулятор в МЧОС I) эксплуатируется с 1971 г. (срок эксплуатации 47 лет). Водоподпорное сооружение (шлюз-регулятор в МЧОС II) эксплуатируется с 1975 г. (срок эксплуатации 43 года). Водоподпорные сооружения (шлюз-регулятор в ФОС, головное сооружение Р-2-1) эксплуатируются с 1969 г. (срок эксплуатации 49 лет). Класс основных ГТС – II [3]. Параметры и технические характеристики ГТС Федоровского гидроузла приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры и технические характеристики ГТС Федоровского гидроузла

Характеристика	Параметр
1	2
1 Водоподпорные сооружения	
1.1 Наименование сооружения	Земляная плотина
Отметка гребня, м	15,8
Максимальная высота, м	10,0
Длина по гребню, м	300,0
Ширина по гребню, м	12,0
Максимальный напор, м	5,5
Заложение откосов: - верхового - низового	 1:5,0 1:5,0
1.2 Наименование сооружения	Железобетонная плотина
Длина плотины, м: - по низу - по верху	 108,0 105,5
Максимальная высота, м	15,5
Ширина, м	23,7
Классификация ГТС по типу основного затвора	Сегментный
Количество пролетов, шт.	6
Ширина пролета, м	12,0
Длина водосливного фронта, м	72,0
Отметка водосливного порога, м	6,5
Максимальная пропускная способность, $м^3/с$	1400,0
Количество основных затворов, шт.	6
1.3 Наименование сооружения	Шлюз-регулятор в КОС
Максимальная пропускная способность, $м^3/с$	80,0
Отметка верха сооружения, м	16,54
Отметка порога сооружения, м	8,34
Длина, м	25,0
1.4 Наименование сооружения	Шлюз-регулятор в МЧОС I
Максимальная пропускная способность, $м^3/с$	45,0
Отметка порога сооружения, м	10,0
Длина, м	42,6
Максимальная высота, м	5,5

Продолжение таблицы 1

1	2
1.5 Наименование сооружения	Шлюз-регулятор в МЧОС II
Максимальная пропускная способность, $м^3/с$	205,0
Отметка порога сооружения, м	8,8
Перепад, м	2,4
1.6 Наименование сооружения	Шлюз-регулятор в ФОС
Максимальная пропускная способность, $м^3/с$	48,0
Отметка порога сооружения, м	11,0
Максимальная высота, м	4,0
1.7 Наименование сооружения	Головное сооружение Р-2-1
Максимальная пропускная способность, $м^3/с$	12,0
Отметка порога сооружения, м	11,0
Длина, м	23,2
Максимальная высота, м	5,2
2 Водопроводящие сооружения	
2.1 Наименование сооружения	Канал спрямления
Длина канала, м	1460,0
Ширина канала по дну, м	220,0
Максимальная глубина канала, м	7,6
Глубина воды при НПУ, м	6,5
Отметка дна канала, м	6,0
2.2 Наименование сооружения	Подводящий канал к ФОС
Длина канала, м	200,0
Ширина канала по дну, м	33,0
2.3 Наименование сооружения	Подводящий канал
Длина канала, м	1700,0
Ширина канала по дну, м	120,0
Проектный расход, $м^3/с$	330,0
3 ГТС специального назначения	
3.1 Наименование сооружения	Рыбопропускной шлюз
Длина, м	184,85
Ширина, м	10,0
Максимальная пропускная способность, $м^3/с$	195,0
3.2 Наименование сооружения	Рыбоход «Солдатова»
Длина канала, м	275,0
Ширина канала по дну, м	10,0
Заложение откосов	1:2,0

В 2010 г. на ГТС Федоровского гидроузла была проведена реконструкция, в ходе которой были выполнены следующие виды работ:

- замена рыбоотводящей секции ГТС специального назначения (рыбопропускного шлюза);
- восстановление сегментных затворов водоподпорного сооружения (железобетонной плотины);
- ограждающие реконструкции бычков водоподпорного сооружения (железобетонной плотины);
- установка нового ограждения безопасности;
- восстановление целостности монолитного железобетонного крепления водопроводящего сооружения (спрямляющего канала);

- восстановление и установка контрольно-измерительной аппаратуры;
- ремонт подводящей части водоподпорного сооружения (железобетонной плотины);
- восстановление ремонтных заграждений;
- восстановление мостового перехода на ГТС специального назначения (рыбоходе «Солдатова»).

Результаты и обсуждение. Сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» было осуществлено обследование на ГТС Федоровского гидроузла. После проведения визуального и инструментального обследования ГТС Федоровского гидроузла были определены возможные причины возникновения аварий, которые были разделены на внешние и внутренние.

Внешними причинами аварий и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на ГТС Федоровского гидроузла могут быть следующие природные и техногенные воздействия:

- коррозионный износ пазовых направляющих сегментных затворов водоподпорного сооружения (железобетонной плотины);
- воздействие агрессивной среды на устой водоподпорного сооружения (железобетонной плотины);
- отслоение защитного слоя бетона;
- нарушение правил монтажа при строительстве водоподпорного сооружения (шлюза-регулятора в ФОС);
- отсутствие текущих ремонтов сооружения;
- механические повреждения устоя водоподпорного сооружения (железобетонной плотины);
- отсутствие контроля со стороны эксплуатирующей организации;
- агрессивное воздействие водной среды.

К внутренним причинам аварий на ГТС Федоровского гидроузла относятся:

- снижение прочности и устойчивости механического оборудования;
- снижение прочности железобетонных элементов водоподпорного сооружения (шлюза-регулятора в МЧОС I);
- изготовление бетона из некачественного материала;
- статические и динамические нагрузки от передвижения автотранспортных средств;
- разрушение бетона под воздействием неблагоприятных природных условий.

Анализ природно-климатических условий территории размещения водохранилища, показателей природных и техногенных воздействий на ГТС, конструкций сооружений и опыта их эксплуатации позволяет считать, что на Федоровском подпорном гидроузле возможны следующие основные сценарии возникновения и развития аварий, способных привести к ЧС.

Сценарий аварии А1: снижение пропускной способности водоподпорного сооружения (железобетонной плотины) вследствие заклинивания сегментных затворов водоподпорного сооружения (железобетонной плотины) или выхода из строя подъемного оборудования затворов водоподпорного сооружения (железобетонной плотины). Последствием аварии, возможно, будет снижение подачи воды на орошение и обводнение сельскохозяйственных угодий, а также подтопление прилегающей территории в верхнем бьефе. Данное событие способствует выходу из строя подъемного оборудования затворов водоподпорного сооружения (железобетонной плотины) и прекращению подачи воды через ГТС Федоровского гидроузла, в результате в период прохождения паводка 0,1% обеспеченности расходом 1700 $м^3/с$ образуется поднятие уровня воды перед водоподпорным сооружением (железобетонной плотиной) до критических отметок и затопление прилегающей территории в верхнем бьефе. Последствия аварии принесут ущерб эксплуатирующей организации, связанный с восстановлением механиче-

ского оборудования затворов, а также могут причинить ущерб дорогам, мостам, ЛЭП и населенным пунктам, расположенным в верхнем бьефе.

Сценарий А2: разрушение водоподпорного сооружения (шлюза-регулятора в МЧОС I) вследствие обрушения левого железобетонного устоя водоподпорного сооружения или обрушения железобетонного бычка шлюзовой коробки водоподпорного сооружения. Последствием аварии будет возникновение ЧС без образования волны прорыва. По приведенному сценарию аварии принимаем, что ввиду отсутствия за период длительной эксплуатации текущих ремонтов водоподпорного сооружения происходит образование трещин в бетоне, через которые будет интенсивно фильтровать вода. Постепенно вода в порах и трещинах бетона под воздействием неблагоприятных природных условий (мороза и ветрового нагона) с течением времени приведет к разрушению бетона, оголению и коррозии стержней арматуры, а в дальнейшем к потере устойчивости и обрушению бычка водоподпорного сооружения и образованию затора. В связи с тем, что водоподпорное сооружение (шлюз-регулятор в КОС) с пропускной способностью 80,0 м^3/с находится в неработоспособном состоянии, а расход водопроводящего сооружения (подводящего канала) 330,0 м^3/с, водоподпорное сооружение (шлюз-регулятор в МЧОС II) с пропускной способностью 205,0 м^3/с в период прохождения паводка 0,1% обеспеченности не будет справляться с объемом пришедшей воды и она будет накапливаться в водопроводящем сооружении (подводящем канале), что со временем приведет к переливу воды через образовавшийся затор и не образует волны прорыва. В результате весь перелившийся объем воды уйдет по каналу без затопления прилегающей территории. Последствия аварии принесут ущерб эксплуатирующей организации, связанный с восстановлением водоподпорного сооружения (шлюза-регулятора в МЧОС 1), а также приведут к возможному снижению подачи воды на орошение сельскохозяйственных угодий и обводнение.

Сценарий А3: разрушение водоподпорного сооружения (шлюза-регулятора в ФОС) вследствие разрушения бетонной конструкции устоя водоподпорного сооружения или разрушения левого железобетонного бычка водоподпорного сооружения. Последствием аварии будет возникновение ЧС без образования волны прорыва. По приведенному сценарию аварии принимаем, что нарушения правил монтажа при строительстве устоев водоподпорного сооружения и изготовление бетона для устоев водоподпорного сооружения из некачественного материала приведут к образованию трещин и отслоению защитного слоя бетона, в результате чего будет происходить контакт воды с рабочей арматурой и ее коррозия. Это в совокупности с агрессивным воздействием водной среды в период паводка приведет к его разрушению. Данное событие послужит причиной разрушения одного пролета водоподпорного сооружения и снижения пропускной способности водоподпорного сооружения, что может привести к переливу воды через водоподпорное сооружение. В результате весь объем воды уйдет по каналу без затопления прилегающей территории. Последствия аварии принесут ущерб только эксплуатирующей организации, связанный с восстановлением водоподпорного сооружения (шлюза-регулятора в ФОС).

Сценарий А4: разрушение левого устоя водоподпорного сооружения (железобетонной плотины) вследствие образования вертикальной трещины на левом устое водоподпорного сооружения или разрушения бетона на левом устое водоподпорного сооружения. Последствием аварии будет образование волны прорыва без затопления близлежащей территории. По приведенному сценарию аварии принимаем, что развитие аварии происходит под водой и незаметно для службы эксплуатации. Из-за постоянного агрессивного воздействия волн на левый устой водоподпорного сооружения и механических повреждений, полученных от плавающих тел, давления и ударов льда, будет происходить разрушение бетона. В дальнейшем это приведет к отслоению защитного слоя бетона, и через образовавшиеся дефекты будет происходить контакт воды с рабо-

чей арматурой, что вызовет ее коррозию. При несвоевременном устранении данных дефектов в период прохождения паводка произойдет разрушение и потеря устойчивости левого устоя сооружения с его последующим обрушением. В результате этого образуется проран и весь объем скопившихся паводковых вод уйдет по р. Кубани. Последствия аварии, возможно, принесут ущерб эксплуатирующей организации, связанный с восстановлением водоподпорного сооружения, а также могут принести ущерб дорожному полотну, проложенному по гребню водоподпорного сооружения (железобетонной плотины).

За наиболее опасный сценарий развития ЧС принят сценарий А4, за наиболее вероятный – сценарий А2.

Оценка риска аварий выполнялась согласно ГОСТ Р 22.2.09-2015 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Экспертная оценка уровня безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений» [4], а анализ риска аварий – согласно СТП ВНИИГ 210.02.НТ-04 «Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений» [5]. Определение коэффициента опасности ГТС Федоровского гидроузла показано в таблице 2.

Таблица 2 – Определение коэффициента опасности ГТС

Показатель опасности	Степень опасности	Код	Отличительный признак, на основании которого экспертом установлена степень (уровень) опасности
1	Отсутствует	0	За междекларационный период природные нагрузки на ГТС Федоровского гидроузла не изменились
2	Малая	1	В проекте имеются незначительные отклонения от современных нормативных требований к расчетным методам
3	Большая	3	Существенные отклонения от проекта: несоответствие проекту КИА, установленной на ГТС; водоподпорное сооружение (шлюз-регулятор в КОС) находится в неработоспособном состоянии
4	Большая	3	В расчетной зоне аварии масштаб ЧС носит региональный характер

Коэффициент значимости показателя опасности приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициент значимости показателя опасности

Показатель опасности	Степень опасности	Код	Коэффициент значимости показателя опасности
1 Опасность превышения природных нагрузок и воздействий	Отсутствует Малая Средняя	0 1 2	0,3
2 Обоснованность и соответствие проектных решений современным нормативным требованиям	Отсутствует Малая Средняя Большая	0 1 2 3	0,2
3 Соответствие проекту конструкции сооружения, условий его эксплуатации и свойств материалов сооружения и основания	Отсутствует Малая Средняя Большая	0 1 2 3	0,3
4 Возможные последствия и ущерб при аварии ГТС	Малая Средняя Большая Очень большая	1 2 3 4	0,2

При этом коэффициент опасности определяется из соотношения:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{4} \delta_i \alpha_i \lambda_0 ,$$

где δ_i – коэффициент значимости i-го показателя опасности;

α_i – значение кода i-го показателя опасности;

λ_0 – нормирующий множитель.

Таким образом, коэффициент опасности ГТС Федоровского гидроузла составит λ = 0,5313.

Определение коэффициента уязвимости ГТС показано в таблице 4.

Таблица 4 – Определение коэффициента уязвимости ГТС

Показатель уязвимости	Степень уязвимости	Код	Отличительный признак, на основании которого экспертом установлена степень (уровень) опасности по рассматриваемому показателю опасности
1	Средняя	2	Сколы и трещины на железобетонных элементах объекта. Коррозия металлоконструкций сооружений. Водоподпорное сооружение (шлюз-регулятор в КОС) находится в неработоспособном состоянии
2	Отсутствует	0	Отсутствуют нарушения состояния окружающей среды в зоне влияния ГТС
3	Средняя	2	Частичный выход из строя и необходимость восстановления КИА. Отсутствие отдельных документов
4	Малая	1	Состояние дорог, ведущих к ГТС Федоровского гидроузла, оценивается как нормальное. Регулярно проводятся тренировки с аварийно-восстановительными бригадами

Коэффициент значимости показателей уязвимости приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Коэффициент значимости показателей уязвимости

Показатель уязвимости	Степень уязвимости	Код	Коэффициент значимости показателя уязвимости
1 Состояние ГТС по данным инструментальных и визуальных наблюдений	Отсутствует Малая Средняя Большая	0 1 2 3	0,35
2 Состояние окружающей среды в зоне влияния ГТС	Отсутствует Малая Средняя Большая	0 1 2 3	0,15
3 Организация эксплуатации ГТС (соблюдение требований безопасной эксплуатации)	Отсутствует Малая Средняя Большая	0 1 2 3	0,3
4 Готовность объекта к локализации и ликвидации	Отсутствует Малая Средняя Большая	0 1 2 3	0,2

Оценка коэффициентов уязвимости ν выполнена по формуле:

$$\nu = \sum_{i=1}^{3} \Phi_i \alpha_i \nu_0,$$

где Φ_i – коэффициент значимости i-го показателя уязвимости;

α_i – значение кода i-го показателя уязвимости;

ν_0 – нормирующий множитель.

Таким образом, коэффициент уязвимости ГТС Федоровского гидроузла составит ν = 0,5.

Оценка риска аварии производится на основании экспертного анализа степени опасности аварии и степени уязвимости ГТС. Степень риска аварии R_a оценивается по принципу пересечения этих событий и количественно выражается коэффициентом риска аварии:

$$R_a = \lambda\nu,$$

где R_a – степень риска аварии;

λ – коэффициент опасности аварии;

ν – коэффициент уязвимости аварии ГТС:

$$R_a = 0{,}5313 \cdot 0{,}5 = 0{,}2658,$$

что соответствует умеренной степени риска аварии (0,15 < R_a < 0,30).

Выводы. Исходя из полученных результатов, максимальная вероятность риска аварий на ГТС Федоровского подпорного гидроузла не превышает допустимое значение уровня риска для ГТС II класса. Итоговый уровень безопасности ГТС оценивается как пониженный. Дальнейшая эксплуатация ГТС Федоровского подпорного гидроузла в проектном режиме возможна при обязательном выполнении в согласованные органами государственного надзора сроки мероприятий по повышению уровня безопасности, конкретный перечень которых вытекает из анализа факторов, обусловливающих максимальные значения показателей опасности и уязвимости.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Методические указания по выбору комплекса уходных эксплуатационных работ при аварийных сбросах магистральных каналов оросительных систем в зависимости от характеристик объекта-представителя / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Научно-технические достижения, рекомендуемые для использования в мелиорации и водном хозяйстве: науч.-практ. кат. паспортов НТД. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2015. – Вып. 38. – С. 25–26.

2 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.

3 О классификации гидротехнических сооружений: Постановление Правительства РФ от 2 ноября 2013 г. № 986: по состоянию на 22 января 2019 г. // Гарант Эксперт 2019 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2019.

4 ГОСТ Р 22.2.09-2015. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Экспертная оценка уровня безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений. Общие положения. – Введ. 2016-06-01. – М.: Изд-во Стандартинформ, 2016. – 20 с.

5 Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений: СТП ВНИИГ 210.02.НТ-04 / под ред. Е. Н. Беллендира, Н. Я. Никитиной. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2005. – 57 с.

УДК 626.823.6:626.82

А. Е. Шепелев, Л. В. Юченко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

АНАЛИЗ СРЕДСТВ ВОДОИЗМЕРЕНИЯ НА ПУНКТАХ ВОДОУЧЕТА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ МИНСЕЛЬХОЗА РОССИИ

В статье представлена информация о наличии средств водоизмерения и проведен анализ средств водоизмерения на пунктах водоучета мелиоративных систем Минсельхоза России. Определены обязательные требования, предъявляемые к средствам измерения пунктов водоучета с целью использования их на мелиоративных системах Российской Федерации. Произведена классификация средств водоизмерения по условиям применения и пропускным характеристикам. Установлено количество пунктов водоучета и средств водоизмерения на мелиоративных системах Минсельхоза России по состоянию на 2018 г. Определена номенклатура средств водоизмерения, имеющихся на пунктах водоучета открытой и закрытой сети мелиоративных систем.

Ключевые слова: средство, водоизмерение, пункт водоучета, данные, мелиоративная система, открытая сеть, закрытая сеть.

****

A. E. Shepelev, L. V. Yuchenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

ANALYSIS OF WATER MEASURING MEANS AT WATER METERING POINTS OF RECLAMATION SYSTEMS OF MINISTRY OF AGRICULTURE OF RUSSIA

The information on availability of water metering tools is provided and analysis of the water measuring means at water metering points of reclamation systems of Ministry of Agriculture of Russia is done. The compulsory requirements to measuring means at the water metering points with the purpose of using them on land-reclamation systems according to the application conditions and flow characteristics was made. The number of water metering points and water measuring means on land reclamation systems of Ministry of Agriculture of Russia as of 2018 has been found. The classification of water measuring means available at water metering points of an open and closed network of reclamation systems has been determined.

Key words: means, water measurement, water metering point, data, reclamation system, open network, closed network.

В современных условиях, когда оросительная вода является дорогостоящим товаром, для рациональной и эффективной эксплуатации гидрометрической сети на объектах государственных мелиоративных систем Российской Федерации должен производиться оперативный и достоверный учет воды. Эксплуатационным организациям, обслуживающим современные мелиоративные системы, необходима организация пунктов автоматизированного водоучета, который будет характеризоваться оперативным определением уровней, расхода и объема подаваемой воды по транспортирующей сети и в точках водовыделов с возможностью дистанционной передачи необходимой информации [1, 2].

В соответствии с Федеральным законом РФ № 102-ФЗ от 26.06.2008 к применению допускаются средства измерений утвержденного типа, прошедшие поверку в соответствии с положением настоящего федерального закона. Должны соблюдаться требования [3]:

- обязательные метрологические требования к измерениям;

- обязательные метрологические и технические требования к средствам измерений, а именно к их основным частям, программному обеспечению и условиям эксплуатации средств измерений.

Конструкция средств измерений должна обеспечивать ограничение доступа к определенным частям средств измерений (включая программное обеспечение) в целях предотвращения несанкционированных настройки и вмешательства, которые могут привести к искажениям результатов измерений [4].

Порядок отнесения технических средств к средствам измерений устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений [3, 5].

В 2018 г. сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» в соответствии с тематическим планом был проведен мониторинг средств водоизмерения на гидромелиоративных объектах государственных эксплуатационных организаций Минсельхоза России:

- для открытой сети;
- для закрытой сети.

В таблице 1 представлена информация о наличии средств водоизмерения на объектах государственных мелиоративных систем Российской Федерации. Данные представлены по состоянию на 2018 г.

Таблица 1 – Наличие средств водоизмерения на объектах мелиоративных систем Минсельхоза России

В шт.

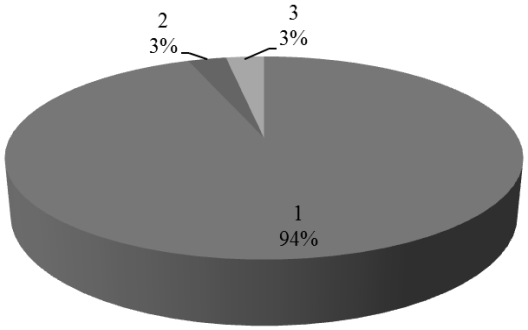
Характеристика пунктов водоучета		Общее количество пунктов водоучета	Количество пунктов водоучета, оборудованных средствами водоизмерения			
			Гидрометрическая рейка	Прибор		
				уровнемер	расходомер	счетчик стока
Открытая сеть						
Пропускаемый расход, $м^3/с$	< 2	1016	457	–	15	–
	2–5	617	360	–	17	–
	5–10	242	217	10	6	–
	10–50	250	234	10	–	–
	50–100	45	38	18	–	–
	> 100	11	10	2	2	–
Итого		2181	1316	40	40	–
Закрытая сеть						
Диаметр, мм	< 300	7	–	–	7	–
	300–500	71	1	9	24	3
	600–800	167	5	–	53	4
	800–1200	98	–	–	27	6
	> 1200	31	–	–	11	14
Итого		374	6	9	122	27

Из данных таблицы 1 видно, что наиболее сложной является ситуация, сложившаяся на открытой сети мелиоративных систем. Из всей номенклатуры средств водоизмерения, имеющихся на пунктах водоучета открытых каналов мелиоративных систем, преобладают гидрометрические рейки (1316 единиц), и лишь 80 единиц – это приборы, причем приборы устаревшего образца. Счетчики стока у водохозяйственных организаций отсутствуют.

Исходя из полученных данных в основном на гидромелиоративных объектах государственных эксплуатационных организаций Минсельхоза России для измерения

расхода воды в открытых каналах и лотках применяются гидрометрические рейки либо расчет расхода воды ведется по производительности насоса [6, 7].

На представленной диаграмме (рисунок 1) графически продемонстрирована информация о наличии у водохозяйственных организаций приборов водоизмерения для открытых каналов и лотков мелиоративных систем.

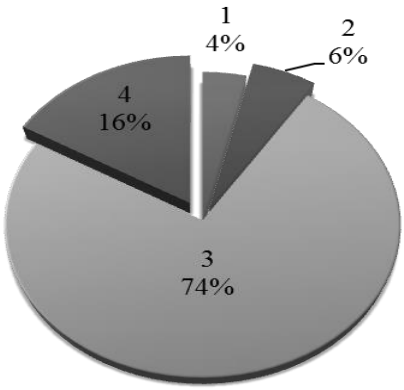


1 – гидрометрические рейки; *2* – уровнемеры; *3* – расходомеры

Рисунок 1 – Наличие в эксплуатационных организациях, подведомственных Минсельхозу России, средств водоизмерения на открытой сети

На закрытой оросительной сети из общего количества пунктов водоучета (374 единицы) лишь 42 % оснащены средствами водоизмерения. В этой номенклатуре преобладают приборы (131 единица), такие как расходомеры-счетчики ультразвуковые (УРСВ-510ц, «Взлет-МР», РУС-1, «Днепр-7», «Эталон-РМ», ПЭА-В-202, УЗР-В-М «Акустрон», UFM, US800, Stream-Lux SLS-700F), электромагнитные («Взлет-М», ВСЭ, ДУ-200), турбинные (ВВ-200).

На представленной диаграмме (рисунок 2) продемонстрирована информация о наличии в эксплуатационных организациях, подведомственных Минсельхозу России, средств водоизмерения на закрытой сети.



1 – гидрометрические рейки; *2* – уровнемеры; *3* – расходомеры; *4* – счетчики стока

Рисунок 2 – Наличие в эксплуатационных организациях, подведомственных Минсельхозу России, средств водоизмерения на закрытой сети

Выводы

1 В современных условиях для рациональной и эффективной эксплуатации гидрометрической сети на объектах государственных мелиоративных систем Российской Федерации должен производиться оперативный и достоверный учет воды.

2 Порядок отнесения технических средств к средствам водоизмерения устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений в соответствии с законодательством РФ.

3 Циркулярный опрос подведомственных эксплуатационных организаций о текущем состоянии средств водоучета и водоизмерения, применяемых на гидромелиоративных объектах Минсельхоза России, показал, что средства водоучета разделены по условиям применения: для открытой сети и закрытой сети.

4 Из общего количества пунктов водоучета 52 % оснащены лишь простейшими средствами измерений, такими как гидрометрическая рейка, 9 % – приборами, а остальные 39 % вообще не имеют каких-либо средств водоучета.

5 Из всей номенклатуры средств водоизмерения, имеющихся на пунктах водоучета:

- на открытой сети: гидрометрических реек – 94 %, уровнемеров – 3 %, расходомеров – 3 %, счетчики стока отсутствуют;
- на закрытой сети: гидрометрических реек – 4 %, уровнемеров – 6 %, расходомеров – 74 %, счетчиков стока – 16 %.

Список использованных источников

1 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

2 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.

3 Об обеспечении единства измерений (с изменениями на 13 июля 2015 г.): Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ: по состоянию на 2019 г. // Гарант Эксперт 2019 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2019.

4 Кожанов, А. Л. Анализ конструкций мелиоративных систем двустороннего действия и основные пути совершенствования / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 91–98.

5 Бочкарев, В. Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах / В. Я. Бочкарев; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 227 с. – Деп. в ВИНИТИ 27.04.12, № 196-В2012.

6 Вайнберг, М. В. Обзор и анализ существующих средств измерения уровня воды (перепада уровней) на открытых каналах оросительных систем / М. В. Вайнберг, А. А. Чураев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 4(68). – С. 58–64.

7 Вайнберг, М. В. Состояние пунктов водоучета на государственных мелиоративных системах / М. В. Вайнберг, А. А. Чураев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3(71). – С. 30–35.

УДК 631.347.4

В. Н. Щедрин, А. А. Чураев, Ю. Ф. Снипич, М. В. Вайнберг
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ФРОНТАЛЬНАЯ ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА С АВТОНОМНЫМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕМ И НЕПРЕРЫВНЫМ ПРОЦЕССОМ ПОЛИВА

Статья посвящена описанию существующих вариантов автономного энергообеспечения дождевальной машины. Рассмотрены различные способы подачи воды в дождевальную машину. Дано описание разработанной сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» фронтальной дождевальной машины с автономным энергообеспечением и непрерывным процессом полива. Приведено описание и принцип работы данной дождевальной машины.

Ключевые слова: фронтальная дождевальная машина, автономное энергообеспечение, непрерывный процесс полива, гидрант, микроГЭС.

****

V. N. Shchedrin, A. A. Churaev, Yu. F. Snipich, M. V. Vainberg
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

LATERAL SPRINKLING MACHINE WITH SELF-CONTAINED POWER SUPPLY AND CONTINUOUS IRRIGATION

The review of the existing variants of self-contained power supply of sprinklers is done. Various methods of water delivery to a sprinkler are considered. The description of the continuous move lateral sprinkler with autonomous power supply developed by FSBSE "RSRILIP" researchers is given. The sprinkler description and the principle of its operation are given.

Key words: lateral sprinkling machine, self-contained power supply, continuous irrigation process, hydrant, micro HPP.

В нашей стране и за рубежом наиболее прогрессивным способом механизированного полива является полив дождеванием. Такой вид орошения наиболее близок к оптимальному попаданию влаги к растению, что оказывает благоприятное воздействие на вегетацию растений, снижает температуру и повышает влажность воздуха в жаркие, засушливые периоды. Но при использовании дождевальной техники на орошаемых землях одной из затратных статей является оплата электроэнергии. В связи с этим имеется необходимость в разработке способа подачи воды в дождевальную машину, позволяющего экономить энергоресурсы [1].

В настоящее время существуют различные варианты автономного энергообеспечения дождевальной машины, имеющие свои преимущества и недостатки. Также различны способы подачи воды в дождевальную машину. Рассмотрим некоторые из них [2].

Например, многоопорная дождевальная машина ДФ-120 «Днепр» (рисунок 1) с приводом от передвижной электростанции ДП-11.000, смонтированной на тракторе [3] и перемещающейся вместе с дождевальной машиной. Перемещение самой дождевальной машины осуществляется с помощью электродвигателей, установленных на тележках. Подача воды производится через телескопический трубопровод, подсоединяемый к стационарным гидрантам. Перемещение машины от гидранта к гидранту осуществляется без полива, что значительно увеличивает время полива, требует расходов на горюче-смазочные материалы, амортизацию трактора и снижает эксплуатационные показатели.

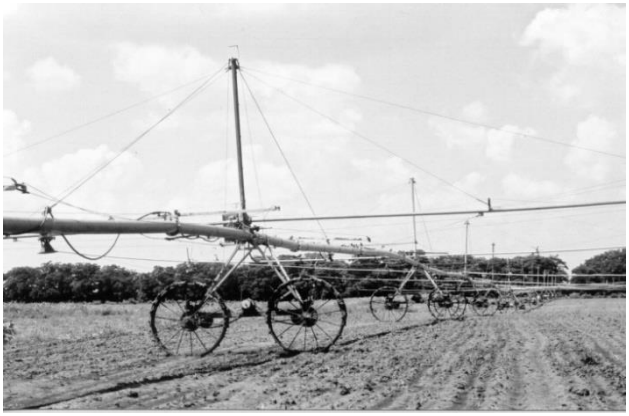


Рисунок 1 – Дождевальная машина ДФ-120 «Днепр»
(автор фото Ю. Ф. Снипич)

Известна дождевальная фронтальная машина типа «Ладога» (рисунок 2), предназначенная для полива различных культур, в т. ч. и высокостебельных, пальметтных садов, ягодников и виноградников, с подачей воды от гидрантов закрытой оросительной сети [4]. Представляет собой водопровод, опирающийся на самоходные тележки с электродвигателями, получающими электропитание от дизель-генераторной установки на центральной тележке, требующей постоянного наблюдения. Дождевальная машина получает воду от гидранта трубчатой сети по гибкому шлангу, периодически подключаемому к гидрантам через каждые 100 м. На водопроводе установлены короткоструйные низконапорные дождеватели. Машина работает в движении, управление автоматизировано.

а

б

а – общий вид; *б* – забор воды

Рисунок 2 – Дождевальная машина «Ладога»
(автор фото Ю. Ф. Снипич)

Зарубежная дождевальная машина фронтального передвижения фирмы Bauer (рисунок 3) электрифицированная с индивидуальной электрической станцией на базе дизель-генератора [5]. Подача поливной воды в водоприемный трубопровод главной опорной тележки от гидрантов напорной оросительной сети осуществляется по гибкому шлангу. Полив угодий выполняется в движении при фронтальном перемещении дождевального крыла. Управление режимом перемещения и полива производится на пульте управления главной тележки. Работа дождевальной машины осуществляется автоматически в «стоп-стартовом» режиме с передачей электрического импульса на электродвигатели мотор-редукторов крайних опорно-ходовых тележек. Фронтальный или круговой полив выполняется при соответствующем режиму и характеру движения машины переключении регуляторов дождевальных насадок. Для работы машины необходим достаточно мощный, порядка 15 кВт, источник электроэнергии и периодическое подключение к гидрантам, что снижает производительность.

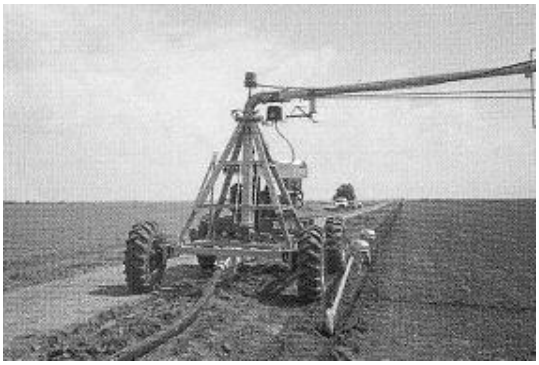
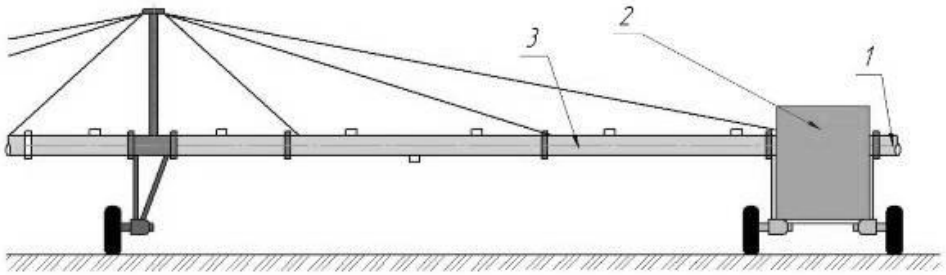


Рисунок 3 – Дождевальная машина фирмы Bauer
(автор фото Ю. Ф. Снипич)

Создание низкоэнергоемких оросительных систем может быть достигнуто путем использования высокоэффективного гидроэнергетического оборудования – микроГЭС с установленной мощностью от 15 до 70 кВт, что, безусловно, актуально как в условиях повышения цен на энергоресурсы, так и при переходе к устойчивому экологически чистому энергообеспечению деривационных оросительных систем.

Известно, что гидроэнергетический потенциал, используемый микроГЭС, в полной мере не изучен, однако он может быть использован не только на реках и водохранилищах, но и на внутрисистемных перепадах рельефа местности между водопроводящими каналами и оросительными системами. Так, микроГЭС может быть основным источником электроэнергии для функциональной работы дождевальной машины вантовой конструкции с прямым приводом ее в движении.

Так, например, дождевальная машина для горных и предгорных участков местности [6] включает водопроводящий трубопровод с дождеобразующими устройствами, помещенный на тележки с электрическими приводами. Управление дождевальной машиной, ее перемещение и навигация осуществляются за счет электрической энергии, вырабатываемой микроГЭС, путем использования части действующего внутреннего напора воды в подводящем трубопроводе, который создается за счет естественного перепада рельефа местности между водоисточником и орошаемым участком. МикроГЭС (рисунок 4) устанавливается непосредственно на дождевальной машине – при фронтальном перемещении или вне ее при круговом перемещении. При имеющихся хороших показателях экономии энергоресурсов недостатком данной машины является также необходимость периодически переключать гибкий шланг, что усложняет технологический процесс полива.



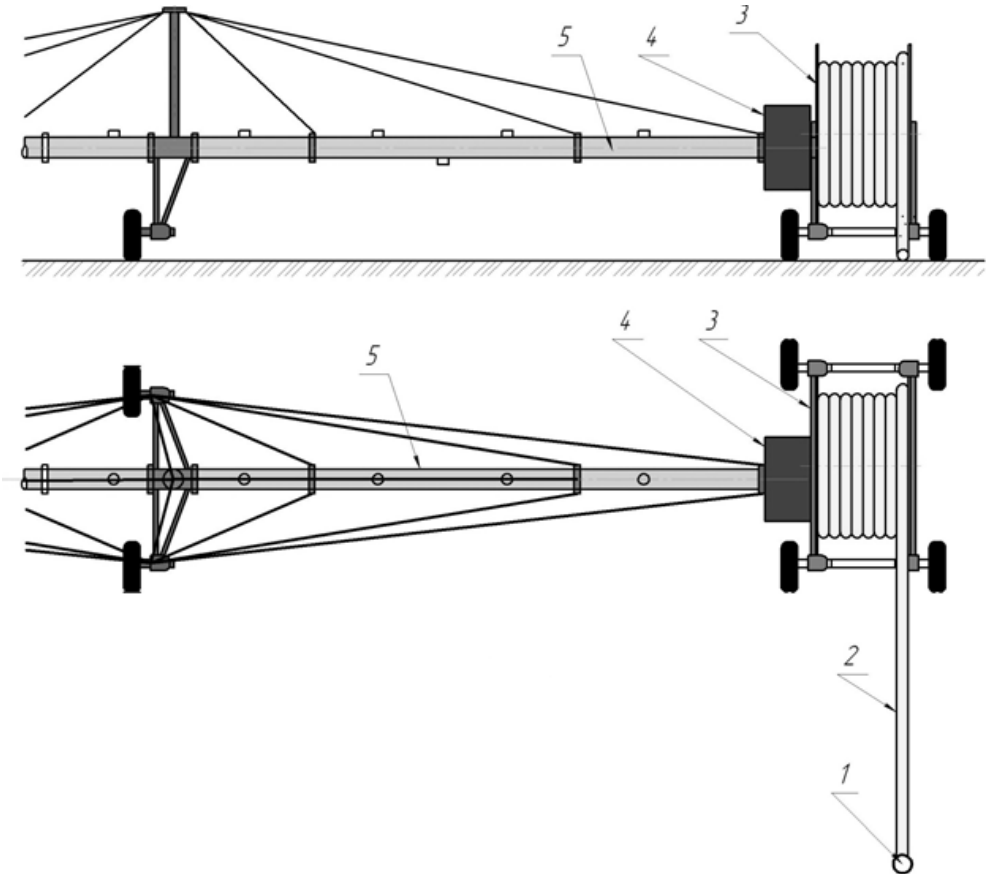
1 – подводящий напорный трубопровод; *2* – микроГЭС; *3* – дождевальная машина

Рисунок 4 – Схема с микроГЭС, установленной на фронтальной дождевальной машине

Сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» разработана фронтальная дождевальная машина непрерывного действия с автономным энергообеспечением и непрерывным процессом полива, без переключений от гидранта к гидранту (заявка № 2018111173/10(017269) от 28.03.2018) [7]. Данная машина включает напорный гидрант, напорный питающий трубопровод, микроГЭС, установленную на подводящем трубопроводе дождевальной машины, использующую естественный перепад местности, который создает необходимый напор водного потока.

Функциональная работа фронтальной дождевальной машины с микроГЭС осуществляется за счет естественных перепадов рельефа местности между водоисточником (канал, река, водоем) и орошаемым участком, где установлена фронтальная дождевальная машина. Выработка электрической энергии на микроГЭС производится за счет действующего напора в подводящем трубопроводе, часть которого используется для выработки электрической энергии, другая часть для работы дождевальной машины, разматывания и сматывания напорного трубопровода на барабан. Выработанная электрическая энергия на микроГЭС используется также для питания электрооборудования дождевальной машины, в т. ч. и навигации.

В процессе работы фронтальной дождевальной машины напорный питающий трубопровод длиной, равной длине орошаемого участка, разматывается и укладывается вдоль линии перемещения. При движении обратно питающий трубопровод наматывается на барабан, и технологический цикл может многократно повторяться без переключения гидранта. Схема подачи воды в дождевальную машину представлена на рисунке 5.



1 – гидрант; *2* – трубопровод; *3* – катушка; *4* – микроГЭС; *5* – дождевальная машина

Рисунок 5 – Схема подачи воды в дождевальную машину

Выработка электрической энергии на микроГЭС осуществляется за счет действующего напора в питающем трубопроводе, часть которого используется на перемещение дождевальной машины по орошаемому участку, другая часть – на разматывание и сматывание питающего трубопровода на барабане. Вода, прошедшая через барабан и микроГЭС, поступает на орошение.

Эффективность данной разработки заключается в следующем:

- полив дождевальной машиной можно производить на полях предгорных и горных районов без подвода линий электропередач. Автономное энергообеспечение дождевальной машины исключает затраты на электроэнергию. Выработанная на микроГЭС электрическая энергия используется как для питания электрооборудования дождевальной машины, так и для навигации;

- наличие напорного питающего трубопровода длиной, равной длине орошаемого участка, разматываемого при движении вперед и наматываемого на барабан при движении назад, позволяет многократно повторять технологический процесс полива без переключения гидранта, что значительно повышает его производительность.

Список использованных источников

1 Сравнительный анализ технико-эксплуатационных параметров дождевальной машины «Дон-К» / В. Н. Щедрин, А. А. Чураев, Л. В. Юченко, А. М. Коренов-

ский // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3(71). – С. 101–107.

2 Васильев, С. М. Дождевание / С. М. Васильев, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 352 с.

3 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

4 Дождевальная фронтальная машина типа «Ладога» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:aquaspray.ru/articles/dojdevalnaya-frontalnaya-mashina-tipa-ladoga.html, 2019.

5 Каталог фирмы «Bauer» «Оросительная техника» / Rochren-und Pumpenwerk Bauer GmbH. – Voitsberg, Austria.

6 Пат. 2638312 Российская Федерация, МПК A 01 G 25/09. Дождевальная машина для горных и предгорных участков местности / Щедрин В. Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2017111556; заявл. 05.04.17; опубл. 13.12.17, Бюл. № 35. – 3 с.

7 Пат. 2676906 Российская Федерация, МПК A 01 G 25/09. Фронтальная дождевальная машина непрерывного действия с автономным энергообеспечением / Щедрин В. Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2018111173; заявл. 28.03.18; опубл. 11.01.19, Бюл. № 2. – 4 с.

УДК 502.1

А. Р. Триполева, М. И. Штавдакер, Д. П. Триполев
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ САМООРГАНИЗАЦИИ НА ОРОСИТЕЛЬНО-ОБВОДНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Целью исследований явилось изучение процессов взаимосвязи, взаимодействий и взаимоотношений между природными (биотическими, абиотическими) и техногенными компонентами существующих и создаваемых оросительно-обводнительных систем (ООС) в составе природно-технических систем (ПТС) «природная среда – объект деятельности – население». Для ПТС «природная среда – объект деятельности – население» на примере ООС Ростовской области рассмотрены концептуальные основы процессов самоорганизации как модель взаимосвязанных преобразований в природных средах под воздействием ООС. Сформировано понятие самоорганизации в ПТС.

Ключевые слова: бассейновая геосистема, экологическое состояние, ООС, самоорганизация, внешняя среда, взаимодействие компонентов.

****

A. R. Tripoleva, M. I. Shtavdaker, D. P. Tripolev
Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

METHODOLOGICAL BASIS FOR THE ASSESSMENT OF SELF-ORGANIZATION ON DUAL-PURPOSE IRRIGATION SYSTEMS

The aim of the research was to study the processes of interconnection, interactions and relationships between natural (biotic, abiotic) and technogenic components of existing and created dual-purpose irrigation systems (IS) as a part of natural-engineering systems (NES) "natural environment – object of activity – population". The conceptual basis of self-organization processes as a model of interrelated transformations in natural environments

under the influence of dual-purpose irrigation systems are considered for NES "natural environment – the object of activity – population" on the example of IS of Rostov region. The concept of self-organization in the NES is formed.

Key words: basin geosystem, ecological state, dual-purpose irrigation system, self-organization, external environment, component interaction.

Хозяйственная деятельность по использованию водных ресурсов обуславливает создание природно-технических систем (ПТС) «природная среда – объект деятельности – население», в них в качестве объекта деятельности рассматривается оросительно-обводнительная система (ООС), которая функционирует в пространственных пределах бассейновых геосистем (рисунок 1).

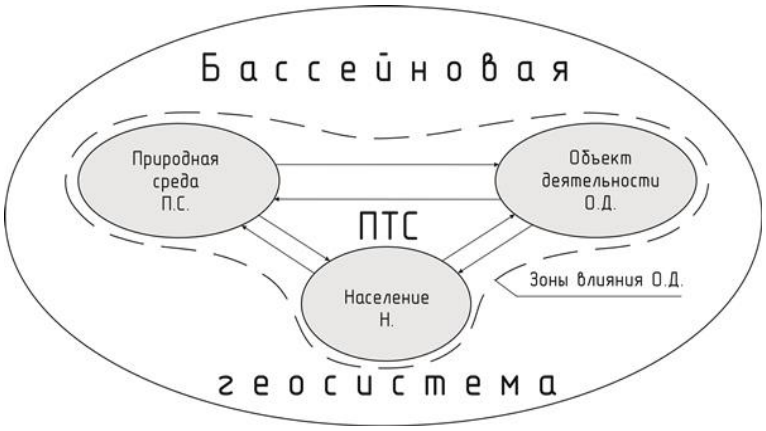


Рисунок 1 – Схема взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношений структурных элементов ПТС «природная среда – ООС – население»

ПТС «природная среда – ООС – население», в которых центральным техногенным компонентом является ООС, вносят определенные изменения в естественные (фоновые) процессы движения потоков вещества, энергии и информации. Естественные процессы движения потоков вещества, энергии и информации в природных системах обуславливаются процессами постоянного взаимодействия биотических и абиотических компонентов между собой при непрерывном поступлении солнечной энергии от первоисточника из космоса [1]. Следовательно, состояние (экологическое, энергетическое), как на уровне локальных бассейновых геосистем, так и на уровне глобальной системы – биосферы Земли, будет определяться внутрисистемными и внешними процессами движения потоков вещества, энергии и информации и процессами взаимосвязи, взаимодействий и взаимоотношений между биотическими и абиотическими компонентами и окружающей их внешней средой. ПТС «природная среда – ООС – население» являются определенной частью бассейновых геосистем [2], в пространственных пределах которых они функционируют.

Функционирование ПТС «природная среда – ООС – население» в пространственных пределах бассейновой геосистемы определяет динамику состояния как самой ПТС «природная среда – ООС – население», так и бассейновой геосистемы в целом. Что следует понимать под состоянием системы?

В системном понимании [3] состояние системы определяется процессами движения потоков вещества, энергии и информации, которые обуславливаются процессами взаимосвязи, взаимодействий и взаимоотношений между составляющими систему компонентами (элементами) и окружающими компонентами внешней среды. В энергоэнтропийном понимании [4] состояние рассматриваемой системы определяется балансовым соотношением свободной части энергии ($E_{свб}$) и связной части энергии ($E_{свз}$) (рисунок 2).

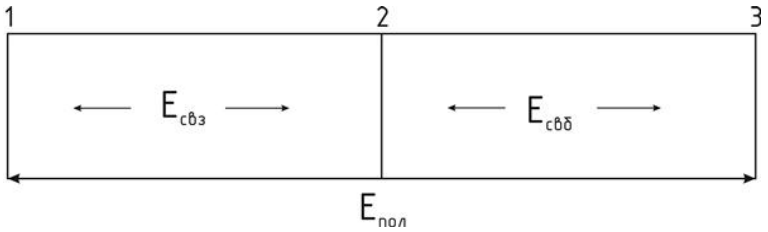


Рисунок 2 – Схема энергетического баланса

При доминировании $E_{свб}$ в рассматриваемой системе, когда антидиссипативные процессы превалируют над диссипативными процессами, обуславливающими особой $E_{свз}$, в системе формируется тенденция или направление вектора развития. При доминировании $E_{свз}$, когда диссипативные процессы превалируют над антидиссипативными, система стремится к равновесию или деградирует применительно к рассматриваемым ПТС «природная среда – ООС – население». Исходя из вышеотмеченного базового понятия «состояние системы», следует особо отметить понятие, связанное с экологическим состоянием рассматриваемых систем – ПТС «природная среда – ООС – население», в зонах влияния которых проживает население и ведутся практически все виды хозяйственной и иной деятельности.

Экологическое состояние как в зонах влияния объекта деятельности, так и бассейновой геосистемы в целом определяется движущимися потоками вещества, энергии и информации, которые возникают в результате процессов взаимосвязи, взаимодействий и взаимоотношений между природными (биотическими, абиотическими), техногенными компонентами и непрерывно поступающими потоками солнечной энергии, и количественно выражается ПДК, ПДУ, ПДВ, ПДС, ПДО, которые регламентируются установленными нормативными требованиями [4].

В рассматриваемых ПТС «природная среда – ООС – население» и пространственных пределах бассейновых геосистем, где функционируют данные ПТС, движение потоков вещества, энергии и информации обуславливается как естественными процессами взаимоотношений между природными компонентами, так и техногенными процессами взаимосвязи, взаимодействий и взаимоотношений ООС с природными компонентами в пределах зон влияния рассматриваемой бассейновой геосистемы.

Взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения между природными компонентами и ООС в пределах зон влияния последней обуславливают пространственную структуру ПТС «природная среда – ООС – население», которая определяется характером расположения составляющих ее компонентов. Как отмечается в работе В. Л. Бондаренко, В. Б. Дьяченко [2], пространственная структура ПТС «природная среда – ООС – население» подразделяется на территориальную, вертикальную и временную. Накопленный опыт создания и эксплуатации ПТС «природная среда – ООС – население» на Северном Кавказе в бассейнах рек Кубани, Терека и Нижнего Дона показывает, что одними из наиболее важных системных механизмов в рассматриваемых ПТС «природная среда – ООС – население» являются процессы самоорганизации, в результате которых создается, воспроизводится и совершенствуется как внутрисистемная организация, так и организация с окружающей внешней средой.

В системном понимании и обобщенном представлении в рассматриваемых бассейновых геосистемах и функционирующих в их пределах ПТС «природная среда – ООС – население» процессы самоорганизации имеют место, как в системах высокого уровня сложности и с большим количеством элементов [5], связи между которыми имеют не жесткий, а вероятностный характер. Например, жизнедеятельность ихтиофауны водного объекта, из которого осуществляется водоотбор, находится в вероятностной зависимости от гидрологических характеристик стока, формирующегося в пространственных пределах бассейновой геосистемы.

Как отмечается в работе В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, Т. М. Минкиной [6], управление естественными процессами взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношений между природными (биотическими, абиотическими) и техногенными компонентами в пространственных пределах зон влияния ООС осуществляется системным механизмом, обеспечивающим одновременное изменение и сохранение поступающих потоков вещества, энергии и информации путем сохранения направления изменений в этих потоках. Системный механизм, управляемый извне, действует в системах любого иерархического уровня, например живой клетки, биосферы Земли и систем более высокого уровня, обеспечивает сохранение развития, а через развитие процессов взаимосвязи, взаимодействий и взаимоотношений между компонентами и сохранение целостности рассматриваемой системы.

Для рассматриваемых ПТС «природная среда – ООС – население» управляющее воздействие системного механизма осуществляется в соответствии с действующим принципом сохранения развития. Оно обуславливает необратимое, закономерное и направленное изменение, в результате которого возникает новое качественное состояние системы с более низким уровнем энтропии как величины скорости роста интенсивности процессов преобразований форм энергии, и соответственно направления происходящих изменений.

Необратимые, закономерные и направленные изменения в зонах влияния ООС неотъемлемо взаимосвязаны с процессами преобразований в природных средах, которые обуславливают процессы самоорганизации как составные элементы главного системного механизма, управляемого извне. Свойства самоорганизации обнаруживают объекты самой различной природы – живые клетки, популяции животного мира и природные системы различного иерархического уровня.

Установлено, что процессы самоорганизации в системах различного иерархического уровня происходят за счет перестройки существующих и образования новых взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений между составляющими систему элементами. Отличительной особенностью процессов самоорганизации, в частности в пространственных пределах зон влияния ООС, является их целенаправленный, но вместе с тем естественный спонтанный характер. Процессы самоорганизации в пространстве и времени протекают при непрерывной взаимосвязи, взаимодействии и взаимоотношении компонентов (элементов) рассматриваемой ПТС «природная среда – ООС – население» с компонентами (элементами) окружающей природной среды в пространственных пределах бассейновой геосистемы.

Различают три типа процессов самоорганизации:

- самозарождение организации или возникновение из некоторой совокупности целостных объектов определенного иерархического уровня новой целостной системы со своими специфическими закономерностями;
- процессы, благодаря которым система поддерживает определенный уровень организации при изменении внешних и внутренних условий ее функционирования;
- третий тип процессов самоорганизации связан с совершенствованием и саморазвитием системы, когда используется накопленный опыт, и используется в процессах самоорганизации.

Для рассматриваемых ПТС «природная среда – ООС – население» процессы самоорганизации в большой степени соответствуют третьему типу, в котором максимально используется внедренный в природную среду объект деятельности, при взаимодействии ООС с природными компонентами происходит процесс самоорганизации в пределах как зон ее влияния, так и бассейновой геосистемы в целом. ПТС «природная среда – ООС – население» как самоорганизующаяся система в пространственных пределах бассейновой геосистемы является самоприспосабливающейся системой, в которой приспособление или адаптация к условиям окружающей внешней среды бассейно-

вой геосистемы достигается путем изменения структуры системы управления – включением или отключением отдельных подсистем изменением алгоритмов управления и связей, взаимодействий и взаимоотношений между подсистемами, компонентами и элементами системы.

Взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения между компонентами ПТС «природная среда – ООС – население» формируют ее пространственную структуру, которая определяется характером расположения компонентов и проживающим населением в зонах влияния ООС. Исходя из энерго-энтропийного подхода [6] к изучению ПТС «природная среда – ООС – население» и процессов самоорганизации в данных системах способствуют упорядочению и усложнению действующих взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений между природными и техногенными компонентами и формированию тенденции к снижению темпов роста энтропии.

Наряду с процессами упорядочения и усложнения действующих взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений между компонентами ПТС «природная среда – ООС – население», важными также являются происходящие преобразования в природных средах (атмосфере, гидросфере, верхних слоях литосферы и почвенном покрове) под воздействием ООС в зонах влияния бассейновой геосистемы. Так, например, в ПТС «природная среда – ООС – население» при использовании водных ресурсов в различных технологических процессах (системах водоснабжения, орошения, рыборазведения и т. п.) происходит прямое или опосредованное преобразование солнечной энергии в наиболее приемлемые формы – продукты питания, электрическую энергию и т. п. [7]. Установлено, что на глобальные процессы круговорота воды в природе используется около 20 % солнечной энергии, достигающей земной поверхности, а на все процессы фотосинтеза около 1 %.

На основе функционального анализа ПТС «природная среда – ООС – население» можно отметить, что процессы самоорганизации обуславливаются способностью производить и саморегулировать необходимые преобразования в своих внутрисистемных структурах в ответ на происходящие изменения состояния в природных средах как в зонах влияния ООС, так и в окружающих пространственных пределах бассейновой геосистемы. Следовательно, самоорганизацию в ПТС «природная среда – ООС – население» можно рассматривать как универсальную модель взаимосвязанных преобразований в природных средах под воздействием ООС, что способствует обеспечению природно-техногенной целостности, в которой доминирующую роль в процессах взаимосвязи, взаимодействий и взаимоотношений между компонентами рассматриваемой системы играют природные процессы.

Самоорганизация в ПТС «природная среда – ООС – население», как свидетельствуют результаты исследований, обуславливается процессами, в ходе которых производятся и саморегулируются необходимые преобразования, упорядочения, происходит усложнение и создание новых взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений в структурных образованиях между природными и техногенными компонентами и проживающим населением в зонах влияния объекта деятельности. Процессы самоорганизации в ПТС «природная среда – ООС – население» происходят за счет перестройки существующих взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений между природными компонентами при отсутствии ООС и образования новых системных взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений при наличии ООС. Следовательно, процессы самоорганизации в рассматриваемых ПТС «природная среда – ООС – население» обуславливают процессы создания, воспроизводства и совершенствования организации взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений между природными компонентами и ООС в зонах влияния пространственных пределов конкретной бассейновой геосистемы. Таким образом, можно отметить, что процессы самоорганизации в ПТС «природная среда – ООС – население» определяются достаточно высоким уровнем сложности и

большим количеством взаимодействующих природных представителей растительности и животного мира с отдельными элементами техногенного компонента, например комплексом гидротехнических сооружений (КГТС) Зеленчукской ГЭС-ГАЭС. Доминирование естественных преобразований в природных компонентах зон влияния ООС обуславливает особенность процессов самоорганизации. Рассмотрим, например, ПТС «природная среда – ООС – население», в которой в качестве ООС выступает КГТС Зеленчукской ГЭС-ГАЭС; согласно проведенным исследованиям, доминирование естественных процессов составляет порядка 98–99 % [8]. Для рассматриваемой в качестве примера ПТС «природная среда КГТС Зеленчукской ГЭС-ГАЭС – население» процессы самоорганизации обуславливают возникновение из некоторой совокупности природных компонентов в пространственных пределах бассейновой геосистемы Верхней Кубани (W6.T. = 113300 км^3) и КГТС Зеленчукской ГЭС-ГАЭС (6,18 км^3) целостного природно-техногенного комплекса в виде ПТС «природная среда – ООС – население», которая обладает своими специфическими закономерностями, например, формирование стока (поверхностного, подземного) и его внутрибассейнового перераспределения для целенаправленного его использования для выработки электрической энергии на ГЭС-ГАЭС.

На Зеленчукской ГЭС-ГАЭС, как свидетельствуют мониторинговые исследования, самоорганизация в создаваемой ПТС «природная среда – КГТС Зеленчукской ГЭС-ГАЭС – население» в значительной степени обуславливается процессами приспособления входящих в систему компонентов, и в частности населения, проживающего в зонах влияния КГТС. Самоприспособление к изменяющимся условиям в зонах влияния КГТС происходит, как показывают наблюдения, путем структурных преобразований, связанных с упорядочением, усложнением существующих и созданием новых взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений между природными и техногенными компонентами рассматриваемой ПТС «природная среда – КГТС Зеленчукской ГЭС-ГАЭС – население».

Выводы

1 На основе результатов исследований важным считаем сформулировать понятие самоорганизации применительно к рассматриваемым ПТС «природная среда – ООС – население»: «Самоорганизация ПТС «природная среда – ООС – население» обуславливается целенаправленными процессами, в ходе которых производятся необходимые преобразования, связанные с упорядочением, усложнением существующих и образованием новых взаимосвязей, взаимодействий и взаимоотношений между природными (биотическими, абиотическими) и техногенными компонентами (объектом деятельности), в ответ на изменения состояния в природных средах зон влияния объекта деятельности в пространственных пределах бассейновых геосистем».

2 Изучение процессов самоорганизации в ПТС «природная среда – ООС – население» позволяет более осмысленно и обоснованно производить оценку экологического состояния и экологического воздействия ООС на природные среды в рассматриваемом виде хозяйственной деятельности, связанной с использованием водных ресурсов и защитой от негативного воздействия природных вод.

Список использованных источников

1 Природообустройство: территория бассейновых геосистем: учеб. пособие / В. Л. Бондаренко [и др.]; под общ. ред. И. С. Румянцева. – Ростов н/Д.: Март, 2010. – 528 с.

2 Бондаренко, В. Л. Оценка экологического состояния бассейновой геосистемы в процессах использования водных ресурсов / В. Л. Бондаренко, В. Б. Дьяченко // Проблемы региональной экологии. – 2005. – № 2. – С. 86–92.

3 Бондаренко, В. Л. Основы методологии оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) водохозяйственных объектов / В. Л. Бондаренко, В. В. Гутенев, В. В. Приваленко // Юг России: экология, развитие. – 2008. – № 1. – С. 44–53.

4 Системный подход в оценке воздействия водохранилищ на окружающую среду / В. Л. Бондаренко, В. Б. Дьяченко, В. В. Гутенев, А. В. Федорян // Проблемы региональной экологии. – 2006. – № 5. – С. 6–12.

5 Решение экологических проблем при проектировании гидротехнических сооружений (на примере бассейновой геосистемы Верхней Кубани): монография / В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, А. В. Кувалкин, С. Г. Прыганов, Е. С. Поляков. – Ростов н/Д. – Черкесск, 2009. – 360 с.

6 Бондаренко, В. Л. Экологическая безопасность в строительстве: инженерно-экологические изыскания в комплексе изысканий под строительство / В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, Т. М. Минкина; НГМА. – Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2012. – 200 с.

7 Бондаренко, В. Л. Базовые понятия и классификация природно-техногенных систем / В. Л. Бондаренко, В. Б. Дьяченко, А. В. Кувалкин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 44–47.

8 Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: экологическая инфраструктура бассейновых геосистем: монография / В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, Г. М. Скибин, В. Н. Азаров. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 308 с.

УДК 626.8:621

А. А. Чураев, Ю. Ф. Снипич, Л. В. Юченко, В. М. Филимонова
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

К ВОПРОСУ АГРОТЕХНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

В статье приводятся результаты агротехнической оценки опытного образца широкозахватной дождевальной машины кругового действия, которая проведена при полевых испытаниях на опытном поле УМПЦ «Горная Поляна» Волгоградской области в 2018 г. Целью работы являлся анализ проведенной оценки при испытании в полевых условиях опытного образца дождевальной машины. Последующие выводы: опытный образец широкозахватной дождевальной машины кругового действия по большинству агротехнических показателей соответствует требованиям нормативных документов. Опытный образец прошел полевые испытания и после устранения выявленных недостатков пригоден к дальнейшему этапу приемочных испытаний.

Ключевые слова: широкозахватная дождевальная машина, опытный образец, полевые испытания, качество дождя, агротехническая оценка.

****

A. A. Churaev, Yu. F. Snipich, L. V. Yuchenko, V. M. Filimonova
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

ON ISSUE OF AGRO-TECHNICAL ASSESSMENT OF EXPERIMENTAL SAMPLE OF A WIDE-CUT CENTRE PIVOT SPRINKLING MACHINE

The results of agro-technical estimation of a prototype of a wide-cut centre pivot sprinkler which was carried out during field tests at the experimental field of the Gornaya Polyana experimental center in Volgograd Region in 2018 are presented. The aim of the research was to analyze the assessment done while testing the prototype sprinkler under field conditions. The conclusions are the following: a prototype of a wide-cut centre pivot sprinkling machine meets the requirements of regulatory documents in most agrotechnical indica-

tors. The prototype passed field tests and after eliminating the identified deficiencies is suitable for the further stage of acceptance tests.

Key words: wide-cut centre pivot sprinkler, prototype, field tests, rain quality, agrotechnical assessment.

Введение. В нашей стране дождевальные сельскохозяйственные машины имеют широкое применение в зонах со средним и недостаточным увлажнением земель и служат для пополнения запаса влаги в почве в засушливое время года. При помощи частых поливов с малыми нормами можно постоянно поддерживать необходимую влажность почвы, тем самым создавая условия для благоприятного роста и развития сельскохозяйственных культур. Качество дождя – одна из основных характеристик дождевальной машины, по которой судят об эффективности ее работы [1].

В ФГБНУ «РосНИИПМ» разработан опытный образец широкозахватной многоопорной дождевальной техники кругового действия, который прошел предварительные испытания. Предварительным испытаниям подвергаются созданные образцы машин для определения соответствия их техническому заданию, требованиям стандартов, технической документации и решения вопроса о возможности представления их на государственные испытания [2].

Одним из видов оценок при полевых испытаниях сельскохозяйственной техники является агротехническая оценка опытного образца [3].

Материал и методы. Разработанный опытный образец широкозахватной многоопорной дождевальной техники кругового действия проходил предварительные испытания в 2018 г. на опытном поле УМПЦ «Горная Поляна» Волгоградской области [4]. При обосновании номенклатуры показателей для испытания опытного образца использовались нормативные документы (НД): СТО АИСТ 11.1-2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей» [5], РД 10.11.1-89 «Машины и установки дождевальные. Программа и методы испытания» [6], «Сборник агротехнических требований на тракторы и сельскохозяйственные машины» [7].

Показатели агротехнической оценки опытного образца дождевальной машины уточнялись в зависимости от целей испытаний, принципиальной схемы и конструктивного исполнения опытного образца машины.

Участок, выбранный для проведения агрооценки, обеспечивал условия, указанные в техническом задании. Размер участка подбирался с таким расчетом, чтобы на нем можно было выполнить объем работ, предусмотренный программой испытаний [4].

Тип почвы и предшествующая обработка почвы брались по данным хозяйства. Тип почв на участке светло-каштановый, среднесуглинистый. Полив на опытном участке производился по стерне ячменя. Испытания проводились при скорости ветра 3,1–4,0 м/с. Микрорельеф слабовыраженный. Общий уклон участка ровный. Уклон на испытательном участке составил 0,003.

Влажность в слоях 0,0–10,0; 10,1–20,0; 20,1–30,0; 30,1–40,0; 40,1–50,0 см составила соответственно 11,2; 16,8; 19,3; 22,3; 22,4 %, при этом твердость почвы равнялась 3,1–4,7 МПа. Показатели условий испытаний определялись согласно ГОСТ 20915-2011 [8].

Температуры воздуха и воды, относительную влажность воздуха измеряют в непосредственной близости от испытываемой машины перед началом опыта. Температура воздуха составляла 32–33 °С, воды – 25–26 °С. Измерения выполнялись с погрешностью ±0,5 °С. Относительная влажность воздуха составляла 30 %.

Техническая характеристика опытного образца испытываемой широкозахватной многоопорной дождевальной машины кругового действия приведена в таблице 1.

Полив выполнялся при движении по кругу. Подключение установки осуществлялось к закрытой оросительной сети. Далее вода поступала через центральную опору установки в секции по трубопроводу, откуда уже через дождевальные насадки и концевой разбрызгиватель производился полив.

Таблица 1 – Техническая характеристика опытного образца

Показатель	Значение показателя
Привод	Электрический
Расход воды машиной, л/с	10–25
Норма полива, $м^3$/га	50–200
Давление, МПа: - на входе (на гидранте) - в начале водопроводящего трубопровода - в конце водопроводящего трубопровода	 0,9 0,3 0,28
Рабочая длина захвата, м	95
Габаритные размеры в рабочем положении, м: - длина - ширина - высота	 93 4,2 6,5
Высота от земли до оси водопроводящего трубопровода, м	2,5
Количество передвижных опор, шт.	3
Количество секций, шт.	3 + консоль
Диаметр трубопровода (внутренний), мм:	
- 1-я секция - 2-я и 3-я секции, консоль	150 100
Количество дождевальных аппаратов, шт.	35 + 1
Тип дождевальных аппаратов	Дефлекторные секторные, круговые
Диаметр сопла дождевального аппарата, мм	1–8

Для определения показателей качества дождя в полевых условиях площадь орошения разбивалась на равновеликие площадки с помощью мерной ленты и теодолита. Дождемеры были установлены радиально по сектору орошения кругового действия машины (рисунок 1).

Рисунок 1 – Расстановка дождемеров

В качестве дождеобразующих устройств на опытном образце дождевальной машины были использованы два комплекта дефлекторных насадок (секторного и кругового действия) и комплект струйных аппаратов. Средняя интенсивность дождя определялась при позиционном поливе.

Результаты и обсуждение. В полевых испытаниях получены следующие результаты и показатели агротехнической оценки (таблица 2).

Таблица 2 – Агротехнические показатели при полевых испытаниях

Наименование показателя	Значение показателя
Режим работы: позиционное + движение	
Давление воды, МПа: - на входе в дождевальную машину - в пролетах - в конце дождевальной машины	 0,35 0,34–0,30 0,28
Рабочая скорость движения, м/ч	60,0
Расход воды, л/с: - по дождемерам - по счетчику	 15,0 15,2
Рабочая ширина захвата, м	93,5
Площадь орошения с одной позиции, м^2	27157
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	1,26
Средний слой осадков, мм	15,5
Коэффициент эффективного полива	0,75
Коэффициент недостаточного полива	0,15
Коэффициент избыточного полива	0,10
Диаметр капли дождя, мм: - начало крыла - середина крыла - конец крыла	 1,2 1,9 2,1
Глубина колеи, м	0,05
Коэффициент земельного использования	0,78

В связи с поздним поступлением и сборкой машины для испытания полив проводился на поле по стерне ячменя. Испытания проводились с нормой полива 205 м^3/га. При расходе воды машиной 15 л/с расход воды по дождемерам составил 13,5 л/с, расход на испарение и снос ветром при этом равнялся 0,1 %. Средний слой осадков за проход составлял 15,5 мм и соответствовал требованиям НД (9–90 мм). О качестве полива можно было наглядно судить по полученным картам распределения дождя по площади. Одна из карт распределения дождя при позиционном поливе дефлекторными насадками секторного действия показана на рисунке 2.

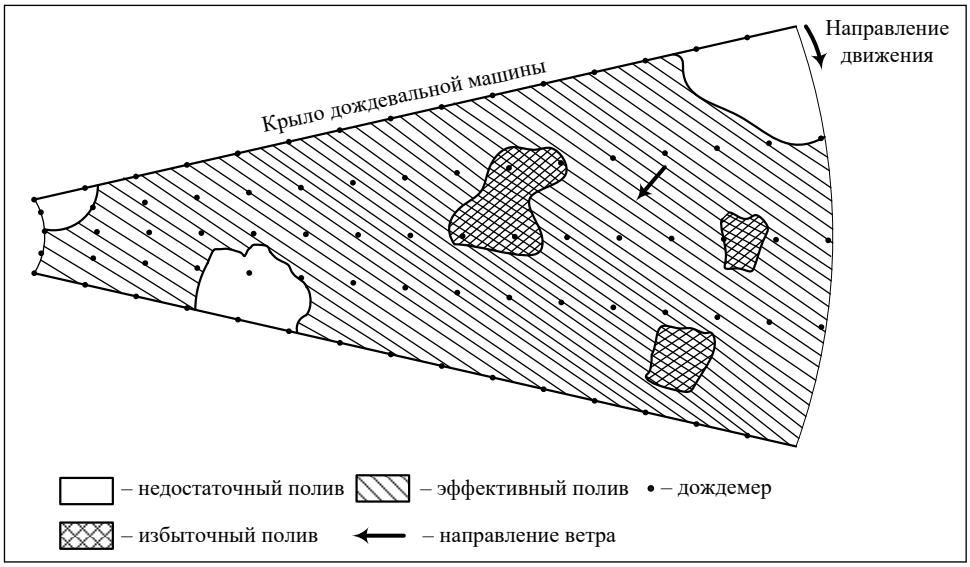


Рисунок 2 – Карта распределения дождя при позиционном поливе дефлекторными насадками секторного действия

Средняя интенсивность дождя была равна 1,26 мм/мин и стока воды не вызывала. Коэффициент эффективного полива составил 0,75, что отвечает требованием по НД (не менее 0,7). Коэффициент недостаточного полива получен равным 0,15, что также отвечает требованием по НД (не более 1,5). Средний размер капель составлял 1,7 мм, что не совсем соответствует требованиям НД (не более 1,5 мм). В начале крыла машины диаметр капель составлял 1,2 мм, в середине крыла – 1,9 мм, в конце крыла – 2,1 мм. Это объясняется установкой на опытном образце дефлекторных насадок с разным диаметром сопел для увеличения площади полива в единицу времени.

Коэффициент земельного использования составил 0,78, что несколько ниже требований НД (не менее 0,80). Анализ влажности почвы, проведенный через сутки после полива, показал, что неравномерность полива участка получена на уровне 26,5 % [4].

Выводы. Полевые испытания опытного образца широкозахватной дождевальной машины кругового действия проводились с целью определения агротехнических показателей при работе машины в полевых условиях. Из полученных данных агротехнической оценки следует, что опытный образец широкозахватной дождевальной машины кругового действия по большинству агротехнических показателей соответствует требованиям нормативных документов. Однако для регулирования и улучшения равномерности полива дефлекторными насадками с оптимальными диаметрами сопел необходимы дополнительные научные исследования в этой области.

В целом опытный образец прошел полевые испытания и после устранения выявленных недостатков пригоден к дальнейшему этапу приемочных испытаний.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Дождевание: учеб. для вузов / С. М. Васильев, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 352 с.

2 Сравнительный анализ технико-эксплуатационных параметров дождевальной машины «Дон-К» / В. Н. Щедрин, А. А. Чураев, Л. В. Юченко, А. М. Кореновский // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3(71). – С. 100–107.

3 ГОСТ Р 54783-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения. – Введ. 2012-03-01. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 20 с.

4 Провести исследования и испытания опытного образца широкозахватной многоопорной дождевальной машины кругового действия вантовой конструкции в полевых условиях: отчет о НИОКР (заключ.): 2.2.2 / ФГБНУ «РосНИИПМ»; рук.: Щедрин В. Н. – Новочеркасск, 2018. – 139 с. – Исполн.: Чураев А. А. [и др.]. – № ГР АААА-А18-118041990080-7.

5 СТО АИСТ 11.1-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей. – Взамен СТО АИСТ 11.1-2004; введ. 2011-07-01. – М., 2012. – 54 с.

6 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Программа и методы испытания: РД 10.11.1-89: утв. Гос. агропром. ком. СССР 16.12.87: введ. в действие с 01.05.89. – Правдинский: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – 173 с.

7 Сборник агротехнических требований на тракторы и сельскохозяйственные машины / Гос. ком. СССР по произв.-техн. обеспечению сел. хоз-ва, Гл. упр. заказов, испытания и внедрения новой техники. – М.: ЦНИИТЭН Госкомсельхозтехники СССР, 1982. – Т. 28. – 208 с.

8 ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – Введ. 2013-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 30 с.

УДК 631.674.5:504.064.36

М. Н. Лытов
Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

КОМПОНЕНТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ

Цель исследований состоит в установлении системных взаимосвязей между рассредоточенными компонентами энергетической функции современных оросительных систем и разработке структурной модели энергетической функции оросительной гидромелиоративной системы. Объектом исследований являются современные конструктивные варианты реализации оросительных систем. Предмет исследований – фундаментальные функции оросительной системы, энергетическая функция и ее компонентно-конструктивные связи. В качестве методологической основы исследований принят метод построения потоковой функциональной структуры технического объекта. Базисной привязкой и основой для построения структуры энергетической функции явились этапы выполнения технологической функции. В ходе исследований разработана структурная модель энергетической функции обобщенного конструктивного представления современной оросительной системы. Выполнен анализ компонентного состава функции энергетического обеспечения водоподъема, функции энергетического обеспечения комплекса водоподготовки, энергетического обеспечения транспортной функции, энергетического обеспечения орошения и энергетического обеспечения водооборотной функции.

Ключевые слова: оросительная система, энергетическая функция, структурно-функциональная модель, конструктивные компоненты, энергия.

****

M. N. Lytov
All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

THE ENERGY FUNCTION COMPONENTS OF THE IRRIGATION HYDRO-RECLAMATION SYSTEM

The aim of the research is to determine the systemic relationships between the non-point components of the energy function of modern irrigation systems and the development of a structural model of the energy function of an irrigation hydro-reclamation system. The object of the research is the modern constructive options for the implementation of irrigation systems. The subject of the research is the fundamental functions of the irrigation system, the energy function and its component-constructive relationships. The methodological basis of the research is the method of constructing the flow functional structure of a technical object. The stages of performing the technological function are the basic binding and the basis for constructing the energy function structure. In the course of the research a structural model of the energy function of a generalized constructive representation of the up-to-date irrigation system has been developed. The analysis of the component composition of the energy supply function of water lifting, the energy supply function of the water treatment complex, the transport function energy supply, the energy supply of irrigation and the energy supply of the water circulation function is carried out.

Key words: irrigation system, energy function, structural-functional model, structural components, energy.

Современная теория стадийного развития оросительных систем как сложных технических систем специального назначения опирается на фундаментальные функции

системы [1]. К таким функциям относят технологическую, энергетическую, экологическую функции и функцию управления. Предполагается, что последовательная реализация этих функций технической системой знаменует начало новой стадии развития, появление нового поколения оросительных систем.

Такой подход в значительной мере условен. Ретроспективный анализ технических средств и технологий орошения показывает неразрывность всех перечисленных функций, их наличие на системах самых ранних поколений [2]. В частности, подача воды на орошаемые участки всегда связана с затратами энергии, даже если это энергия естественного перепада уровней, паводка и др. Экологическое воздействие оросительных мелиораций предполагается по определению и выражается в «регулировании круговорота воды, вещества и энергии в агроландшафтах» [3]. Функция управления является неотъемлемой функцией оросительных систем, так как даже при примитивном исполнении технологического процесса требуется управление потоком с целью распределения воды по орошаемому участку. Однако технический уровень реализации этих функций, фундаментальные технические решения для их реализации, действительно, могут быть использованы в качестве опорных вех технического совершенствования оросительных систем и мелиоративных технологий.

Говоря о функции управления с позиций стадийного подхода к развитию оросительных систем, предполагаем ее машинную реализацию в автоматизированном режиме с использованием новейших интеллектуальных алгоритмов. Такой уровень развития технологии характеризует современный этап развития оросительных систем [1, 4].

Экологическая функция предполагает осознанное управление круговоротом вещества (воды) и энергии с позиций сохранения экологической устойчивости агроландшафтов, биологического многообразия, формирования природоподобных экологических идентификаторов. В современном мире, современных масштабах реализации мелиоративных проектов такой подход является единственно верным в плане сохранения среды обитания человека.

Энергетическую функцию как этап стадийного развития оросительных систем рассматривают в плане привнесения дополнительной, машинной энергии, обеспечивающей реализацию технологической функции в условиях, в которых использование естественных природных ресурсов невозможно. Это один из наиболее значимых этапов развития оросительных систем в плане экстенсивного распространения мелиоративных технологий с возможностью планового, управляемого регулирования всего комплекса агроэкологических факторов. Несмотря на то, что энергетическая функция позиционируется в качестве характеристической функции оросительных систем уже второго поколения, техническое совершенствование конструкций в плане наиболее эффективного использования энергетических ресурсов, использования автономных и возобновляемых источников энергии остается актуальной задачей современности. Для проведения системной работы в этом направлении требуется ясное представление компонентой структуры реализации энергетической функции в современных оросительных системах.

Материалы и методы. Основные положения концепции исследований заключаются в установлении системных взаимосвязей между рассредоточенными компонентами энергетической функции современных оросительных систем, оценке покомпонентной структуры этой функции и ее реализации по всему комплексу конструкций и сооружений оросительной системы, исследовании альтернативных вариантов машинной реализации энергетической функции. Объектом исследований являются современные конструктивные варианты реализации оросительных систем. Предмет исследований – фундаментальные функции оросительной системы, энергетическая функция и ее компонентно-конструктивные связи.

В качестве методологической основы исследований принят метод построения потоковой функциональной структуры технического объекта [5]. Исследуемые кон-

структивные комплексы систематизировали и располагали в порядке прохождения потока, включая водооборотные системы замкнутых, экологически ориентированных технических решений. Базисной привязкой и основой для построения структуры энергетической функции явились этапы выполнения технологической функции. При этом сама энергетическая функция рассматривается как узкоспециализированное выражение технологической функции.

Материалами исследований являются современные технико-технологические и конструктивно-компоновочные решения оросительных систем нового поколения, опубликованные результаты исследований в области теории развития оросительных систем как сложных технических систем специального назначения, современные представления о составе и взаимной обусловленности функций оросительных систем [1, 4, 6–9].

Результаты и обсуждение. Энергетическая функция – неотъемлемая часть современных гидромелиоративных систем (рисунок 1). Некоторые лишенные энергетической функции системы орошения, такие, как, например, паводковое или лиманное, являются локальными, обусловлены природными особенностями территории и не в состоянии полностью удовлетворить потребность в гидротехнических мелиорациях. Структура энергетической функции тесно связана с технологической функцией оросительных гидромелиоративных систем. Анализ современных технических решений и реализации конструкций оросительных систем в плане практического использования позволяет дифференцировать энергетическую функцию на следующие составляющие:

- энергетическое обеспечение водоподъема. В зависимости от компонентной реализации водозаборной функции отвод воды для мелиоративного использования подразумевает подачу энергии на насосные станции либо использование энергии водоисточника – потенциальной от перепада уровней воды или кинетической энергии течения водного потока. Как правило, на данном этапе требуются значительные затраты энергии на подачу воды для целей мелиорации. Переданная энергия трансформируется преимущественно в потенциальную энергию воды, перемещенной на определенную высоту головного устройства транспортной сети. Потребность в энергии постоянна, однако потребляемые мощности могут варьировать в зависимости от объемов водозабора. Нарушение энергетической функции в этом сегменте имеет системное значение, нарушающее работу всей гидромелиоративной сети;
- энергетическое обеспечение комплекса водоподготовки. Потребление энергии на этом этапе подразумевает водоподъемные функции или создание дополнительного напора воды в зависимости от конструктивной реализации технической компоненты. Возможны затраты энергии на удаление и переработку отходов, а также энергетическое питание систем водоочистки. Реализация функции автоматизированного управления в данном сегменте гидромелиоративной системы также требует затрат внешней энергии на выполнение управляющих функций;
- энергетическое обеспечение транспортной функции. Реализация энергетической функции на данном этапе ориентирована на компенсацию затрат энергии на транспорт воды и предполагает использование энергии перепада уровней, применение подкачивающих станций (насосных станций различного порядка), энергетическое обеспечение регулирующей арматуры;
- энергетическое обеспечение орошения. Реализация энергетической функции на данном этапе предполагает использование внешних источников энергии для распределения оросительной воды по орошаемому участку. Энергия расходуется на привод силовых агрегатов оросительной техники, питание технических компонентов функции автоматизированного управления и т. д. Альтернативой является использование энергии воды – напора, перепада уровней – для реализации технологической функции орошения;
- энергетическое обеспечение водооборотной функции. Энергия расходуется на питание насосных, покачивающих станций для реализации водосборно-сбросной функции и технических средств для отвода и утилизации дренажного стока.

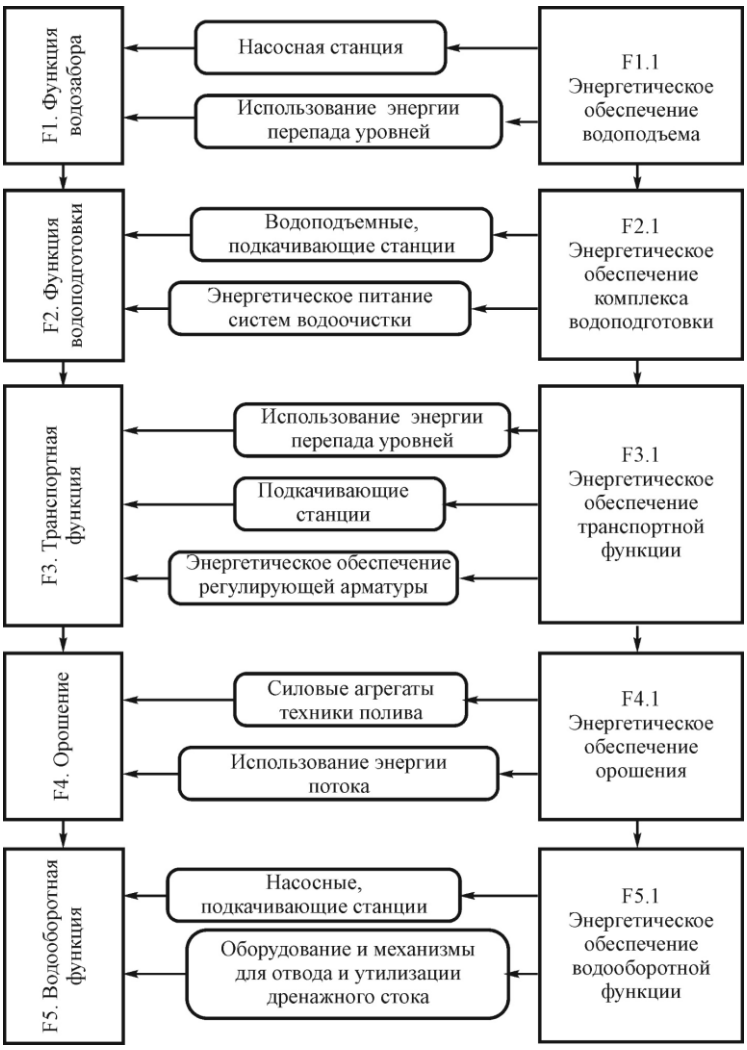


Рисунок 1 – Компонентно-функциональная модель оросительной системы. Энергетическая функция

Предложенная структура энергетической функции раскрывает компонентно-конструктивные связи и составляет основу для системного анализа и разработки оптимальных компоновочных схем оросительных систем нового поколения.

Список использованных источников

1 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – В 2 ч. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.

2 История мелиорации в России / Б. С. Маслов, А. В. Колганов, Г. Г. Гулюк, Е. П. Гусенков. – М.: Росинформагротех, 2002. – Т. 1–3. – 1296 с.

3 Мелиоративная энциклопедия. – М.: Росинформагротех, 2003. – Т. 1. – 672 с.

4 Щедрин, В. Н. Комплексный подход к оценке поколений оросительных систем на основе средств имитационного моделирования сложных систем / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, А. А. Чураев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – № 4(32). – С. 189–193.

5 Максимов, А. Д. Методы технического творчества / А. Д. Максимов. – М.: МГМУ «МАМИ», 2009. – 64 с.

6 Кожанов, А. Л. К вопросу разработки энергоэффективных оросительных систем нового поколения / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3(59). – С. 62–65.

7 Бородычев, В. В. Геопозиционный синтез мониторинговых данных и возможности их использования в режиме реального времени / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 1(41). – С. 168–177.

8 Хатхоху, Е. И. Основные положения проектирования мелиоративных систем нового поколения / Е. И. Хатхоху, Д. В. Прус, Г. Н. Фоминова // Символ науки. – 2016. – № 5–3(17). – С. 86–89.

9 Моделирование процесса управления водно-солевым режимом почв в условиях орошения / В. В. Бородычев, Э. Б. Дедова, М. А. Сазанов, М. Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2(42). – С. 26–33.

УДК 631.67:624.131.38

Э. И. Чембарисов
Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан
М. Н. Рахимова, Ж. Б. Мирзакобулов, Д. И. Махмудова, Б. О. Расулов
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПЛАСТИКИ РЕЛЬЕФА ПРИ РЕШЕНИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОБЛЕМ

В статье представлены результаты исследований использования метода пластики рельефа для решения гидромелиоративных проблем. При проведении исследований с использованием метода пластики рельефа на топографических картах выявлены границы и размеры различных зон (формирования, равновесия, рассеивания) миграции водно-солевых потоков в пределах крупных речных бассейнов Узбекистана (узбекская часть бассейнов Амударьи и Сырдарьи).

Ключевые слова: пластика рельефа, гидроизогипсы, морфоизографы, изоморфизм, метод.

****

E. I. Chembarisov
Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan
M. N. Rakhimova, Zh. B. Mirzakobulov, D. I. Makhmudova, B. O. Rasulov
Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

THE RELIEF PLASTIC METHOD APPLICATION FOR LAND RECLAMATION PROBLEMS SOLUTION

The results of the study of the relief plastic method application for solving irrigation and drainage problems are presented. When conducting studies using the relief plastic method on topographic maps, the boundaries and sizes of various zones (formation, equilibrium, dispersion) of migration of water-salt flows within the large river basins of Uzbekistan were revealed (the Uzbek part of the Amudarya and Syrdarya basins).

Key words: relief plastic, hydroisohypses, morphoisographs, isomorphism, method.

При проведении исследований с использованием метода пластики рельефа на топографических картах были выявлены границы и размеры различных зон (формирования, равновесия, рассеивания) миграции водно-солевых потоков в пределах крупных речных бассейнов Узбекистана: узбекская часть бассейнов Амударьи и Сырдарьи, Чирчика, Кашкадарьи, Зарафшана и Сурхандарьи.

Здесь было важно установить, с какой территории по размерам происходит вынос различных химических и загрязняющих веществ, а также выявить места их аккумуляции. Были также охарактеризованы естественные фоновые условия формирования различного химического состава (гидрохимической стадии) в зависимости от разновидностей геологических и почвенных условий верховьев речных бассейнов.

Составление карты пластики рельефа земной поверхности заключается в проведении на топографической карте линий по точкам прогиба горизонталей, эти линии называются морфоизографами [1]. В результате проведения скрупулезных работ на топографических картах различного масштаба были выделены относительные повышения и понижения независимо от гипсометрических уровней.

В современных гидрологических исследованиях существует геосистемно-гидрологический подход, при котором речные бассейны рассматриваются как геосистемы. Отображение и изучение речных бассейнов как системы или геосистемы требует применения системного картографирования в тематической картографии, в т. ч. при составлении серии гидрологических и гидрохимических карт.

Системное картографирование состояния засоления и загрязнения водно-земельных ресурсов речных геосистем было рассмотрено по следующим этапам.

На первом этапе были составлены карты пластики рельефа на основе топографических карт с привлечением аэрокосмических материалов. При этом верхняя часть речных бассейнов (горная территория) по структуре отличается от равнинной части. Обычно в пределах крупного речного бассейна по структуре выделяются три зоны (области): а) горная часть бассейна, характеризующаяся выносом твердого и химического стоков; б) промежуточная транзитная зона; в) конус выноса дельты рек (зона аккумуляции твердого и химического стоков).

На втором этапе были составлены карты систем земной поверхности, на которых выделяются различные подсистемы. Отличие карты систем земной поверхности от геоморфологических состоит в том, что подсистемы обычно имеют своеобразную «древовидную» форму и естественную границу. Например, границами подсистем на дельтовых территориях служат крупные межрусловые понижения и контактные зоны между ними. Изучение водно-солевого режима контактных зон имеет большое практическое значение, так как здесь обычно проходят коллекторно-дренажные сети с определенной степенью и типом минерализации.

На третьем этапе были исследованы связи упорядоченного изменения состояния засоления или загрязнения водно-земельных ресурсов с выявленными структурами земной поверхности в виде различных геохимических, гидрохимических и гидроэкологических карт. В итоге были показано, что изучение взаимосвязи степени и типа минерализации поверхностных вод, степени и типа засоления почв с выделенными структурами различных частей речных бассейнов позволяет выявить их закономерные изменения в пространстве и времени.

Пространственные формы перехода форм рельефа и связанной с ним смены различных частей речных бассейнов уже давно привлекали внимание многих ученых. В работах В. В. Докучаева, Н. М. Сибирцева, Л. И. Прасолова и др. имеются понятия о пластике рельефа, рассматриваются различные природные территории и их части, взаимосвязи между различными характеристиками почв и стока и рельефом. Позже этот метод применительно к условиям Узбекистана разрабатывался профессорами И. Н. Степановым и Н. И. Сабитовой [2–4].

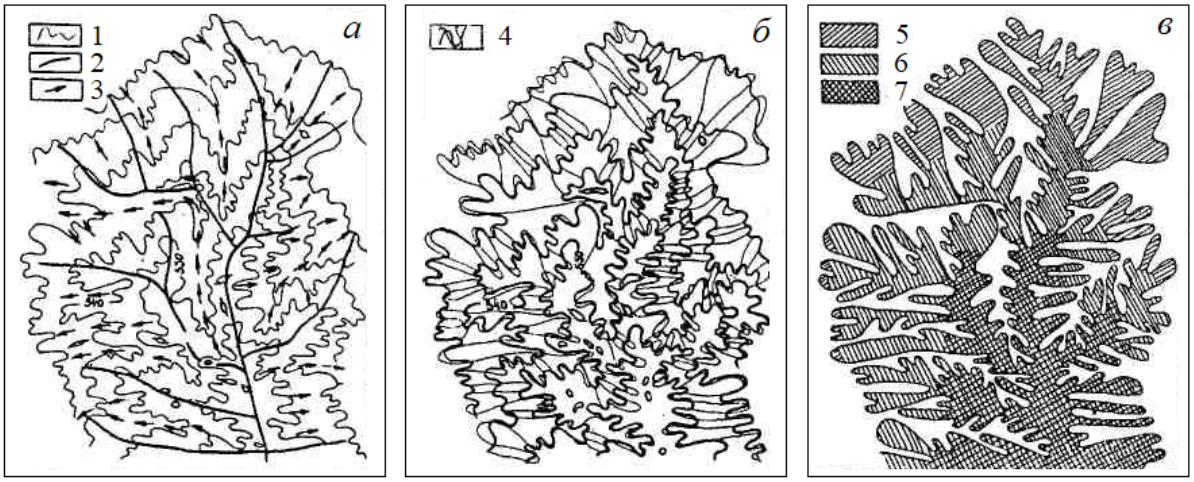
Изучением структуры земной поверхности и ландшафтов занимаются специальные разделы геоморфологии и ландшафтоведения. Их успех в познании природы во многом зависит от способов картографирования рельефа, а также самих ландшафтов. Широкое применение космических снимков и нового (пластики рельефа) метода картографирования по топокартам позволило мелиораторам, геологам, биологам, географам и гидроэкологам получить практические результаты [2–5].

В настоящее время отсутствует единая методика проведения природных границ по вспомогательным для этих целей топографическим картам и аэрокосмоснимкам.

Из существующих способов членения рельефа наиболее приемлемым для геолого-геоморфологического картографирования, выявляющего пространственные структуры земной поверхности, тем самым геометрии ландшафтных рисунков, наиболее информативным оказался метод вторых производных изолиний топографических карт (метод пластики рельефа).

При необходимости эти элементы рельефа можно расчленить на еще более мелкие единицы, а также показать те или иные параметры земного пространства (крутизну, глубину вреза, тальвег, водораздел и т. д.). При этом повторяющееся сочетание микроландшафтов, связанное с однородным комплексом мезоформ рельефа, соответствует определенному типу ландшафта.

Линия, отделяющая выпуклости рельефа от его вогнутостей (рисунок 1), названа морфоизографой [5]. Она появилась на топокарте в качестве дополнительной линии к горизонтали в результате геометрического преобразования. Здесь формы изогипс преобразованы в тождественные им формы морфоизограф, что доказывается наличием геометрических инвариантов (общие линии тока, точки соприкосновения в местах перегибов и др.).



1 – горизонтали; *2* – характерные линии; *3* – тальвеги; *4* – морфоизографы; *5, 6, 7* – гипсометрические уровни

Рисунок 1 – Пространственный анализ топографической карты

При изучении ландшафтных рисунков следует особо обращать внимание на проблему изоморфизма природных явлений. В частности, идея изоморфизма между изогипсами и линиями равных поверхностей (грунтовых вод) захватила широкий круг ученых. Она позволяет по изогипсам топографических карт уточнять и детализировать гидроизогипсы, строить морфогидроизографы гидрогеологических карт. На последующих этапах исследований ландшафтов это будет иметь большое значение. Это обусловлено существующей взаимозависимостью и взаимообусловленностью геоморфологических и гидрогеологических параметров, которые определяют состав и строение остальных компонентов ландшафта – почв, биоценозов. Рассматривая геолого-геоморфологическую основу как консервативный фактор в ландшафтообразовании и как легкодоступный при дешифрировании аэрофотоснимков, считаем целесообразным использовать позволяющие определить границы геосистем карты пластики рельефа, на которых выделены все без исключения формы рельефа (ландшафтов) на различных иерархических уровнях. В пределах выделенных границ в масштабе 1:50000 и 1:100000 (геосистем и элементов) были рассмотрены их пространственные проявления, т. е. про-

веден анализ геометрии ландшафтных рисунков. На предварительную карту пластики рельефа (или форм земной поверхности) не наносятся генетические разновидности элементов рельефа. Но по мере необходимости в зависимости от задачи исследований можно нанести их. Например, тектонические (локальные складки, выраженные в рельефе), развивающиеся (локальные складки, установленные методом анализа гипсометрических аномалий пойм и террас, разрывные нарушения), карстово-суффозионные (карстовые воронки, пещеры), гравитационные (осыпи, оползни), структурно-денудационные (денудационные останцы, крупные и мелкие уступы), эрозионные (сухие русла и протоки, овраги, балки, промоины), аккумулятивные (крупные и мелкие уступы речных террас, выположенные уступы, конусы выноса, наземные дельты, солончаки), эоловые (пески ячеистые, бугристые), техногенные (отвалы, насыпи, карьеры, выемки).

Геометрия ландшафтных рисунков, выявленных традиционным методом и на основе карты пластики рельефа, имеет достаточно большие отличия. Их анализ позволяет получить ряд новых научных гипотез, а также иметь интересный материал в практических исследованиях. Так как геолого-геоморфологическая основа является наиболее устойчивым компонентом ландшафта, определяющим и его геометрическую форму, остановимся на ней более подробно. Каждая система имеет свой пространственный узор, который служит ее индикационным признаком, а также характеризуется количественными параметрами: шириной, длиной, глубиной от вреза литодинамических потоков [3, 4]. Преобразование проведено по определенному правилу, названному пластикой рельефа. Суть этого правила заключается в том, что морфоизографа проводится по нормали к изогипсам в точках с нулевой кривизной. Это правило открыло большие перспективы в деле познания форм земного пространства и выявления его симметрии.

При составлении цифровых карт пластики рельефа, позволяющих установить границы и размеры речных бассейнов, были в основном использованы топографические карты масштаба 1:200000, а также в некоторых случаях карты масштаба 1:100000 и уже существующие карты масштаба 1:500000.

Кроме того, при анализе поверхностных вод бассейна р. Амударьи и Сырдарьи, согласно плану, к уже существующим ГИС-картам были добавлены новые карты. В процессе исследований более чем на 30 топографических картах масштаба 1:50000 были проведены границы различных природных потоков методом пластики рельефа, в основном по бассейну р. Сурхандарьи (рисунок 2).

На основе существующих топографических карт и космических снимков системы Google были уточнены уже существующие карты пластики рельефа с новой ситуацией и внесены изменения для выделения территории крупных речных бассейнов Узбекистана методом пластики рельефа.

Используя теорию графов, подробно разработанную Ф. Харари [6], провели классифицирование рельефа и структуры Сурхандарьинской области на базе карты пластики рельефа.

На карте пластики рельефа Сурхандарьинской области четко выделяются флювиальные формы, русловые протоки, очень незначительно эоловые формы (пески серповидные, ячеистые, пирамидальные и т. п.), широко представлены к южной части области различные формы орошаемых полей, даже сохранились небольшие участки древнего орошения, небольшие ячеи от ручного труда с квадратной симметрией.

Согласно имеющимся данным, полученным в лаборатории гидрометрии и метрологии НИИИВП МВХ РУз, химический состав коллекторно-дренажных вод в верховьях бассейна р. Сурхандарьи в большинстве случаев сульфатно-хлоридно-натриево-кальциево-магниевый (СХ-НКМ), подобный состав воды с увеличением доли этих ионов наблюдается и в среднем, и в нижнем течении реки. В низовьях реки состав воды становится сульфатно-хлоридно-натриево-магниевым (СХ-НМ).

Рисунок 2 – Пример карты пластики рельефа для Сурхандарьинской и Кашкадарьинской областей (фрагмент «Карты систем земной поверхности и почвенного покрова части Средней Азии» масштаба 1:500000 1989 г. под редакцией И. Н. Степанова, Н. И. Сабитовой и др.)

Минерализация дренажно-сбросных вод в целом по области не высокая и мало меняется внутри года. В большинстве районов северной зоны ее значение не превышает 1,5 г/л, в южной зоне уровень минерализации коллекторных вод значительно выше, среднегодовая величина их минерализации составляет 2,8 г/л.

Формирующийся дренажно-сбросной сток на массивах орошения составляет 1030–1190 млн м^3/год и отводится в водоприемники – р. Сурхандарью и Амударью.

Выводы. Обострение экологической ситуации в бассейне Аральского моря в значительной мере связано с влиянием сельскохозяйственной деятельности на природную среду. Оценка изменений, происходящих в результате этого воздействия, должна лежать в основе разработки системы рационального ведения сельского хозяйства и природоохранных мер. Экологическая оценка состоит в определении фактических и возможных изменений состояния природной среды, влияющих как на развитие самого сельского хозяйства, так и на условия жизни населения.

Воздействие сельского хозяйства на окружающую среду значительно и многообразно. Существует множество методов вычисления и оценки разных аспектов этого воздействия и его опасности, но нет ни одного универсального. Сложностью подобных природных систем, подверженных влиянию многообразных естественных и антропогенных факторов, которые, в свою очередь, находятся в сложных взаимосвязях и взаимозависимостях, объясняется применение множества критериев и подходов к оценке экологической опасности. Однако, вне зависимости от природы и характера данных взаимосвязей, вместе они формируют некий набор конкретных экологических ситуаций, которые могут быть распознаны, классифицированы и ранжированы.

Поэтому в статье из множества существующих методов были выбраны метод пластики рельефа и система ArcView GIS, поскольку они являются наиболее универсальным инструментом для прогнозирования гидромелиоративного состояния речных бассейнов и подземных вод в связи с антропогенным воздействием и природными яв-

лениями, а также являются математическими моделями или, как теперь принято называть, компьютерными информационными технологиями.

Список использованных источников

1 Боков, В. А. Пространственно-временная организация геосистем / В. А. Боков. – Симферополь: СГУ, 1983. – 56 с.

2 Явления периодической повторяемости сходных геоморфологических ситуаций / И. Н. Степанов, Н. И. Сабитова, З. Ф. Поветухина, Н. Ф. Деева, Л. П. Пейдо // Докл. АН СССР. – 1982. – Т. 262(5). – С. 1217–1219.

3 Степанов, И. Н. Формы в мире почв / И. Н. Степанов. – М.: Наука, 1986. – 192 с.

4 Сабитова, Н. И. Научные основы морфогидрогеометрического метода при решении географо-гидрогеологических задач (на примере Узбекистана и прилегающих территорий): автореф. дис. … д-ра геогр. наук: 11.00.01 / Сабитова Наила Исмаиловна. – Ташкент, 2002.

5 Метод пластики рельефа в тематическом картографировании: сб. науч. тр. / АН СССР, Науч. центр биол. исслед., Ин-т почвоведения и фотосинтеза. – Пущино: НЦБИ, 1987. – 160 с.

6 Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.: Мир, 1973. – 300 с.

УДК 657.471:631.67

А. В. Слабунова
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ УСЛУГИ ПО ПОДАЧЕ (ОТВОДУ) ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ

Целью работы являлось исследование и разработка функциональной модели определения стоимости оказания услуг по подаче (отводу) воды на орошение сельскохозяйственных культур с помощью методологии IDEF0, которая позволяет представить изучаемую систему в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия, происходящие в изучаемой системе. Предлагаемая модель ориентирована на: рациональное использование водных ресурсов; улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель; улучшение экологической обстановки на окружающей территории за счет снижения объема заборов свежей воды и уменьшения поступления в водные объекты загрязненных сбросных (дренажных) вод с орошаемых земель; сокращение материальных и финансовых затрат, связанных с подачей (отводом) оросительной воды.

Ключевые слова: платное водопользование, услуги по подаче (отводу) воды, эксплуатационные затраты, орошение, методология IDEF0, модель.

****

A. V. Slabunova
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL MODEL FOR DETERMINING THE COST OF SERVICE ON WATER DISTRIBUTION (DIVERSION) FOR IRRIGATION

The aim of the paper was to research and develop a functional model for determining the cost of service for water distribution (diversion) for irrigating agricultural crops using the IDEF0 methodology allowing to represent the system under study as a set of interacting and interconnected blocks that depict processes, operations, actions occurring in the studied sys-

tem. The proposed model is focused on: rational use of water resources; improvement of reclamation state of irrigated lands; improvement of environment situation in the surrounding area by reducing the volume of fresh water intakes and reducing the flow of polluted wastewater into the water bodies from irrigated lands; reduction of material and financial costs associated with the distribution (diversion) of irrigation water.

Key words: paid water use, water distribution (diversion) services, operational costs, irrigation, IDEF0 methodology, model.

Введение. Переход на платное водопользование в области мелиорации, связанный с переходом России к рыночной экономике, способствовал созданию системы экономических взаимоотношений между ФГБУ по мелиорации земель (филиалом) и водопотребителями. Таким образом, предусматривалось, что каждый кубометр получаемой и сбрасываемой водопотребителями оросительной воды будет ими оплачиваться, что, в свою очередь, послужит стимулом для эффективного и экономного использования водных ресурсов. При такой системе «хозяйствования» появляется взаимная ответственность на материальной основе между ФГБУ по мелиорации земель (филиалом) и водопотребителями, оформляемая в соответствии с российским законодательством в виде возмездного договора об оказании услуг по подаче (отводу) воды на орошение сельскохозяйственных культур.

Анализ отечественного опыта мероприятий по частичному возмещению хозяйствующими субъектами эксплуатационных затрат на подачу воды водопотребителям свидетельствует прежде всего о серьезных методических недоработках, что обусловлено отсутствием до настоящего времени утвержденной в установленном порядке нормативно-правовой базы [1–5]. Здесь стоит отметить, что принятие Приказа Министерства сельского хозяйства РФ от 18 февраля 2013 г. № 79 [6] в значительной степени усилило позиции учреждений в обоснованности оказания услуг по подаче воды на возмездной основе, создав общие условия по всей стране, что позволило обеспечить бесперебойную, в необходимых объемах подачу воды водопотребителям. Но при этом указанный приказ [6] не учитывает правоприменительную практику в регионах, изменения текста государственного задания и таким образом требует актуализации и внесения изменений.

Как отмечено С. А. Ханмагомедовым [7], характерной особенностью структуры производственных затрат за анализируемый автором период 1996–2007 гг. является значительное увеличение (в три-четыре раза) удельного веса затрат на топливо и энергию. Расходы по этим статьям составляли более трети всех затрат на эксплуатацию оросительных систем. Причинами сложившейся ситуации стали резкое увеличение тарифов на электроэнергию и преобладание машинного водоподъема над самотечным способом. Например, на государственных оросительных системах Ростовской области обслуживается насосными станциями более 70 % всех площадей, в Краснодарском крае подача оросительной воды обеспечивается самотеком на 60 % всех площадей, машинным водоподъемом – на 40 %, но при этом сброс воды осуществляется с помощью насосных станций на 70 % всей площади, а самотеком – на 30 % [8]. В настоящее время в связи с прогрессивным ежегодным ростом тарифов на электроэнергию, потребляемую насосными станциями, ситуация только усугубилась. Ежегодное увеличение затрат на оплату электроэнергии сопровождается фактически неизменным объемом финансирования из федерального бюджета, что вынуждает направлять практически все денежные средства, полученные от предпринимательской деятельности, на оплату потребляемой электроэнергии. Так, затраты на электроэнергию в структуре стоимости услуги по подаче (отводу) воды составляют почти 80 % (рисунок 1).

И здесь стоит акцентировать внимание на износе насосно-силового оборудования и пропорционально увеличивающемся объеме ремонтных и восстановительных работ на мелиоративной сети. Денежные средства, необходимые для своевременного проведения текущего и капитального ремонтов всего комплекса мелиоративных систем

и отдельно расположенных ГТС, выделяются в размере 35 % от потребности, что говорит о крайней недостаточности финансирования проведения эксплуатационных мероприятий. В свою очередь, вышеобозначенные проблемы однозначно тормозят широкомасштабное развитие мелиоративной отрасли.

Рисунок 1 – Структура затрат в стоимости услуги по подаче (отводу) воды, %

Целью работы является разработка функциональной модели определения платы за оказание услуг по подаче (отводу) воды на орошение сельскохозяйственных культур с помощью методологии IDEF0.

Для достижения поставленной цели нами были решены следующие основные задачи:

- анализ действующего законодательства в сфере платного водопользования и выявление противоречий (подробно изложен в ранее опубликованной работе автора (2018 г.) [9]);
- анализ структуры затрат в стоимости услуги по подаче (отводу) воды;
- проведение детализации существующего порядка определения стоимости услуги по подаче (отводу) воды;
- разработка механизма определения платы за оказание услуг по подаче (отводу) воды на орошение сельскохозяйственных культур с помощью методологии функционального моделирования IDEF0.

Предлагаемый механизм ориентирован:

- на рациональное использование водных ресурсов;
- улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель;
- улучшение экологической обстановки на окружающей территории за счет снижения объема заборов свежей воды и уменьшения поступления в водные объекты загрязненных сбросных (дренажных) вод с орошаемых земель;
- сокращение материальных и финансовых затрат, связанных с подачей оросительной воды.

Материалы и методы. При проведении исследований предполагается использовать методические подходы на основе аппарата системного анализа, теории производственных систем и теории исследования операций, обеспечивающие корректировку известных теоретических и методических работ отечественных ученых по проблеме расчета стоимости услуг по подаче (отводу) воды для орошения сельскохозяйственных культур. Также решение поставленных задач будет осуществляться на основе теоретических разработок и анализа фактических данных.

В качестве методологической основы при исследовании механизма определения платы за подачу (отвод) воды на орошение сельскохозяйственных культур применена методология функционального моделирования IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) [10–12]. Выбор данной методологии обосновывается тем, что она позволяет представить изучаемую систему в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных

блоков, отображающих процессы, операции, действия, происходящие в изучаемой системе. Структурные схемы, согласно методологии IDEF0, строятся по иерархическому принципу с необходимой степенью подробности и позволяют адекватно оценить функциональные связи, а также какие действия в ней выполняются и в какие отношения вступают между собой и с окружающей средой ее функциональные блоки.

Результаты и обсуждение. В соответствии с методологией IDEF0 разработана функциональная модель определения платы за оказание услуг по подаче (отводу) воды для орошения сельскохозяйственных культур, представленная на рисунке 2.

Функциональная модель имеет родительский блок А0, относящийся к замыслу (инициации) расчета стоимости оказания услуги по подаче (отводу) оросительной воды. Здесь входными данными является сама «идея расчета», ограничивающими факторами – решения региональных БВУ о праве пользования водным объектом в целях сброса сточных вод (в т. ч. дренажных) и забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов для гидромелиорации земель, регламентированные Водным Кодексом РФ [13], материальная база ФГБУ по мелиорации земель (филиала) и численный состав и квалификация персонала; ресурсами – руководитель ФГБУ по мелиорации земель (филиала). Здесь необходимо отметить, что замысел расчета стоимости оказания услуги по подаче (отводу) оросительной воды возникает в результате потребительского спроса на предоставление данной услуги, уровень которого тем выше, чем больше заявок от сельхозтоваропроизводителей на подачу воды и прием дренажных вод. Заявки должны подаваться сельхозтоваропроизводителями ежегодно в четвертом квартале, в них указываются наименование выращиваемых сельскохозяйственных культур, площадь полива, зональные оросительные нормы, установленные органами исполнительной власти региона в области АПК.

Далее родительский блок А0 делится на два обеспечивающих блока – А1.1 «Формирование плана водопользования» и А1.2 «Расчет эксплуатационных затрат». Так, выходной информацией блока А0 и входной для блока А1.1 являются данные о площади полива, наименовании культуры, оросительных нормах и т. п.; выходной информацией блока А0 и входной для блока А1.2 – эксплуатационная документация, проектные параметры оросительной системы и т. п.

Блок А1.1 описывает процесс формирования плана водопользования; выходная информация блока А1.1 в виде общего заявленного объема подачи и отвода воды из плана водопользования, составленного в соответствии с зональными оросительными нормами, установленными органами исполнительной власти региона в области АПК, и графиков водоподачи, в которых определены наименование культуры, площадь орошаемой территории, периоды (сроки) подачи воды и сброса дренажных вод, является управляющей для дальнейшего этапа А2 «Расчет стоимости услуги по подаче (отводу) воды». Ограничивающими факторами для блока А1 являются лимиты на забор воды и сброс дренажных вод, а также методики расчета и составления планов водопользования [14]. Ресурсами являются персонал отдела водопользования ФГБУ по мелиорации земель (филиала) и ПЭВМ.

Блок А1.2 «Расчет эксплуатационных затрат» определяет процесс расчета общего объема эксплуатационных затрат, которые несет ФГБУ по мелиорации земель (филиал) при оказании услуги по подаче (отводу) воды для орошения сельскохозяйственных культур за счет средств федерального бюджета и внебюджетных источников. Ограничивающими факторами в данном случае являются дефектные ведомости, показатели предыдущего года, нормативы затрат, методики расчета. Ресурсами выступают главный экономист ФГБУ по мелиорации земель (филиала) и ПЭВМ. Выходная информация в виде эксплуатационных затрат, состоящих из суммы затрат, непосредственно связанных с оказанием услуги по подаче (отводу) воды и понесенных в процессе ее предоставления, и затрат на общехозяйственные нужды, относимых на стоимость услуги по подаче (отводу) воды, является управляющей для дальнейшего блока А2 «Расчет стоимости оказания услуги по подаче (отводу) воды».

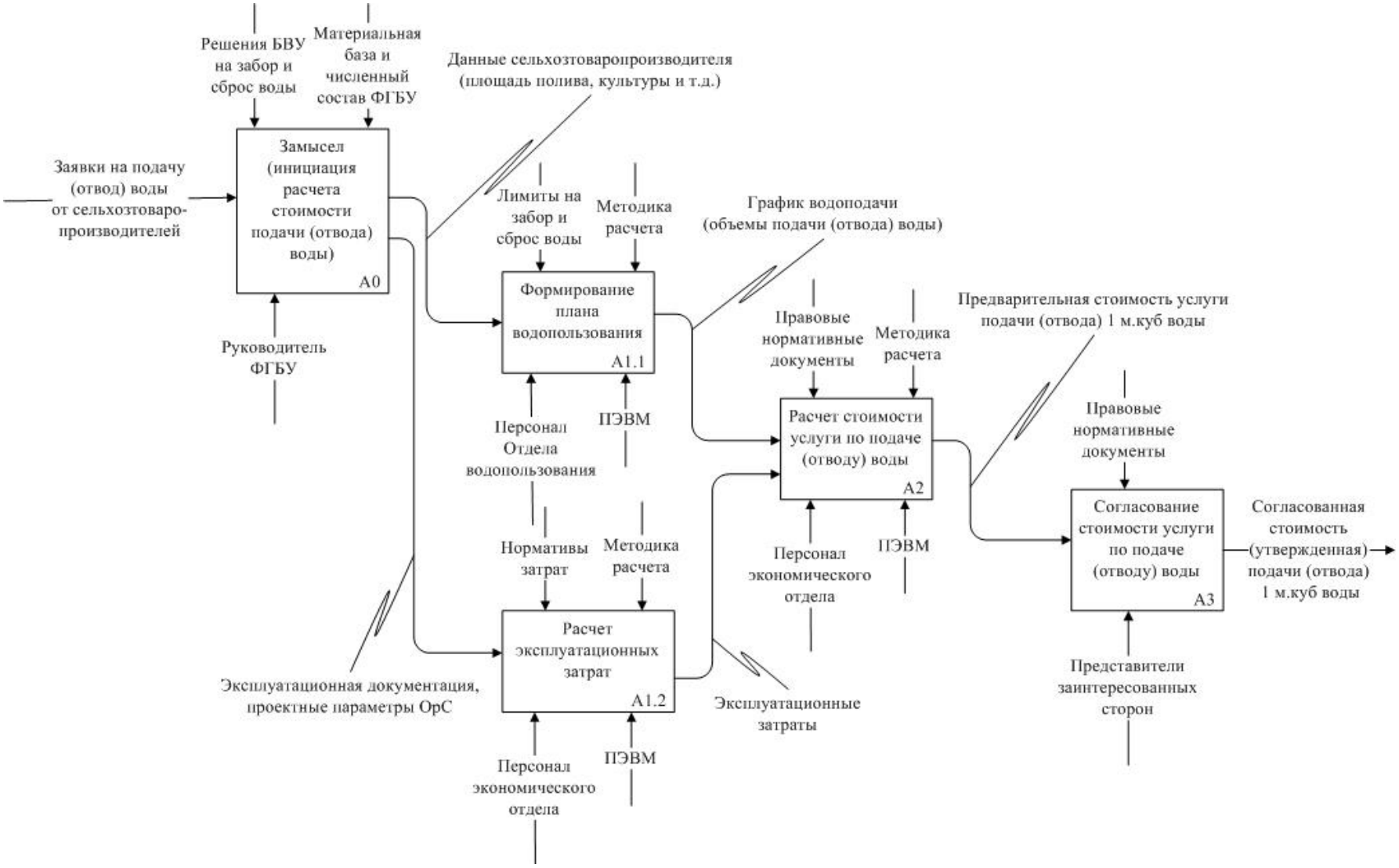


Рисунок 2 – Функциональная модель расчета стоимости оказания услуги по подаче (отводу) воды для орошения сельскохозяйственных культур

Блок А2 «Расчет стоимости оказания услуги по подаче (отводу) 1 м^3 воды» определяет непосредственно сам процесс формирования стоимости 1 м^3 воды. Здесь ограничивающими факторами являются правовые документы, утвержденный порядок расчета (например, Приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 18 февраля 2013 г. № 79 [6]), размер субсидии на обеспечение государственного задания «Эксплуатация мелиоративных систем, отдельно расположенных гидротехнических сооружений и другого имущества, переданного учреждению в оперативное управление». Выходной информацией является предварительная стоимость оказания услуги по подаче (отводу) 1 м^3 воды на орошение, которая, в свою очередь, является входной информацией для блока А3 «Согласование стоимости оказания услуги по подаче (отводу) 1 м^3 воды». Ресурсы – это главный экономист ФГБУ по мелиорации земель (филиала) и ПЭВМ. В этом же блоке А2 определяется размер плановых накоплений ФГБУ по мелиорации земель (филиала) по согласованию с вышестоящими организациями и производится начисление налога на добавленную стоимость (20 %).

Блок А3 определяет процедуру согласования стоимости оказания услуги по подаче (отводу) 1 м^3 воды. ФГБУ по мелиорации земель (филиал) самостоятельно рассчитывает размер платы за оказание услуги по подаче (отводу) воды, согласовывает ее с органами исполнительной власти региона в области АПК, а также с заинтересованными структурами (некоммерческими организациями, отстаивающими интересы отраслей АПК), а затем утверждает в Минсельхозе России. Ограничивающими факторами для блока А3 являются правовые документы. Выходная информация – это согласованная (утвержденная) стоимость оказания услуги по подаче (отводу) 1 м^3 воды.

Выводы. Использование разработанной функциональной модели определения стоимости услуги по подаче (отводу) воды на орошение сельскохозяйственных культур с помощью методологии IDEF0 позволит: повысить эффективность работы ФГБУ по мелиорации земель (филиала); стимулировать водопотребителей к рациональному расходованию воды в соответствии с зональными оросительными нормами, установленными органами исполнительной власти региона в области АПК; снизить дефицит водных ресурсов на 5–8 %, повысить рентабельность сельхозтоваропроизводителей на 5 %.

Список использованных источников

1 Методика расчета затрат на оказание услуг по подаче воды на рисовые оросительные системы / В. Н. Щедрин [и др.]; ФГБНУ «РосНИИПМ». – М.: Росинформагротех, 2011. – 27 с.

2 Отечественный и зарубежный опыт ведения платного водопользования в сельском хозяйстве: науч. обзор / С. М. Васильев, А. В. Акопян, М. В. Власов, Н. И. Сафарова; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 27 с. – Деп. в ВИНИТИ 28.05.12, № 249-В2012.

3 Манжина, С. А. К вопросу развития методики определения платы за подачу воды водопотребителям / С. А. Манжина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3(71). – С. 231–235.

4 Манжина, С. А. Современные подходы к определению экономически обоснованной стоимости подачи воды на орошение / С. А. Манжина, Л. Н. Медведева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 3(31). – С. 148–170. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=566. – DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-148-170.

5 Белых, Д. В. Повышение эффективности работы мелиоративных организаций по оказанию услуг сельскому населению / Д. В. Белых, А. С. Роскошная // Молодежь и экономика: новые взгляды и решения: межвуз. сб. тр. молодых ученых / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – С. 149–152.

6 Об утверждении Порядка определения платы за оказание федеральным госу-

дарственным бюджетным учреждением в области мелиорации, находящимся в ведении Минсельхоза России, гражданам и юридическим лицам услуг (выполнение работ), относящихся к основным видам деятельности федерального государственного бюджетного учреждения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 18 февраля 2013 г. № 79: по состоянию на 18 февраля 2013 г. // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

7 Ханмагомедов, С. А. Методика расчета затрат на оказание услуг по подаче воды для орошения и сельскохозяйственного водоснабжения / С. А. Ханмагомедов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2008. – Вып. 39, ч. 1. – С. 56–62.

8 ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз». Юбилейный выпуск к 75-летию (1941–2016 гг.). – Краснодар, 2016. – 87 с.

9 Слабунова, А. В. Правовые основы оказания учреждениями по мелиорации платных услуг по подаче воды / А. В. Слабунова // Научное обозрение: теория и практика. – 2018. – № 9. – С. 96–105.

10 Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – Введ. 2002-07-11 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

11 Automation of strategy using IDEF0 – A proof of concept / G. R. Waissi, M. Demir, J. E. Humble, B. Lev // Operations Research Perspectives. – 2015. – № 2. – P. 106–113. – DOI: 10.1016/j.orp.2015.05.001.

12 Jeong, K.-Y. IDEF method-based simulation model design and development / K.-Y. Jeong, L. Wu, J.-D. Hong // Journal of Industrial Engineering and Management. – 2009. – Vol. 2, № 2 (Spec. Iss.). – P. 337–359. – DOI: 10.3926/jiem.2009.v2n2.p337-359.

13 Водный Кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ: по состоянию на 3 августа 2018 г. // Гарант Эксперт 2019 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2019.

14 Методические указания по планированию водопользования на оросительных системах на основании данных ретроспективного анализа и сценарных расчетов в зависимости от лет различной влагообеспеченности / В. Н. Щедрин, А. С. Штанько, О. В. Воеводин, А. Л. Кожанов, С. Л. Жук. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 61 с.

УДК 631.67

Т. С. Пономаренко, Д. В. Мартынов
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕКИ КУНДРЮЧЬЯ

В статье представлена характеристика гидрологического режима р. Кундрючья и приведены результаты расчета годового и максимального стока исследуемого участка реки для лет характерной обеспеченности (годового – 10, 25, 50, 75 %; максимального – 1, 5 и 10 %). Установлено, что годовой сток в замыкающем расчетном створе в разрезе отмеченных процентов обеспеченности изменяется в пределах 1,48; 1,14; 0,83; 0,58 м^3/с. Выявлены и описаны основные факторы антропогенного воздействия на формирование стока реки.

Ключевые слова: створ, расход, годовой сток, максимальный расход, гидрологический режим.

****

T. S. Ponomarenko, D. V. Martynov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

CHARACTERISTICS OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE RIVER KUNDRYUCHIYA

The characteristics of the hydrological regime of the river Kundryuchya and the calculation results of the annual and maximum flow of the studied river reach for the years of characteristic availability (annual – 10, 25, 50, 75 %; maximum – 1, 5 and 10 %) is presented. It has been found that the annual runoff in the outlet in the context of the noted percentages of availability varies within 1.48; 1.14; 0.83; 0.58 m^3/s. The main factors of anthropogenic impact on the formation of river flow are identified and described.

Key words: cross section, flow, annual runoff, maximum flow, hydrological regime.

Введение. В настоящее время проблема использования водных ресурсов малых рек является весьма актуальной.

На территории Ростовской области в бассейне р. Дон расположено более 4500 водотоков, основную часть из которых представляют реки протяженностью менее 10 км. Малые реки в степной зоне являются основными источниками обеспечения водой населенных пунктов, промышленности и сельскохозяйственного производства [1]. Деградация малых и средних рек особенно интенсивно происходила в последние три десятилетия из-за распашки земель до уреза воды, размыва плотин и других перегораживающих сооружений [2].

Одной из таких рек является Кундрючья, которая берет начало на восточном склоне возвышенности Донецкий кряж, на территории г. Свердловска (Украина) на высоте 269 м. Протекает в юго-восточном направлении на Среднерусской возвышенности. Впадает в Северский Донец в 18 км от его устья в районе хутора Хрящевского Ростовской области на высоте 9 м. Длина реки 244 км, из них 223 км по территории России; площадь бассейна 2320 км^2 – 7-й по площади бассейна и 4-й по длине российский приток р. Северский Донец. Общее число притоков достигает 137 км, все притоки р. Кундрючья относятся к малым рекам и ручьям, крупнейшие из них (все на территории России): левые – р. Большая Гнилуша (длина 29 км, площадь бассейна 264 км^2) и Большая Бургуста (длина 21 км, площадь бассейна 95,1 км^2). На территории России на р. Кундрючья расположены Соколовское, Несветайское (Вербенское) и спущенное Прохоровское водохранилища, которые оказывают значительное влияние на сток реки; на территории Украины – Бирюковское и Должанское водохранилища.

В верховье р. Кундрючья протекает в узкой глубоко врезанной долине. В верхнем и среднем течении русло слабоизвилистое, неразветвленное, пойма отсутствует. В нижнем течении русло реки извилистое, с перекатами. Протяженность перекатных участков 60–100 м. Пойма левобережная, шириной до 300 м. Средняя высота падения русла на всем протяжении реки – 1 м/км.

Река имеет смешанное питание, в котором основная роль принадлежит весенним половодьям снегового и дождевого происхождения. На долю весеннего половодья приходится 50–70 % объема годового стока. Летне-осенняя межень относительно маловодна и зависит от дождевых паводков, значительно уступающих по объему весеннему половодью. Средняя продолжительность весеннего половодья составляет 37 дней при минимальной 17 дней и максимальной 72 дня. Наибольшие среднесуточные расходы для разных половодий измеряются от 1 до 190 м^3/с при среднем значении 39 м^3/с. Наибольшие значения расходов воды приходятся на первую декаду марта. Весеннее половодье проходит несколькими волнами по 10–15 сут, имеет неопределенные границы, но наиболее часто в период II–IV месяцев.

Водные ресурсы р. Кундрючья используются для снабжения водой населения, промышленных, коммунально-бытовых, сельскохозяйственных предприятий и орошения земель.

Исследуемый район включает в себя часть водосборной площади р. Кундрючья от села Ребриковка Киселевского сельского поселения Красносулинского района

до створа плотины Соколовского водохранилища, включая русловую часть, приточные водотоки, чашу Соколовского водохранилища и существующие подпорные гидротехнические сооружения на боковой приточности р. Кундрючья (рисунок 1).

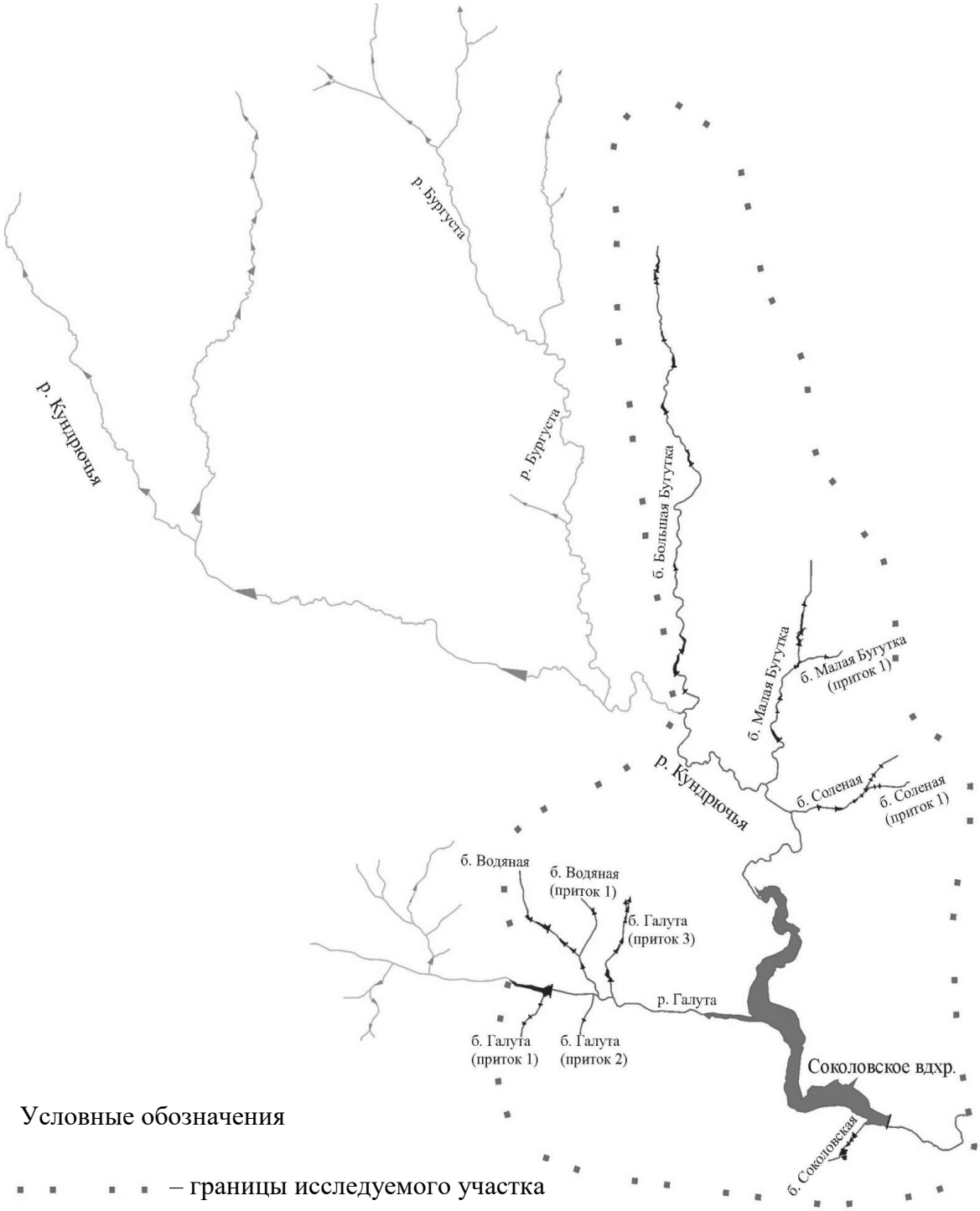


Рисунок 1 – Схема исследуемого района

Общая протяженность обследуемого основного русла реки составляет 9 км, балок боковой приточности – 42 км.

Материалы и методы. Гидрологические расчеты проводились в соответствии с требованиями СП 11-103-97 [3], СП 33-101-2003 [4], а также «Пособия по определению расчетных гидрологических характеристик» [5]. Основные гидрологические характеристики определялись методом аналогий по данным рек-аналогов (п. 7.25 СП 33-101-2003).

Расчетные максимальные расходы воды определялись исходя из расчетного максимального расхода воды реки в естественном незарегулированном состоянии (п. 7.30 СП 33-101-2003) с учетом распаханности и залесенности водосборов [6, 7]. Водосборная площадь определена с использованием цифровых моделей рельефа, созданных на основе данных радарной и геодезической съемок [8].

Для оценки общего объема стока в русле реки с учетом нарастания водосборных площадей как приточных балок, так и самого русла использовались расчетные створы, расположенные непосредственно в русле р. Кундрючья (рисунок 2, № 1, 8, 15, 21). Исследуемый участок р. Кундрючья в значительной степени перепружен грунтовыми плотинами, которые образуют небольшие водохранилища сезонного регулирования стока. Для установления объемов и динамики стока, перехватываемого водохранилищами в русле реки и притоков, расчетные створы установлены в устье каждого притока. На схеме (рисунок 2) это створы № 7, 14, 20, 37, 39.

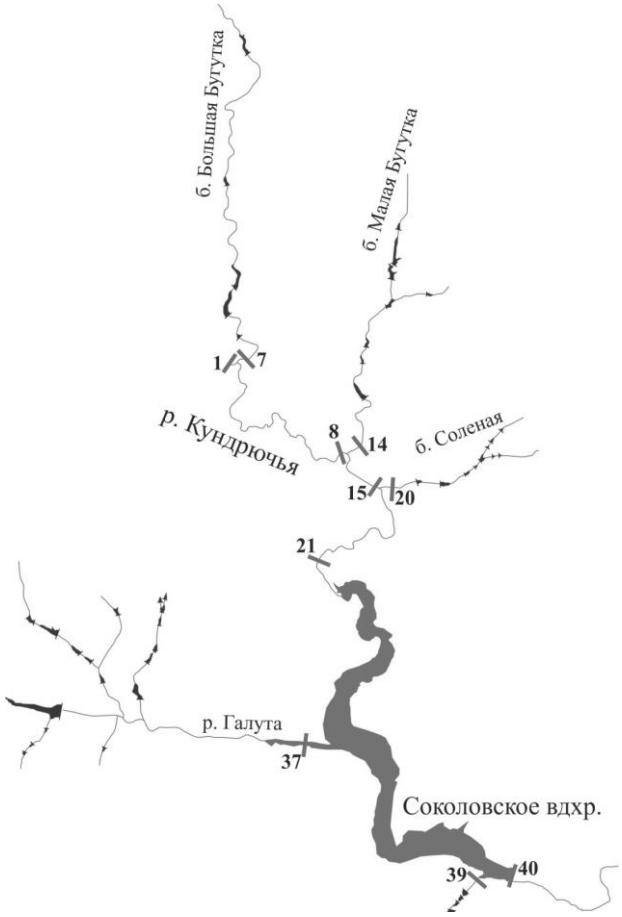


Рисунок 2 – Схема расположения расчетных створов

Результаты и обсуждения. В ходе выполнения работ выявлено, что основными факторами антропогенного воздействия на участке исследования, влияющими на характер изменения поверхностного стока с водосбора, являются сельскохозяйственная деятельность, деятельность промышленных предприятий и наличие большого количества гидротехнических сооружений в русле и притоках р. Кундрючья.

На территории исследуемого водосбора расположен ряд населенных пунктов и объектов инфраструктуры. Наиболее крупным населенным пунктом на водосборной площади является н. п. Киселево. Общая площадь застроенной территории на водосборной площади составляет более 28 км^2, или порядка 25 % от всего водосбора исследуемого участка реки. Территория водосборной площади исследуемого участка р. Кундрючья в значительной степени распахана (порядка 90 %), здесь ведется активная

сельскохозяйственная деятельность. Этот фактор оказывает значительное влияние прежде всего на формирование взвешенных наносов.

Боковая приточность исследуемого участка р. Кундрючья зарегулирована подпорными гидроузлами, создающими искусственные водоемы, которые задерживают определенный объем годового стока, что оказывает влияние на формирование поверхностного потока в русле реки и на формирование гидрологических условий.

В таблице 1 представлены параметры годового стока в расчетных створах с учетом влияния вышеописанных факторов.

Таблица 1 – Расход годового стока в расчетных створах

В м^3/с

Створ	Площадь водосбора A, км^2	C_V	Обеспеченность P, %			
			10	25	50	75
1	292,61	0,48	0,89	0,69	0,50	0,35
7	47,15	0,49	0,14	0,11	0,08	0,06
8	345,47	0,48	1,05	0,81	0,59	0,41
14	17,92	0,49	0,05	0,04	0,03	0,02
15	364,49	0,48	1,11	0,86	0,62	0,44
20	8,74	0,50	0,03	0,02	0,01	0,01
21	381,06	0,48	1,16	0,90	0,65	0,46
37	64,57	0,49	0,20	0,15	0,11	0,08
39	2,5	0,50	0,01	0,01	0,004	0,003
40	485,75	0,48	1,48	1,14	0,83	0,58

В результате расчета установлено, что среднемноголетний сток реки (50% обеспеченности) в замыкающем расчетном створе составляет 0,8 м^3/с. Согласно представленным данным наибольший приточный сток наблюдается в створе р. Галута (створ 37) (порядка 13,5 % от общего стока реки). Вторым по объему стока является приток б. Большая Бугутка – 10 % (створ 7). Приток из б. Малая Бугутка (створ 14) с площадью водосбора менее 20 км^2 составляет 3,5 % от общего стока реки.

Данные наблюдений за максимальными расходами отсутствуют для всех расчетных створов. Имеющиеся гидрологические ряды по гидропостам Владимировская и Мостовой являются искаженными, так как расположены ниже водохранилищ, поэтому для всех створов расчет выполнен по методике при отсутствии данных наблюдений.

Максимальные расходы при отсутствии гидрометрических данных определялись по региональным зависимостям максимального стока от объема половодья, который был установлен по картам.

Результаты расчета максимального расхода весеннего половодья представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Максимальный расход весеннего половодья в расчетных створах

В м^3/с

Створ	Площадь водосбора A, км^2	Норма стока h_0, мм	C_V	Обеспеченность года P, %		
				1	5	10
1	292,61	22	1,1	188,32	103,58	66,57
7	47,15	22	1,375	85,61	37,36	23,86
8	345,47	22	1,1	201,57	110,80	71,11
14	17,92	22	1,375	41,78	18,23	11,63
15	364,49	22	1,1	207,26	113,89	73,03
20	8,74	22	1,375	23,46	10,24	6,54
21	381,06	22	1,1	210,59	115,76	74,29
37	64,57	22	1,364	105,88	46,41	29,81
39	2,5	22	1,375	7,73	3,37	2,15
40	485,75	22	1,1	228,94	125,89	80,86

Установленные максимальные расходы весеннего половодья в 150 раз превышают годовые расходы соответствующей обеспеченности.

Выводы. В результате выполненных исследований по расчетным створам установлены и приведены величины годового и максимального стока р. Кундрючья для лет характерной обеспеченности. Выделены наиболее значимые приточные водотоки, и в процентном соотношении определена доля влияния каждого из притоков на формирование стока реки.

Выявлены факторы антропогенного воздействия на формирование стока реки, такие как сельскохозяйственная и промышленная деятельность предприятий, а также наличие большого количества гидротехнических сооружений в русле и притоках р. Кундрючья.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Повышение эффективности оросительных систем на местном стоке инновационными средствами предупреждения дефектов прудовых плотин / С. М. Васильев, Е. В. Васильева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2015. – № 4(20). – С. 73–84. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=366&id=371.

2 Щедрин, В. Н. Современное состояние и пути дальнейшего развития мелиорации в России / В. Н. Щедрин // Проблемы рационального использования природохозяйственных комплексов засушливых территорий: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., с. Соленое Займище, 22–23 мая 2015 г. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2015. – С. 330–341.

3 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства: СП 11-103-97: утв. Госстроем России 14.10.97. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997. – 55 с.

4 Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003: утв. Госстроем России 26.12.03. – М.: Госстрой России, 2004. – 85 с.

5 Шмидт, Т. С. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / Т. С. Шмидт. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 444 с.

6 Железняков, Г. В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г. В. Железняков, Т. А. Неговская, Е. Е. Овчаров; под ред. Г. В. Железнякова. – М.: Колос, 1984. – 205 с.

7 Мухин, Л. Ф. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 7. Донской район / Л. Ф. Мухин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 460 с.

8 Рыжаков, А. Н. Сравнительный анализ цифровых моделей рельефа, созданных на основе данных радарной и геодезической съемок / А. Н. Рыжаков // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 18–23.

УДК 631.6:556.5

А. А. Бубер, А. А. Талызов
Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА Р. ДОН ОТ ЦИМЛЯНСКОГО ГИДРОУЗЛА ДО УСТЬЯ

Статья посвящена сбору и анализу исходных данных, необходимых для разработки гидродинамической модели Нижнего Дона в среде программного комплекса MIKE 11. Цель исследования – разработка долгосрочного прогноза изменения водных ресурсов для обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса бассейна р. Дон, определение мер по адаптации водохозяйственного комплекса к изменениям водности в бассейне р. Дон и получение оценки уровня обеспеченности населения и объектов экономики водными ресурсами в маловодные периоды.

Ключевые слова: гидродинамическое моделирование, MIKE 11, цифровая модель рельефа, лоции, поперечные сечения.

****

A. A. Buber, A. A. Talyzov
All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

PREPARATION OF INITIAL DATA FOR HYDRODYNAMIC MODEL OF THE DON RIVER REACH FROM THE TSYMLYANSKIY HYDROSYSTEM TO ITS FIRTH

The article is devoted to the collection and analysis of the initial data necessary for the development of hydrodynamic model of the Lower Don under the MIKE 11 software environment. The aim of the research is the development of the long-term forecast of changes in water resources to ensure the sustainable functioning of the water management complex of the river Don, the undertaking the measures for water sector adaptation to changes in water content in the river Don basin and obtain an assessment of the level of availability of water resources during low-water periods to population and economic objects.

Key words: hydrodynamic modeling, MIKE 11, digital terrain model, pilot chart, cross sections.

Исследование выполнялось в рамках договора № 78/1-НИР/ФЦП-2018 по теме: «Долгосрочный прогноз изменения водных ресурсов для целей обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса бассейна реки Дон», этап 1.

Введение. Бассейн р. Дон расположен на территории 15 субъектов Российской Федерации, относящихся к Центральному, Северо-Кавказскому, Южному, Приволжскому федеральным округам, и является одним из самых обжитых и экономически развитых регионов России, в связи с чем проблема обеспечения водой населения и отраслей экономики становится одной из наиболее актуальных.

Климат рассматриваемой территории умеренно континентальный, бассейн р. Дон расположен в полузасушливой, засушливой и очень засушливой местности с умеренно холодной зимой и теплым, а на юге жарким летом.

Водный режим р. Дон характеризуется ярко выраженным весенним половодьем и устойчивой летней меженью, существенную роль в питании водосборного бассейна р. Дон играют подземные воды. За последние десятилетия сумма осадков в зимний период увеличилась на 35 %, так же возросла и сумма положительных температур, в связи с чем произошли существенные изменения водного режима [1].

Снижение общего объема водных ресурсов бассейна и изменения во внутригодовом распределении стока привели к тому, что в последние годы сложилась напряженная водохозяйственная обстановка. Наступление маловодных периодов влечет за собой возникновение дефицитов водных ресурсов как для питьевого водоснабжения, так и для объектов экономики, флоры и фауны.

Устойчивое обеспечение требований водопользователей Нижнего Дона осуществляется за счет регулирования стока Цимлянского водохранилища, однако оно не в состоянии обеспечить водными ресурсами современные потребности водохозяйственного комплекса в связи с противоречивыми требованиями отраслей экономики и природоохранных мероприятий в период наступления длительных периодов маловодья (с 2007 по 2016 г.) [2].

Водные ресурсы бассейна Дона испытывают чрезвычайно высокую хозяйственную нагрузку, поэтому важнейшей задачей исследования является адаптация водохозяйственного комплекса, в особенности Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища, к условиям периодов маловодных лет.

Материалы и методы. Объектом исследований является нижний участок р. Дон (участок р. Дон от г. Калача-на-Дону до устья реки) до впадения в Таганрогский залив Азовского моря длиной 500 км с прилегающей водосборной площадью 200 тыс. км^2. Наиболее крупными притоками 1-го порядка являются Северский Донец, Сал, Западный Маныч, Чир, Тузлов и Цимла.

В качестве основы ГИС-проекта исследуемого участка р. Дон использовались топографические карты масштаба 1:100000, привязанные в проекции Гаусса – Крюгера.

Источником информации о рельефе русловой части послужили сведения об отметках глубин, приведенные в «Атласе единой глубоководной системы европейской части РФ» (том 8, часть II). Основное русло р. Дон в атласе описано достаточно подробно: присутствуют изобаты с отметкой глубины 3,4–4,0 м, ограничивающие судовой ход, достаточно частые точечные отметки глубин [3].

Результаты. Первым этапом обработки данных листов атласа является их географическая привязка – определение положения контура русла реки, приведенного на листах атласа, в системе географических координат ГИС-проекта. Данная задача не имеет однозначного решения, поскольку на листах атласа отсутствует координатная сетка и какие-либо иные символы географической привязки.

В качестве решения данной проблемы был выбран метод сопоставления контура реки на листах атласа и листах топографических карт, уже имеющих привязку в координатах ГИС-проекта. Листы атласа были привязаны к соответствующим листам топографических карт путем аффинных преобразований (масштабирование и поворот). Изображение привязанного листа атласа приведено на рисунке 1.

Данные с листов атласа были переведены в векторную форму (рисунок 2), значения глубин были преобразованы в значения отметок высот в Балтийской системе, исходя из известного уровня уреза воды, далее была построена цифровая модель рельефа русловой части.

Интегрированная цифровая модель рельефа в виде ГИС-проекта используется в качестве источника данных при подготовке поперечных сечений по руслу и пойме р. Дон для компьютерной гидродинамической модели, а также для последующего отображения результатов моделирования сценарных расчетов. Также было представлено обоснование для уточнения морфометрических характеристик русла Нижнего Дона для последующего дополнения гидродинамической модели.

Профессиональный программный пакет MIKE 11 предназначен для моделирования течения воды и транспорта наносов в реках, водохранилищах, мелиоративных каналах и других водных объектах. Гидродинамический модуль основан на решении уравнений Сен-Венана (неявная разностная схема расчета неустановившегося движения воды в водотоках). Математическое моделирование гидродинамических характеристик речного потока позволяет в частности определить гидродинамические параметры речных систем, необходимые для оценки изменений водного режима в результате хозяйственной деятельности человека и условий климата [4, 5].

Для построения модели в MIKE 11 была разработана и привязана по координатам карта-топооснова, на которую нанесена трасса речной сети. В модуль Cross-sections введены координаты *X*, *Y* поперечных сечений, сформированы их конфигурации. Введенные поперечные сечения отображаются в модуле Network на трассе речной сети (рисунок 3).

Дальнейшая доработка, формирование начальных и граничных условий, калибровка (назначение коэффициентов шероховатости) и прогонка сценарных расчетов на модели предусмотрена в 2019 г. на следующем этапе научно-исследовательской работы.

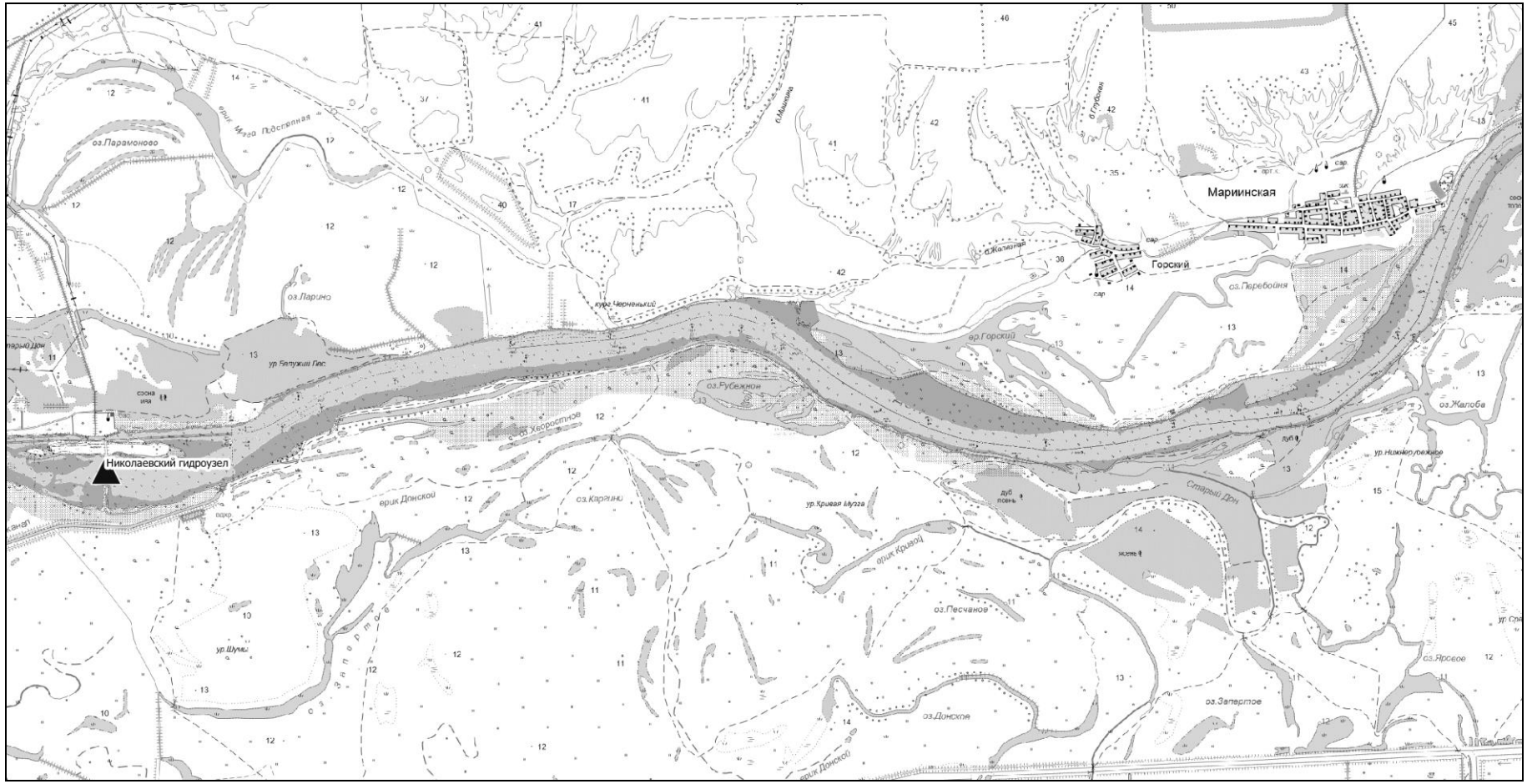


Рисунок 1 – Фрагмент листа атласа, привязанного к листу топографической карты (район Николаевского гидроузла)

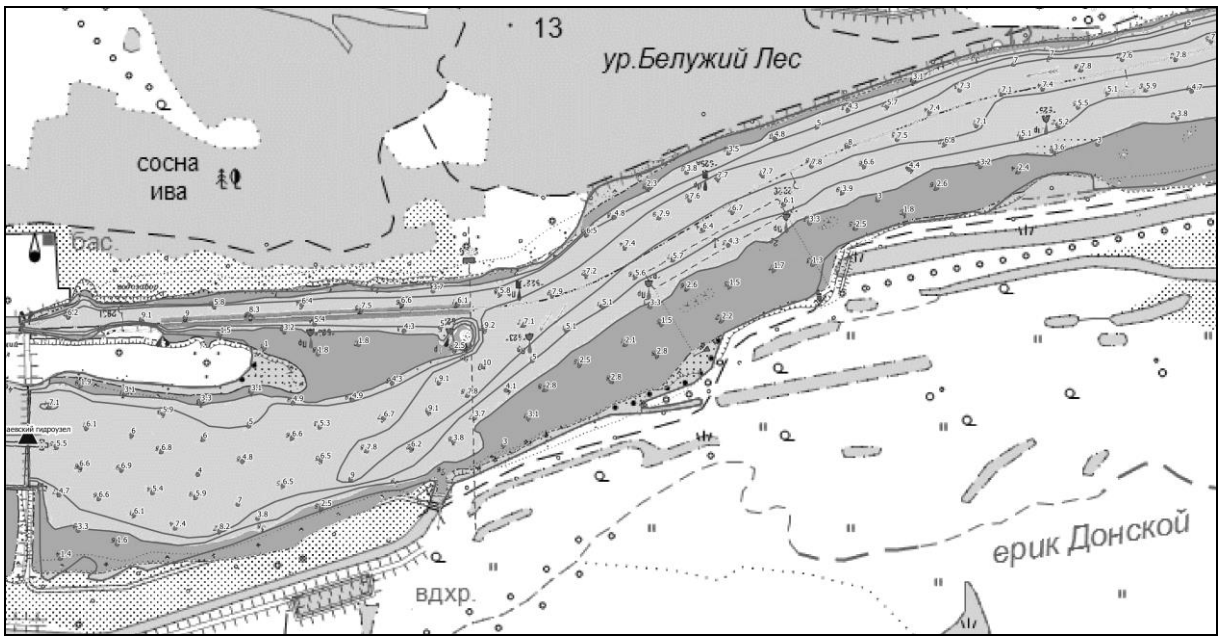


Рисунок 2 – Изобаты и точки с отметками глубин в векторной форме

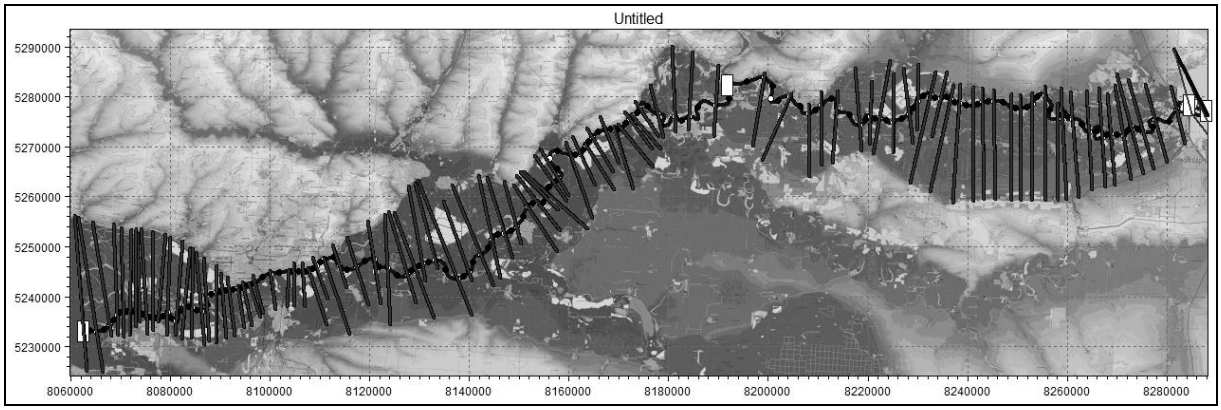


Рисунок 3 – Трасса речной сети участка от нижнего бьефа Цимлянского водохранилища до устья р. Дон с нанесенными поперечными сечениями

Выводы. Основной задачей данного этапа исследований является формирование базы исходных данных, необходимых для разработки гидродинамической модели, предназначенной для определения расчетных уровней воды. На основе разработанной модели будут проведены сценарные модельные расчеты различных вариантов управления попусками в нижний бьеф Цимлянского гидроузла для целей обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса бассейна р. Дон в маловодные периоды.

Список использованных источников

1 Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века / А. В. Кислов [и др.]. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 292 с.

2 Косолапов, А. Е. Цимлянское водохранилище в условиях длительного периода пониженной водности / А. Е. Косолапов // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения: сб. науч. тр., посвящ. Году экологии в России и 50-летию Ин-та вод. проблем РАН / Ин-т вод. проблем Рос. акад. наук, Рос. информ.-аналит. и науч.-исслед. водохоз. центр. – Новочеркасск: Лик, 2017. – С. 31–36.

3 Атлас единой глубоководной системы европейской части РФ. Т. 8, ч. 2. Волго-Донской водный путь. От 2875,7 км до г. Аксай [Электронный ресурс] / ГБУ «Волго-Балт». – 2009. – Режим доступа: http:rspin.com/map_atlas/08/index.html, 2019.

4 Бубер, А. Л. Использование гидродинамического компьютерного моделирования при анализе прохождения половодных, паводковых и прорывных волн в бассейнах рек / А. Л. Бубер, М. В. Болгов, А. А. Бубер // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Круглый стол. 17 сентября 2015 г.: докл. и выступления. – М.: МЧС России, 2015. – С. 85–97.

5 Компьютерное моделирование речных потоков. Теоретические основы / Науч. консалтинговая фирма «Волга». – М., 2013. – 79 с.

УДК 631.67

Э. Э. Сейтумеров
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛАБОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ОЗЕР ДОНУЗЛАВ И САСЫК-СИВАШ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ И ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Целью исследований является изучение возможности отбора слабоминерализованных вод озер Донузлав и Сасык-Сиваш для их дальнейшего использования в питьевых и сельскохозяйственных целях. Для решения этой задачи были отобраны пробы воды в данных объектах, а также проведены расчеты объемов воды, которые могут быть изъяты без вреда для экосистемы озер. Отбор воды из озер возможен в объеме, не превышающем перетока пресных вод из озер в море. В средний по водности год отток из озера Донузлав в море составляет 5,449 млн м^3/год, из озера Сасык-Сиваш – 12 млн м^3/год, а в маловодный год соответственно 1,926 и 6 млн м^3/год. Сухой остаток в отобранных пробах воды превышал ПДК: в озере Сасык-Сиваш: с. Лиманное в 8,8; с. Охотниково в 3,5; в озере Донузлав: пруд № 1 в 2,2; пруд № 2 в 2,1; пруд № 3 в 1,9 и пруд № 4 в 1,8 раза. По данному показателю вода непригодна для целей орошения. Для возможного использования воды из данных озер для питьевых и сельскохозяйственных нужд необходимо проведение дополнительных мероприятий по изменению ее качества, что будет влиять на ее конечную стоимость.

Ключевые слова: дефицит водных ресурсов, недостаточная водообеспеченность, улучшение экологического состояния водотоков, опреснение, слабоминерализованные воды, альтернативные источники, рациональное использование водных ресурсов.

****

E. E. Seitumerov
Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

ON POSSIBILITY OF USING LOW-MINERALIZED WATER OF DONUSLAV AND SASYK SIVASH LAKES FOR IRRIGATION AND DRINKING WATER SUPPLY

The aim of the research is to study the possibility of selecting low-mineralized water of the Donuzlav and Sasyk-Sivash lakes for their further use for drinking and agricultural purposes. To solve this problem, water samples were taken from these lakes, and calculations of the water volumes that can be withdrawn without harming the lake ecosystem were made. Water withdrawal from the lakes is possible in an amount not exceeding the fresh water overflow from the lakes to the sea. In the average water year, the outflow from Donuzlav Lake to the sea is 5.449 million m^3/year, from Sasyk-Sivash Lake – 12 million m^3/year, and in the low-

water year 1.926 and 6 million m^3/year, correspondingly. The dry residue in taken water samples exceeded the MPC: in Sasyk-Sivash Lake: vill. Limannoe by 8.8 times; vill. Okhotnikovo by 3.5 times; in the lake Donuzlav: pond number 1 by 2.2; pond number 2 by 2.1; pond number 3 by 1.9 and pond number 4 by 1.8 times. According to this indicator, water is unsuitable for irrigation. For the possible use of water from these lakes for drinking and agricultural needs, additional measures to change its quality that will affect its final cost should be taken.

Key words: water resources shortage, insufficient water supply, improvement of water courses ecological state, desalination, low mineralized waters, alternative sources, rational use of water resources.

Введение. Крымский полуостров характеризуется недостаточным увлажнением. Особенно дефицит водных ресурсов усилился после прекращения поставок днепровской воды. Ежегодные потери от недобора сельскохозяйственной продукции – более 14 млрд руб./год. В большинстве районов среднегодовое количество осадков находится на уровне 300–360 мм. При этом обилие солнечных дней в летний период и высокая инсоляция приводят к повышенному испарению влаги почвы. В результате в Степном Крыму дефицит осадков для основных сельскохозяйственных культур составляет 300–500 мм в год, а коэффициент увлажнения находится в пределах 0,3–0,6 [1, 2]. Крымские реки, несмотря на свои небольшие размеры и то, что большинство из них в летний период пересыхают, играют очень важную роль в водном балансе полуострова. За счет местного стока наполняются 15 водохранилищ общим объемом около 250 млн м^3, а также около 300 прудов объемом более 200 млн м^3. Средняя многолетняя величина естественного стока в Крыму небольшая, всего около 1,04 л/(с·км^2), в горной части полуострова больше – 3,10 л/(с·км^2), в равнинной меньше – примерно 0,1 л/(с·км^2) [3]. Поверхностные водные ресурсы распределены по территории полуострова крайне неравномерно. Собственные ресурсы речного стока составляют около 910 млн м^3. Из них 85 % приходится на горный и всего 15 % – на равнинный Крым. Вклад в водохозяйственном балансе речных вод с учетом водохранилищ естественного стока составляет 9,5 %, приблизительно 6–9 % годового стока задерживается водохранилищами. В маловодный год местные водные ресурсы сокращаются до 43 млн м^3/год [4].

Крымский полуостров небогат запасами пресных подземных вод. Объем эксплуатационных запасов на 2014 г. составлял около 400 млн м^3/год. Из 88 утвержденных участков не эксплуатировались 17 с общим объемом более 70 млн м^3/год. По сравнению с 1990 г. забор воды из подземных источников к 2014 г. уменьшился почти в 4 раза (с 257,8 до 69,45 млн м^3/год) [5]. Однако после перекрытия Северо-Крымского канала водоотбор из подземных источников повысился более чем в 2 раза. В связи с этим необходимо быть осторожными при принятии управленческих решений по отбору подземных вод, так как их бесконтрольный отбор может привести (а местами уже привел) к ухудшению качественных и количественных характеристик особо ценных в социальной и экономической сфере, а главным образом в питьевом водоснабжении населения полуострова, ресурсов.

Результаты и обсуждения. В последние годы в связи с острым дефицитом пресных вод ведущими учеными Российской Федерации, и в т. ч. Республики Крым, предлагаются различные решения по изысканию дополнительных альтернативных источников воды. Одним из них является опреснение слабоминерализованных вод озер Крыма для питьевого и сельскохозяйственного использования.

По данным Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым, в Крыму насчитывается более 60 населенных пунктов с количеством жителей более 44 тыс. чел., которые для питьевых целей пользуются минерализованной подземной водой. Кроме поверхностных вод часть населения Крыма, особенно в запад-

ной, северной и центральной частях полуострова, для удовлетворения питьевых нужд интенсивно пользуется подземными источниками водоснабжения, которые не всегда соответствуют нормативным требованиям [6]. Бесконтрольный отбор поверхностных и подземных вод может привести к ухудшению качественных и количественных характеристик особо ценных вод. Так, при норме содержания солей 1–1,5 г/дм^3 в районе г. Черноморское, Евпатория, Саки, в Джанкойском, Красноперекопском и Нижнегорском районах существуют очаги превышенной минерализации до 2 г/дм^3, а в северной, северо-восточной и центральной частях Крыма минерализация достигает 5 г/дм^3. Использовать такую воду для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения без дополнительной подготовки нельзя, поэтому возникает вопрос о возможности доведения этих вод до нормативов ГОСТа [7].

С целью возможности использования данной категории вод прорабатывается вопрос выбора метода опреснения слабоминерализованных подземных и поверхностных вод, который был бы наиболее экономически, технически и экологически выгодным и эффективным и позволил бы частично решить проблему обеспечения чистой водой населения Республики Крым.

В настоящее время передовыми технологиями получения пресной воды являются установки комплексной переработки, которые позволяют получать из морской или слабоминерализованной поверхностной и подземной воды не только питьевую воду, но и товарную соль после переработки рассола (концентрата), получаемого в процессе опреснения воды. Примером такой установки является «Установка конвертации морской воды в питьевую воду и товарные соли» (УКМВ-50 «Оазис»). Данная установка позволяет получать питьевую и поливную воду и товарную соль. Себестоимость опресненной воды при солесодержании в исходной 5 г/дм^3 составляет около 18 руб./м^3. Вопрос высоких энергетических затрат при опреснении воды в случае недостатка энергетических ресурсов, который наблюдается в Крыму на сегодняшний день, в данном проекте решен с помощью накопителя энергии на базе батарей-суперконденсаторов, который конвертирует кинетическую энергию ветра, заключенную в кратковременных флуктуациях, в электрическую. Это решение в условиях Крыма актуально и перспективно.

Пилотным проектом использования данной установки может быть опреснение слабоминерализованных вод озер Донузлав и Сасык-Сиваш.

Озеро Донузлав второе по величине и самое глубокое из всех озер Крыма. Площадь его водной поверхности равна 47 км^3, длина – 30 км, наибольшая ширина – 4 км, глубина достигает 25 м. Оно образовалось на дне балки, впадающей в Черное море. От моря озеро отделяется песчаной пересыпью длиной 10 км и шириной 200–400 м. Озеро Донузлав отличается от других соляных озер Крыма своими очертаниями и геоморфологией дна, что, видимо, и явилось одной из причин прокладки в ноябре 1961 г. судоходного канала через пересыпь шириной 500 м и строительства в его бассейне портов.

Озеро Сасык-Сиваш – самое большое из соляных водоемов Крыма – принадлежит к числу лагунных водоемов. Площадь его водной поверхности равна 71 км^2. Несмотря на сравнительно большую площадь, озеро очень мелкое: наибольшая глубина составляет 1,2 м. Озеро полностью изолировано от моря пересыпью. Уровень его ниже уровня моря в среднем на 0,6 м. Из всех видов питания наибольшее значение для режима Сасык-Сиваша имеют подземные воды и воды, поступающие из моря путем фильтрации через пересыпь.

Возможности использования пресной воды из озер Донузлав и Сасык-Сиваш для питьевых и сельскохозяйственных нужд неоднократно рассматривались на разных уровнях с целью водообеспечения северо-западных регионов Крыма. Для решения данного вопроса по поручению Госкомводхоза РК была создана рабочая группа, в которую вошли и ученые ФГБУН «НИИСХ Крыма». Рабочая группа неоднократно выезжала

на данные объекты и проводила исследования химического состава данных водоемов и возможного объема изъятия водных ресурсов (было отобрано шесть проб воды, в т. ч. две из озера Сасык-Сиваш (с. Лиманное и Охотниково) и четыре из озера Донузлав, а также измерены расходы воды с помощью гидрометрической вертушки). Ежесуточный объем сброса пресной воды в море из озера Донузлав составил в различные периоды года от 20 до 60 тыс. м^3/сут. Оценка качества воды и состояния водного объекта осуществлялась в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.5.980-00 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Сухой остаток солей в отобранных пробах воды превышает ПДК: в озере Сасык-Сиваш: с. Лиманное в 8,8 раза, с. Охотское в 3,5 раза; в озере Донузлав: пруд № 1 в 2,2; пруд № 2 в 2,1; пруд № 3 в 1,9; пруд № 4 в 1,8 раза. В соответствии с «Методическими рекомендациями по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель» вода озер Донузлав и Сасык-Сиваш по значению минерализации (для почв со средним и тяжелым мехсоставом, наиболее распространенных в Крыму) во всех отобранных пробах относится к четвертому классу качества оросительной воды. Оросительная вода данного качества оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Для возможного использования воды из данных озер для питьевых и сельскохозяйственных нужд необходимо проведение дополнительных мероприятий по изменению ее качества методом опреснения.

Кроме этого, сделанные региональной общественной организацией «Инженерная академия Республики Крым» предложения по вопросу отвода пресной воды из озер Донузлав и Сасык-Сиваш для использования ее в питьевых и сельскохозяйственных нуждах были направлены на рассмотрение в ФГБНУ «Южный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ЮгНИРО») и ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН» (ФГБУН ИМБИ).

По данным мониторинговых исследований гидрохимического режима озера Донузлав, проведенных ФГБНУ «ЮгНИРО» в 2014–2016 гг. [8], был сделан вывод о том, что существенное понижение солености в верховье озера до 14,4 г/дм^3 отмечается только весной. В летний период соленость в районе Аблимитского моста составляет в среднем 16,7 г/дм^3, осенью – 17,8 г/дм^3. В нижней части озера Донузлав вблизи выхода в Черное море соленость в зависимости от сезона составляет 17,8–18,3 г/дм^3. Этот факт свидетельствует о том, что если бы ежесуточный сброс пресной воды из каскада водоемов в морскую часть озера составлял от 20 до 60 тыс. м^3/сут, то значение солености не превышало бы 10–13 г/дм^3 круглый год.

В процессе рыбохозяйственной эксплуатации каскада водоемов пресной части озера Донузлав специалистами ФГБНУ «ЮгНИРО» было установлено, что в засушливые годы соленость воды в водоемах существенно повышалась (до 6–7 г/дм^3), это приводило к гибели в первую очередь таких видов рыб, как растительноядные. Забор пресной воды из верховья каскада может привести к резкому повышению уровня минерализации в водоемах и вызвать массовую гибель всех объектов аквакультуры.

С 2007 г. по настоящее время сотрудники ФГБНУ «ЮгНИРО» проводят мониторинговые исследования распресненной части озера Сасык-Сиваш. В результате анализа гидрохимического режима установлено, что в разных частях водоема отмечается неодинаковый уровень минерализации воды: в северной (место обитания и нереста пресноводных видов рыб) 3–5 г/дм^3, в южной части – 9–12 г/дм^3, у разделительной дамбы – 13–14 г/дм^3. По мнению специалистов ФГБНУ «ЮгНИРО» и ФГБУН ИМБИ, забор воды из озер Донузлав и Сасык-Сиваш недопустим, поскольку приведет к серьезным отрицательным последствиям для их рыбохозяйственного использования.

Согласно данным водохозяйственного паспорта озера Донузлав, разработанного государственным региональным проектно-изыскательским институтом «Укрюжгипроводхоз» (г. Одесса, 2008 г.), в средний по водности год отток из озера в море составляет 5,449 млн м^3/год, а в маловодный год – 1,926 млн м^3/год [9].

В итоговой части данного паспорта отмечается, что верховье Донузлава является наиболее загрязненным. Сюда с талыми и дождевыми водами постоянно поступает техногенное загрязнение. Высокое содержание в донных отложениях бактерий группы кишечной палочки представляет опасность для местного населения, поскольку кишечная палочка является индикатором присутствия в верховье лимана возбудителей опасных заболеваний, таких как тиф, паратиф и др. Качество воды в озере не соответствует требованиям ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и ДСТУ 2730-94 «Качество природной воды для орошения. Агрономические критерии».

Вблизи озера Донузлав потенциальных сельхозводопотребителей нет. Для использования пресных вод озера необходимо выполнение мероприятий по строительству водонакопительной емкости, опреснительной установки и каскада насосных станций.

Технические характеристики объектов строительства будут зависеть от объема воды, который возможно отобрать из озера, не нарушив его экологическую составляющую, от расстояния до полей орошения. Кроме того, необходимо найти инвесторов – сельхозтоваропроизводителей, готовых брать опресненную воду для полива сельхозкультур по сложившейся себестоимости.

Выводы

1 В озере Сасык-Сиваш в разных частях водоема отмечается неодинаковый уровень минерализации воды: в северной (место обитания и нереста пресноводных видов рыб) 3–5 г/дм^3, в южной части – 9–12 г/дм^3, у разделительной дамбы – 13–14 г/дм^3. Сухой остаток в отобранных 2 июня 2016 г. пробах воды превышает ПДК: в озере Сасык-Сиваш: с. Лиманное в 8,8; с. Охотниково в 3,5; в озере Донузлав: пруд № 1 в 2,2; пруд № 2 в 2,1; пруд № 3 в 1,9 и пруд № 4 в 1,8 раза.

2 Качество воды в озерах не соответствует требованиям ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и ДСТУ 2730-94 «Качество природной воды для орошения. Агрономические критерии».

3 Значительная часть объема воды данных озер пополнялась за счет дренажных вод из системы Северо-Крымского канала и с орошаемых днепровскими водами сельскохозяйственных угодий. Прекращение подачи воды в систему Северо-Крымского канала существенно уменьшило поступление пресных вод в эти озера. В связи с этим забор воды из опресненных частей озер Донузлав и Сасык-Сиваш может привести к понижению в них уровня воды, запитке минерализованными подземными водами из сарматских отложений, которые разгружаются в озера Донузлав и Сасык-Сиваш (достигают в среднем 3,0–3,5 г/дм^3), и быстрой гибели пресноводного биоценоза.

4 Отбор воды из озер возможен в объеме, не превышающем перетока пресных вод из озер в море. В средний по водности год отток из озера Донузлав в море составляет 5,449 млн м^3/год, из озера Сасык-Сиваш – 12 млн м^3/год, а в маловодный год соответственно 1,926 и 6 млн м^3/год.

5 Химический анализ проб воды, взятых в озерах Донузлав и Сасык-Сиваш, показал повышенную минерализацию, что делает использование воды в качестве технической и питьевой невозможным.

6 Оросительная вода данного качества может оказывать неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

7 Для возможного использования воды из данных озер для питьевых и сельскохозяйственных нужд необходимо проведение дополнительных мероприятий по изме-

нению ее качества. Воду из этих озер необходимо опреснять, а для этого нужны дополнительные капиталовложения.

Список использованных источников

1 Водное хозяйство Крыма: история развития, современное состояние / Н. Н. Заволодько [и др.]. – Симферополь: Доля, 2003. – 78 с.

2 Сейтумеров, Э. Э. Роль местного стока в Крыму и пути повышения эффективности его использования / Э. Э. Сейтумеров // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 24–29.

3 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрогеологические характеристики. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым / под ред. М. М. Айзенберга, М. С. Каганера. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 344 с.

4 Экологическая геология Украины: справ. пособие / Е. Ф. Шнюков [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1993. – 407 с.

5 Иванютин, Н. М. Подземные воды Крыма. Проблемы и перспективы использования / Н. М. Иванютин // Таврический вестник аграрной науки. – 2015. – № 2(4). – С. 95–101.

6 Иванютин, Н. М. Влияние антропогенной деятельности на подземные воды Крыма / Н. М. Иванютин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(59). – С. 25–31.

7 Иванютин, Н. М. Возможность использования слабоминерализованных поверхностных и подземных вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения в Крыму / Н. М. Иванютин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 106–111.

8 Состояние качества водной среды и донных отложений озера Донузлав в современный период / С. С. Жугайло, Т. М. Авдеева, М. Н. Пугач, Э. Н. Аджиумеров // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2018. – Т. 1, № 1. – С. 38–45.

9 Протокол Расширенного заседания Технического совета при Государственном комитете по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:lib.knigi-x.ru/23tehnicheskie/791625-1-protokol-rasshirennogo-zasedaniya-nauchno-tehnicheskogo-soveta-pri-gosudarstvennom-komit.php, 2019.

УДК 626.8

Р. Б. Туктаров, В. П. Мельникова, Р. Д. Пасовец, Л. Н. Мазнева, Д. А. Греков, Л. Н. Горностаева
Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ОТКОСОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Целью работы являлось изучение изменений состояния различных облицовочных покрытий оросительных каналов в результате длительной эксплуатации. В работе приведены результаты натурных исследований изменений состояния облицовочных покрытий, а также фильтрационных потерь в различных облицовках магистрального канала Комсомольской оросительной системы Саратовской области. Фильтрационные потери бетонной монолитной облицовки толщиной 0,15 м, уложенной бетоноукладочным комплексом «Рахко» на суглинистые грунты с $K_ф$ *= 0,04 м/сут, для условий подпертой фильтрации составили* q *= 0,01* $м^3$*/сут с 1* $м^2$ *поверхности канала. Облицовки из сборных плит НПВК имели фильтрационные потери, составляющие* q *= 0,06* $м^3$*/сут с 1* $м^2$ *поверхности канала. Самые большие изменения фильтрационных*

потерь происходят в первые годы эксплуатации. После 3–5 лет процесс фильтрации стабилизируется. Монолитная бетонная облицовка с пленкой имела наименьшие фильтрационные потери, равные q = 0,002…0,003 м^3/сут с 1 м^2 поверхности канала.

Ключевые слова: оросительные каналы, магистральные каналы, противофильтрационные облицовки каналов, железобетонные плиты, монолитная бетонная облицовка, бетонопленочная облицовка, фильтрационные потери.

****

R. B. Tuktarov, V. P. Melnikova, R. D. Pasovets, L. N. Mazneva, D. A. Grekov, L. N. Gornostaeva
Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation

EVALUATION OF CHANGES IN THE CONDITION OF IRRIGATION CANAL SLOPE LINING COATINGS UNDER LONG-TERM OPERATION

The aim of the work was to study the changes in the state of various lining coatings of irrigation canals as a result of long-term operation. The results of field studies of changes in the state of lining coatings, as well as filtration losses in various linings of the main canal of the Komsomolsk irrigation system Saratov region are presented. Filtration losses of a monolithic concrete lining with a thickness of 0.15 m, laid by the Rakhko complex on loamy soils with $K_ф$ = 0.04 m/day, for the conditions of the backed filtration were q = 0.01 m^3/day on canal surface 1 m^2. Coatings made of composite PVCU plates had seepage losses of q = 0.06 m^3/day on canal surface 1 m^2. The biggest changes in seepage losses occur in the first years of operation. After 3–5 years, the filtration process is stabilized. A monolithic concrete lining with a film had the smallest seepage losses equal to q = 0.002...0.003 m^3/day on canal surface 1 m^2.

Key words: irrigation canals, main canals, seepage-control canal linings, reinforced concrete slabs, monolithic lining, concrete-film lining, seepage losses.

Протяженность открытой оросительной сети в Саратовской области составляет 1205,7 км, средний износ открытых каналов более 60 %, что приводит в первую очередь к потерям воды из каналов и снижению эффективности их работы [1]. Потери воды из каналов, подпитывая грунтовые воды, способствуют заболачиванию и засолению ценных орошаемых земель, снижают коэффициент полезного действия системы, увеличивают водозабор и соответственно затраты электроэнергии. Для устранения негативных явлений в каналах устраивается противофильтрационная защита в виде различных облицовок.

Натурные исследования, выполненные научно-исследовательскими и проектными организациями в течение многих лет, позволили установить, что основные потери воды из облицованных каналов происходят через деформационные швы и трещины в бетоне [2].

На Комсомольской оросительно-обводнительной системе (КООС) в Саратовской области при строительстве магистрального канала (МК) были заложены опытные участки на изолированных отсеках, оборудованных поверхностными и глубинными марками, реперами, пьезометрическими буровыми скважинами, постами наблюдения за уровнем воды [3, 4].

Определялись фильтрационные потери из необлицованных каналов и облицованных разными конструкциями противофильтрационных облицовок: монолитной бетонной облицовкой с полиэтиленовой пленкой и без нее, сборной облицовкой из предварительно напряженных железобетонных плит (НПК) и железобетонных плит с выпусками арматуры (НПВК), монолитной бетонной облицовкой, построенной бетоноукладочным комплексом «Рахко» [5].

Одновременно осуществлялась оценка состояния облицовки откосов каналов в процессе эксплуатации, в ходе которой проводились натурные обследования на трех

участках. Первый и второй участки находятся на канале, проходящем в выемке, а третий – на канале в полувыемке-полунасыпи.

На каждом участке выбраны учетные делянки длиной до 100 м для изучения деформации облицовки канала. Проводилась инструментальная съемка и съемка трещиноватости путем промеров и картирования. Нивелировка осуществлялась по сетке 1 × 1 м. Замерялись густота (мм/м^2), ширина и глубина трещин (мм), фотографировались варианты опытов.

Первый участок длиной 50 м и шириной 5 м расположен на левом берегу МК (ПК 298). Крепление выполнено железобетонными плитами размером 2,55 × 5 м, швы заполнены раствором. Плиты уложены на подстилающий грунт, представленный суглинком. На данном участке наблюдаются разрушения швов и стыков плит, во многих местах раствор вымыт из межплитного пространства (рисунок 1).

Рисунок 1 – Состояние межплитных швов и облицовки канала на первом участке, 2018 г.

На поверхности плит наблюдаются каверны, разрушения. В местах разрушения плит и их стыков прорастает травянистая и кустарниковая растительность.

На втором участке длиной 100 м и шириной 5 м, который находится на правом берегу МК (ПК 300 + 57), крепление откосов выполнено монолитной бетонной облицовкой. Строительные швы выполнены через 5,0 м. По всей длине второго участка отмечается непрерывная трещина, расположенная параллельно бровке канала и ниже ее на 2,1 м. В строительных швах бетонной облицовки, расположенных через 5 м, также наблюдаются трещины и разрушения (рисунок 2).

Рисунок 2 – Непрерывная продольная трещина, параллельная бровке канала, на втором участке, 2018 г.

Раскрытие трещин в основном составляет 6–8 мм при плотности трещин 442 мм/м^2 (что превышает предельно допустимую величину, по данным М. А. Лазарева равную 80 мм/м^2) с глубиной раскрытия 5 мм [6].

Третий участок заложен на левом берегу МК, ПК 320. Крепление откосов выполнено бетонной облицовкой. Длина участка 50 м, ширина 4 м. Поверхность облицовки имеет много шелушений, каверн, разрушений. Строительные швы зафиксированы через 2,0–2,5 м. Отмечено восемь поперечных трещин, проходящих по всей ширине участка наблюдения, равной 4 м. В начале участка параллельно бровке канала, ниже ее на 1,8–2,0 м проходит непрерывная продольная трещина длиной 8 м. Ширина раскрытия трещины 5–8 мм, плотность трещин 390 мм/м^2, что значительно больше допустимого значения 80 мм/м^2.

В результате исследований установлено, что наименьшие фильтрационные потери имела бетонная монолитная облицовка толщиной δ = 0,15 м, уложенная бетоноукладочным комплексом «Рахко» на суглинистые грунты с $К_ф$ = 0,04 м/сут, и для условий подпертой фильтрации фильтрационный расход составлял q = 0,01 м^3/сут с 1 м^2 поверхности канала. Фильтрационные воды за 5 сут достигли уровня грунтовых вод (УГВ), который находился на глубине 15 м. Влияние фильтрационных вод на УГВ зафиксировано на расстоянии 1 км от канала, и за поливной сезон поднятие УГВ составило 0,5 м [3].

Облицовки из сборных плит НПВК имели фильтрационные потери, составляющие q = 0,06 м^3/сут с 1 м^2 поверхности канала. Самые большие изменения фильтрационных потерь происходят в первые годы эксплуатации, после 3–5 лет процесс фильтрации стабилизируется.

Полевые исследования показали, что полимерные пленки в конструкциях облицовок существенно уменьшают фильтрационные потери. Монолитная бетонная облицовка с пленкой имеет фильтрационные потери, равные q = 0,002…0,003 м^3/сут с 1 м^2 поверхности канала.

В ходе исследований установлены причины низкой противофильтрационной эффективности крепления канала плитами НПК на полиэтиленовой пленке: частые повреждения пленки ребрами плит и самими плитами при строительстве, несовершенные конструкции швов, неплотное прилегание плит к грунтовой основе и образование подплитного пространства между плитами и грунтом, которое быстро заполняется водой, свободно поступающей ко всем повреждениям в пленке, и дает большие фильтрационные потери. В конструкциях облицовки из плит НПК по полиэтиленовой пленке наблюдаются большие фильтрационные потери: q = 0,014 м^3/сут с 1 м^2 поверхности канала. Наблюдения за трещинообразованием в облицовках из монолитного бетона и плит НПК и НПВК показали, что для облицовок из монолитного бетона характерно образование продольных трещин (рисунок 3). Образование продольных трещин уменьшается в монолитных облицовках при наличии под облицовкой пленки.

Рисунок 3 – Образование продольных трещин в бетонной облицовке магистрального канала КООС, 2018 г.

Наиболее интенсивное развитие продольных трещин в облицовке каналов наблюдалось на 3-й год эксплуатации каналов, а на 4–6-й год процесс образования трещин стабилизировался (рисунок 4) [4].

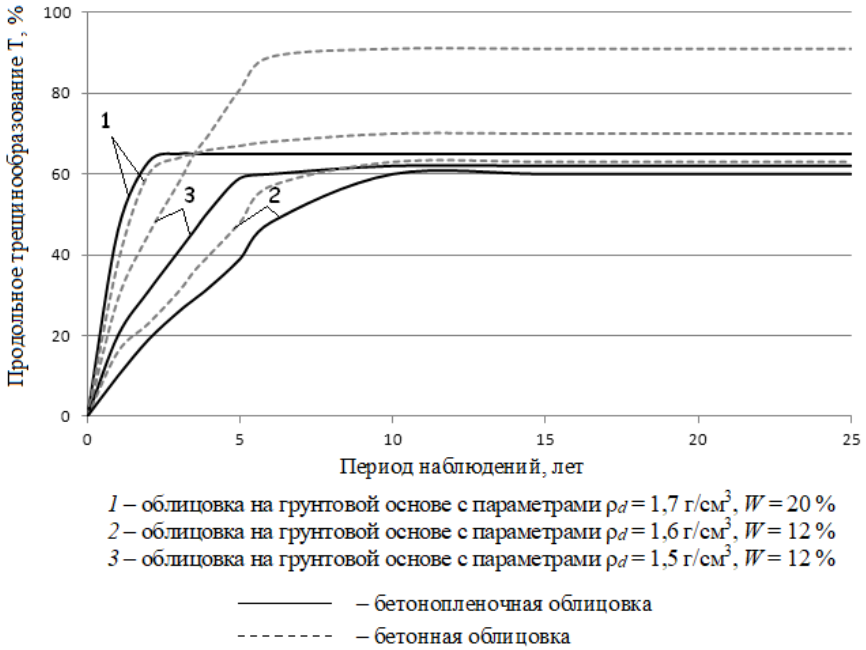


Рисунок 4 – График зависимости трещинообразования в облицовках каналов в период наблюдений

На основании проведенных исследований установлено, что в облицовках из плит образуется в несколько раз меньше трещин, чем в облицовках из монолитного бетона или железобетона. Но наличие даже незначительных трещин в плитах облицовки достаточно для того, чтобы подплитное пространство через трещины и швы заполнялось водой, что приводит к значительным фильтрационным потерям.

Таким образом, противофильтрационные мероприятия должны выбираться с таким расчетом, чтобы обеспечить необходимую водонепроницаемость грунта канала, достаточную прочность и долговечность конструкции, устойчивость ее к воздействию температур и разрушительному действию сорной растительности.

Список использованных источников

1 Панкова, Т. А. Материалы, применяемые для облицовки оросительных каналов / Т. А. Панкова, С. С. Орлова, С. В. Затинацкий // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3(59). – С. 202–206.

2 Теория определения параметров противофильтрационных облицовок оросительных каналов: метод. рекомендации / В. В. Карпунин, А. Г. Алимов, В. Г. Абезин, Ю. М. Косиченко. – Волгоград: ПНИИЭМТ, 1999.

3 Костин, Б. И. Обобщить инженерно-геологические процессы на магистральном канале Комсомольской ООС и разработать мероприятия по эксплуатационной надежности откосов / Б. И. Костин. – Энгельс: ВолжНИИГиМ, 1989.

4 Чернышевская, Л. Е. Оптимизация водосберегающих конструкций каналов оросительных систем с учетом грунтового основания: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Чернышевская Л. Е. – Киев, 2006.

5 Исаенко, В. И. Комсомольская оросительная система / В. И. Исаенко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1997. – № 6. – С. 19–20.

6 Лазарев, М. А. Оценка качества поверхности облицовок / М. А. Лазарев // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 7. – С. 38–39.

УДК 556.51

Ш. Я. Пулатов, Б. Аллаерзода
Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемура, Душанбе, Республика Таджикистан
С. С. Саидумаров
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан, Душанбе, Республика Таджикистан

СОСТОЯНИЕ БАССЕЙНА РЕКИ ЗЕРАВШАН И ПУТИ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ

Изложены результаты исследований, посвященных изучению состояния бассейна реки Зеравшан, проанализированы природно-климатические факторы, влияющие на процесс формирования и использования речного стока. Определены водопотребители и водопользователи, а также даны некоторые их характеристики. Приведены результаты, определяющие проблемы водного сектора, и рекомендованы различные мероприятия по их устранению.

Ключевые слова: интегрированное управление, водные ресурсы, водопользователи, гидротехнические сооружения, мелиоративные мероприятия.

****

Sh. Ya. Pulatov, B. Allaerzoda
Tajik Agrarian University named Shirinsho Shotemur, Dushanbe, Republic of Tajikistan
S. S. Saidumarov
Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

THE ZERAVSHAN RIVER BASIN CONDITIONS AND WAYS TO IMPROVE IT

The results of research devoted to the study of the Zeravshan river basin state are presented, natural and climatic factors affecting the formation and use of river runoff are analyzed. Water consumers and water users as well as some of their characteristics were identified. The results defining the water sector problems are presented, and various measures for their elimination are recommended.

Key words: integrated management, water resources, water users, hydraulic structures, reclamation measures.

Одной из актуальнейших проблем всего человечества в современных условиях является устойчивое управление природными ресурсами (в особенности водными) и их использование. Водные ресурсы для каждой страны являются основным компонентом национальной безопасности и ключевым фактором социально-экономического развития.

В связи с этим в Республике Таджикистан была принята программа реформы водного сектора на период 2016–2025 гг., основным акцентом которой является внедрение принципов интегрированного управления водными ресурсами в речных бассейнах. Это в основном переход от административно-территориального управления к управлению в пределах гидрологических или гидрографических единиц, таких как бассейны рек. Согласно этому речные системы Республики Таджикистан подразделены на четыре бассейна в качестве управляемых единиц, которыми являются бассейны р. Сырдарья, Кафирниган, Вахш и Пяндж. Но на сегодняшний день выделен еще один речной бассейн – это бассейн р. Зеравшан, который ранее считался суббассейном р. Сырдарьи. На данный момент почти в каждом речном бассейне ведутся работы по созданию бассейновых организаций и бассейновых советов.

Исходя из этого с целью анализа, оценки и изучения водных ресурсов, водопользования, общего состояния и разработки мер по его улучшению мы выбрали объектом исследования бассейн р. Зеравшан.

Зеравшан в переводе с таджикского языка означает «золотоносная». Общая длина реки – 877 км, в т. ч. в Таджикистане 303 км, площадь водосбора – 12,5 тыс. км^2. Из крупных притоков можно отметить р. Фондарью (длина 24,5 км, площадь бассейна 3230 км^2), образованную слиянием р. Ягноб (длина 120 км, площадь бассейна 1650 км^2) и р. Искандердарьи (длина 21 км, площадь бассейна 974 км^2). Основным источником питания р. Зеравшан являются ледники и снежные покровы прилегающей территории. Река Зеравшан берет начало на Зеравшанском леднике (отм. 2800–5500 м), проходит в широтном направлении между высокими хребтами: Туркестанским (отм. 4500 м) на севере и Зеравшанским (отм. 5500 м) на юге, на западе выходит в обширную долину в Узбекистане, где используется в основном на орошение, и заканчивается в соленом пересыхающем озере Денгизкуль [1]. На рисунке 1 показано схематичное расположение бассейна р. Зеравшан.

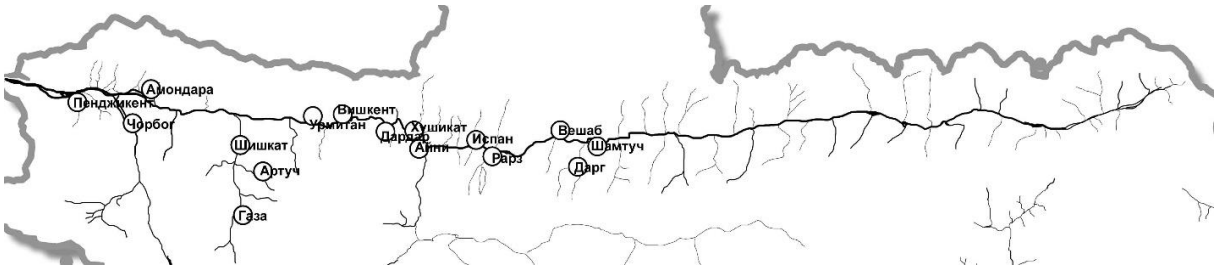


Рисунок 1 – Схема бассейна р. Зеравшан

По оценкам исследователей [2], годовой сток основных рек бассейна Зеравшана следующий: Зеравшан: кишлак Худгиф – 1,09 км^3, пост Дупули – 4,87 км^3; Фондарья (кишлак Пете) – 1,7 км^3; Магияндарья (кишлак Суджина) – 0,253 км^3. Среднемноголетний расход реки на выходе из гор в долину равен 190 м^3/с, сток 6,0 км^3/год. На территории Таджикистана р. Зеравшан протекает по трем административным районам: Горно-Матчинский, Айнинский и Пенджикентский.

Природно-климатические показатели в бассейне р. Зеравшан зависят также от абсолютной высоты, формы и экспозиции склонов гор. Здесь сформировались несколько климатических поясов, отчего весь бассейн имеет ярко выраженную вертикальную поясность. Между западной предгорной частью и восточной высокогорной имеются резкие климатические различия. Положением долины в глубине материка объясняются засушливость и значительные годовые и суточные колебания температуры воздуха и почвы, особенно в ее западной части. Среднегодовая температура воздуха с увеличением высот с запада на восток и с подножий гор к гребням хребтов колеблется от 12,4 °С в Пенджикенте до минус 1,9 °С на Анзобском перевале. Влажные атмосферные массы проникают с юга и запада долины, поэтому на западе осадков выпадает относительно больше (315 мм, Пенджикент), чем в средней части долины (Сангистон, всего 194 мм). Именно поэтому влаголюбивые виды растений следует размещать на юге и западе региона (Пенджикентский и Айнинский районы) на орошаемых землях, поскольку естественная влагообеспеченность растений в период с июня по октябрь недостаточна (10–15 мм), по всей Зеравшанской долине за этот период осадков выпадает всего лишь 35 % от годовой нормы. Это требует развития ирригации в долине. Средняя скорость ветра в холодное время года гораздо выше, чем в теплое, и составляет в январе на перевалах 6–8 м/с, в долине – 3–5 м/с.

Почвы и их состав в зависимости от особенностей рельефа и климата меняются от подножий к вершинам гор. На равнинах и поймах на высотах 800–1500 м сформированы обыкновенные и темные сероземы, на высотах 1500(1600)–2600(2800) м – светло-коричневые карбонатные почвы, выщелоченные почвы арчовых лесов, на высотах 2600(2800)–4000(4500) м – высокогорные лугово-степные, степные и болотно-торфяные почвы. Сероземные почвы бедны гумусом (0,65–2,2 %), но при применении

поливов и минеральных удобрений на них можно получать хорошие урожаи сельскохозяйственных культур. На этих почвах в древнее время и средние века произрастали травянистые кустарниковые и древесные растения. Ныне под воздействием хозяйственной деятельности человека кустарники и леса почти повсеместно уничтожены, что приводит к образованию селевых потоков, паводков и сходу снежных лавин, деградации земель, огромному материальному ущербу и гибели людей.

Запасы подземных вод характеризуются Пенджикентским и Фильмандарским месторождениями и равны 79,25 тыс. м^3/сут. Суммарный объем воды, забираемый из подземных источников, составляет 10,48 млн м^3/год, или 36 % от их общих запасов.

В горной части бассейна Зеравшана имеется 60 озер общей площадью 9,18 км^2. Наибольшее количество озер находится в бассейне Искандердарьи, Кштута и Магиандарьи, из них наибольшим является озеро Искандеркуль (3,39 км^2). Многие озера до сих пор являются не изученными.

В бассейне р. Матча площадью 179,21 км^2 насчитывается 587 ледников, в бассейне р. Фон-Ягноб площадью 133,29 км^2 – 460, а в бассейнах левых притоков Зеравшана (Кштута и Магияна) площадью 43,26 км^2 – 174 ледника. Всего насчитывается 1227 ледников общей площадью 655,76 км^2, что составляет 6,4 % территории бассейна. Объем ледников в бассейне р. Матча составляет 27 км^3. По материалам космической фотосъемки, в бассейне р. Зеравшан имеется 892 ледника и в них аккумулировано 36,9 км^3 водных ресурсов.

Особенности расположения ледников в бассейне р. Зеравшан влияют на образование селей и наводнений. По прогнозным данным Таджикгидромета, в бассейне р. Зеравшан за пятьдесят лет растают сотни ледников площадью менее 1 км^2 и толщиной менее 60 м. Более крупные ледники потеряют 20–30 % своей массы, а площадь оледенения к 2050 г. уменьшится на 20–25 %, объем льда – на 30–35 %, в результате ледниковый сток, вероятно, сократится почти вдвое. Сели в бассейне р. Зеравшан имеют дождевой (преимущественно), снеговой, ледниковый, смешанный, иногда градовый, запрудный генезис и составляют 6,5 % всех зарегистрированных селевых потоков и наводнений республики. Сходы снежных лавин вызывают краткосрочные сели и наводнения, перекрывают не только боковые ущелья, но и русла р. Матча, Фандарья, Ягноб, Паструд, Сарытаг, Кштут и Магияндарья, вследствие чего образуются временные прорывоопасные водоемы. Сели по своему составу бывают грязекаменные, водно-каменные и грязевые. На западе долины сели начинаются в марте-апреле, далее – в мае-июне, переходя на восток и в бассейн р. Фандарьи, на западе они начинаются в марте-апреле, после чего в мае-июне фиксируются в Фолгаре, Матче и на Фан-Ягнобе. Сели и наводнения наносят большой ущерб всем отраслям экономики и окружающей среде, приводят к человеческим жертвам.

Река Зеравшан характеризуется относительно чистыми водами гидрокарбонатного характера с преобладанием ионов кальция. Бассейн Зеравшана большей частью расположен на незасоленных почвах. Т. Салимов утверждает, что р. Зеравшан в верховьях мало подвержена антропогенному влиянию. По данным постов Хушекат и Дупули, воды в верховьях р. Зеравшан слабо минерализованы (среднегодовые концентрации составили 220–230 мг/л, в т. ч. сульфаты – 40 мг/л, хлориды – 2 мг/л, фенолы отсутствуют, азот нитритный – 0,014 мг/л, растворенный кислород 8,78 мг/л [3]). По ИЗВ (0,4–0,7) воды в верховьях р. Зеравшан, по данным поста Дупули (1988, 1992 гг.), следует отнести к чистым. Осредненная среднегодовая минерализация речного стока за 1984–1992 гг. по этому посту составляет 0,206 г/л.

Река Зеравшан имеет большое экономическое и особенно ирригационное значение. В бассейне р. Зеравшан ведется сельскохозяйственная деятельность с незначительным использованием водных ресурсов. Климатические условия позволяют выращивать зерновые, табак, кормовые травы, рис, сады, виноградники и овощи. Размеры

орошаемых площадей составляют от 7 до 300 га. Водозаборы поливных участков расположены на водотоках с большими уклонами. Основные орошаемые земли с оросительной сетью инженерного типа находятся в Пенджикентском районе. Это Маргидарская, Токсанкяризская и Дамдарьинская ирригационные системы – они расположены на левобережье р. Зеравшан. Данные об орошаемых площадях, водозаборе и использовании воды в бассейне р. Зеравшан приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Орошаемая площадь в бассейне р. Зеравшан

В га

Наименование города и района	Общая площадь	Орошаемая площадь (по состоянию на 01.01.2017)	Орошаемая площадь (по состоянию на 01.01.2018)
Пенджикент	367133	21701	21730
Айни	515820	3268	3275
Горная Матча	368305	3513	3536
Итого	1251258	28482	28541
Примечание – Орошаемые земли района Горная Матча обслуживаются Айнинским государственным управлением мелиорации и ирригации.			

Таблица 2 – Водозабор из источников орошения

В тыс. м^3

Район	Водозабор всего			Водоподача всего		
	план	факт	%	план	факт	%
Пенджикент	159938	187364	117	138090	157835	114
Айни	6980	6378	91	5600	5608	100
Итого	166918	193742	116	143690	163443	114
Источник – Агентство по мелиорации и ирригации при Правительстве Республики Таджикистан, форма 1-ВХ, по состоянию на 01.01.2017.						

По данным земельного кадастра Республики Таджикистан, по состоянию на 01.01.2018 орошаемая площадь в бассейне р. Зеравшан составляет 28541 га. В перспективе площадь орошаемых земель в бассейне Зеравшана согласно «Схеме комплексного использования и охраны водных и земельных ресурсов бассейна Аральского моря» по Таджикистану (раздел «Мелиоративное и водохозяйственное развитие», 1990 г.) должна составлять 31538 га.

Материалы государственного учета использования водных ресурсов (2-ТП (водхоз)) показывают, что основным водопотребителем в Зеравшанской долине является орошаемое земледелие. Его доля в общем водопотреблении составляет в среднем 90 %. Фактический водозабор из источников орошения – 193,742 млн м^3, или 116 % от планового, фактическая водоподача – 163,443 млн м^3, или 114 % от планового. Водозабор на орошение ежегодно снижается: от 332,19 млн м^3/год (1984 г.) до 119,78 млн м^3/год (2008 г.) при орошаемых землях соответственно 22700 и 24584 га.

Данные об обеспечении населения питьевой водой в бассейне р. Зеравшан приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Обеспечение населения питьевой водой в бассейне р. Зеравшан по состоянию на 01.01.2018

Наименование города и района	Общее количество населения, чел.	Количество населения, имеющего доступ к питьевой воде, чел.	Доступность, %
1 Пенджикент	278400	124548	44,7
2 Айни	78200	39583	50,6
3 Горная Матча	23100	8736	37,8
Итого	379700	172867	45,5

Данные таблицы 3 показывают, что из 379700 чел. к питьевой воде имеют доступ всего 172867 чел., что составляет 45,5 %. Остальная часть населения доступа к чистой питьевой воде не имеет, т. е. они непосредственно забирают воду из каналов, арыков и других водоемов.

На данный момент в бассейне р. Зеравшан при поддержке и финансировании Всемирного банка создана рабочая группа, которая занимается вопросом создания бассейновой организации. Ее цель – разработать план перехода на интегрированное управление водными ресурсами, основным принципом которого является внедрение бассейнового плана мониторинга и учета всех видов формирующихся и используемых водных ресурсов. В этом случае часть функций существующих районных и межрайонных институтов будет передана бассейновому органу, который в отличие от райводхозов будет заниматься не распределением водных лимитов, а регулированием с помощью экономических методов водных отношений на основе спроса и предложения на воду.

Ряд авторов утверждает, что основная задача состоит в том, чтобы водопользователь независимо от форм собственности экономически эффективно и экологически безопасно ее использовал. В связи с этим актуальным вопросом в бассейне р. Зеравшан является обеспечение устойчивого водопользования, безопасной эксплуатации водохозяйственного комплекса, защиты населения и объектов экономики от наводнений и другого вредного воздействия вод [4].

В целом, обобщая вышеприведенные данные, можно выделить следующие проблемы водного сектора в бассейне р. Зеравшан:

- сверхлимитное и нерациональное использование водных ресурсов;
- из-за нехватки водоизмерительных приборов затруднен контроль расхода воды;
- развитие орошения земель затруднено из-за слабой инвестиционной поддержки;
- недостаток средств для эксплуатации и технического обслуживания систем водообеспечения;
- ограниченный доступ сельского населения к чистой питьевой воде; системы питьевой воды нуждаются в реконструкции;
- наиболее часто природные катаклизмы проявляются в виде оползней, лавин, селей и наводнений.

Для решения существующих проблем в бассейне р. Зеравшан необходимо провести нижеследующие мероприятия.

1 Приобретение и применение современных приборов и оборудования, необходимых для гидропостов при проведении мониторинга, измерении и анализе качества водных ресурсов.

2 Строительство инженерных плотин и восстановление имеющихся водоемов для регулирования стока и дальнейшего развития гидроэнергетики и рыбного хозяйства.

3 Создание единой информационной системы по водным ресурсам.

4 Реконструкция и модернизация оросительных систем с применением новой техники и технологии использования воды для повышения эффективности использования водных ресурсов.

5 Для преодоления эрозии почв необходимо провести ряд мероприятий, таких как агротехнические, лесомелиоративные, мелиоративно-технические (поперечная вспашка склонов, посевы люцерны и т. д.).

6 Для предотвращения стихийных бедствий, связанных с водой, в бассейне р. Зеравшан необходимо строительство ряда гидротехнических сооружений, важными из них являются акведуки, селедуки, дюкеры, глубинные нанососдерживающие дамбы, руслоукрепительные и селезащитные сооружения, также в опасных местах необходима установка приборов и оборудования для своевременного оповещения населения.

7 При загрязнении водных объектов или выбросах в них загрязняющих веществ, строительстве других сооружений без разрешения уполномоченных государственных

органов и несоблюдении природоохранного законодательства необходимо применять штрафные санкции.

8 Для повышения кадрового потенциала и эффективного выполнения должностных обязанностей необходима материальная поддержка и организация тренинговых курсов.

Список использованных источников

1 Аналитический обзор «Состояние и перспективы интегрированного управления водными ресурсами бассейна реки Зерафшан». Проект ЕС-ПРООН / Я. Пулатов [и др.]; под ред. А. П. Холматова. – 2010. – 95 с.

2 Ирригация в Центральной Азии / Д. Бакнелл [и др.]; Всемирный банк. – Ташкент, 2003. – 44 с.

3 Салимов, Т. О. Управление качеством вод / Т. О. Салимов. – Душанбе, 2001. – 191 с.

4 Саидов, И. И. Проблемы обеспечения гидроэкологической безопасности Зерафшанского речного бассейна / И. И. Саидов, К. З. Олимов // Таджикистан передовая страна в решении глобальных водных проблем: сб. науч. тр. / ГУ «ТаджикНИИГиМ». – Душанбе: Контраст, 2018.

УДК 631.6

В. А. Белов, А. М. Анохин, А. С. Дралина
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

ПРАВОВАЯ ОСНОВА МЕЛИОРАЦИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Мелиорация водных объектов необходима в целях сохранения (охраны) водного объекта и его восстановления, проведения природоохранных мероприятий, а также обеспечения в водных объектах условий для существования и воспроизводства водной и околоводной флоры и фауны. Целью работы является разработка организационно-правовых мероприятий по проведению комплексных мелиораций водных объектов.

Ключевые слова: мелиорация, водопользование, землепользование, природоохранные мероприятия, гидротехнические сооружения.

****

V. A. Belov, A. M. Anokhin, A. S. Dralina
Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

LEGAL BASIS FOR WATER BODIES RECLAMATION

Water bodies reclamation is necessary for water body preservation (protection) and its restoration, for carrying out environmental protection measures, as well as ensuring conditions for the existence and reproduction of aquatic and near-water flora and fauna in water bodies. The aim of the paper is the development of organizational and legal measures to conduct complex reclamation of water bodies.

Key words: land reclamation, water use, land use, environmental measures, hydraulic structures.

Деятельность в области использования и охраны водных объектов не может быть достаточно эффективной без проведения мелиоративных мероприятий. При реализации проектов по мелиорации, восстановлению и охране водных объектов не только задействуются значительные финансовые, материальные и трудовые ресурсы, но и за-

трагиваются интересы различных природопользователей. Для регулирования мелиоративной деятельности необходима соответствующая законодательно-нормативная база.

Водопользование, как и землепользование, имеет широкое распространение и давнюю историю. Сравнивая характеристики, состояние и особенности использования человеком этих двух важнейших компонентов природы, необходимо отметить следующее:

- вода физически более необходима потребителю-человеку, чем почва. Вода непосредственно потребляется человеком как необходимый продукт и как необходимое средство гигиены, тогда как земля-почва является только средством для получения продуктов питания и сырья. Отметим, что воды, являясь средой обитания живых организмов и растительности, также позволяют получать продукты и сырье;

- земля-почва имеет в основном многофункциональное применение (обработка и получение продуктов растениеводства). Вода и водные объекты имеют многофункциональное применение, включая непосредственное водопотребление, использование водных объектов для транспорта, гидроэнергетики, рыболовства, рыбоводства и аквакультуры, рекреаций, технологических объектов, а воды – как технологического сырья и др. При этом одна и та же вода может быть использована многократно и для разных потребительских целей;

- воды и водные объекты обладают значительно большим видовым разнообразием как по качеству, так и по формам и условиям их природного содержания. При их использовании учитываются не только их качественно-количественные показатели, но и весьма широкий спектр условий водопользования;

- наряду с высокой степенью полезности воды, водные объекты могут представлять значительную опасность, т. е., в отличие от земель-почв, человек вынужден не только использовать их, но и предотвращать или ликвидировать последствия вредного их воздействия;

- воды, в отличие от земель-почв, в значительных объемах могут перебрасываться на значительные расстояния от источника. В процессе таких преобразований может быть создана искусственная гидрографическая сеть, по размерам близкая к природным;

- особенностью водных объектов является и то, что проведенное на них, например, мелиоративное мероприятие в одном месте может негативно проявиться на другом, весьма удаленном участке. Мелиоративные мероприятия на земельных участках могут также вызвать негативные последствия в другом месте, но на сравнительно малом удалении от очага воздействия. Мероприятия по регулированию рек на собственной территории могут приводить к конфликтам с государствами, территория которых при этом не затрагивается, что не характерно для мероприятий, проводимых на землях.

Несмотря на отмеченное выше, в земельном законодательстве и практике землепользования более богата палитра мероприятий, осуществляемых с землей, среди которых использование, мелиорация, рекультивация и охрана земель. Водопользование предусматривает только такие действия, как использование, восстановление и охрана водных объектов, т. е. исключается их мелиорация, что нельзя признать правомочным [1].

А ведь мелиорации занимают нишу деятельности, осуществляемую до начала использования, в процессе использования, и решают практические задачи, обеспечивающие сохранение (охрану) водного объекта и его восстановление. Например, река в естественном ее состоянии не может использоваться для судоходства из-за наличия отмелей и мелей или из-за чрезмерной извилистости на отдельных участках. В этом случае до начала использования проводят мелиоративные мероприятия по дноуглублению и спрямлению отдельных участков реки. Мелиорации этих и других участков могут проводиться постоянно или периодически по мере проявления тех или иных неудобств в процессе использования реки в целях сохранения достигнутого ранее или существовавшего ее состояния. И наконец, мелиорации могут проводиться в случае, когда в процессе использования реки возникнет необходимость в проведении природоохранных мероприятий.

Таким образом, законодатель, рассматривая в «водных» законах только вопросы использования, восстановления и охраны водных объектов, упустил такой важный для указанных видов деятельности процесс их мелиораций.

Данный пробел в законодательстве может восполнить специальный закон «О мелиорации вод и водных объектов» по аналогии с законом «О мелиорации земель».

Предлагаемый закон должен устанавливать: правовые основы деятельности в области мелиораций водных объектов; полномочия органов государственной власти, органов управления регионами и органов местного самоуправления по регулированию указанной деятельности; права и обязанности физических и юридических лиц, осуществляющих деятельность в области мелиорации водных объектов.

Закон должен определить цель и задачи мелиораций вод. Предлагаемая их редакция может быть следующей.

Целью мелиораций водных объектов является улучшение и сохранение потребительских свойств и состояния водных объектов.

Основными задачами мелиораций водных объектов являются:

- создание и улучшение условий для эффективного (отраслевого или комплексного) использования природных ресурсов водных объектов при сохранении требуемого уровня качества окружающей среды;
- восстановление и сохранение водных объектов как естественных компонентов природной среды;
- обеспечение в водных объектах условий для существования и воспроизводства водной и околоводной флоры и фауны.

Отдельная глава закона должна быть посвящена определению основных терминов в области мелиораций водных объектов [2].

Целесообразно также в отдельной главе определить место предлагаемого закона в существующем правовом поле. Это тем более важно, что воздействие на мелиорируемый водный объект может прямо или косвенно оказать как позитивное, так и негативное влияние на окружающую среду или затронуть интересы других природопользователей или субъектов правовых отношений.

Отдельная глава закона должна регулировать права собственности и другие права на мелиорированные или мелиорируемые водные объекты или их части, а также на гидротехнические сооружения и объекты, посредством которых осуществляются мелиорации водных объектов.

Здесь, в частности, необходимо уделить внимание проблеме собственности, определяющей мелиорирование «юридически не существующих» и «бесхозных» водных объектов. Юридически водный объект может быть не признан существующим, если он не включен в водный кадастр. Наличие записи в кадастре определяет официальное признание водного объекта. Но это не исключает тем не менее физического отсутствия водного объекта, если таковой на самом деле имеется. Без предварительного определения права собственности и собственника не может вестись речь о мелиорации такого водного объекта. Отметим, что в существующем законодательстве не отрегулированы права собственности на заброшенные и «бесхозные» пруды, а таковые на территории страны имеются, и они могут представлять опасность для окружающей среды и, как правило, нуждаются в мелиорировании или ликвидации.

В соответствии с Водным кодексом, водохозяйственные объекты (водохозяйственные или гидротехнические сооружения) могут принадлежать на правах собственности как физическим, так и юридическим лицам. Например, водохранилища комплексного назначения чаще всего являются собственностью генерального пользования. Но на практике часто остаются бесхозными. Генеральный пользователь водных ресурсов водохранилища стоимость его строительства (в учете основных средств) объединяет со стоимостью гидроузла (исключая водохранилище как отдельный объект). Выпла-

чивая государству налоги и производя плату за воду, потребитель (например, ГЭС) не отвечает за ее качество и за использование водохранилища другими природопользователями. Таким образом, водохранилище остается «бесхозным», что создает проблемы при решении вопросов его мелиорирования [3].

Особое значение имеет законодательно отрегулированный «Порядок проведения мелиораций водных объектов». Отметим, что Водный кодекс предусматривает при использовании водных объектов необходимость осуществлять производственно-технические, мелиоративные, агротехнические, гидротехнические, санитарные и другие мероприятия, обеспечивающие охрану водных объектов. В соответствии с комментарием к Водному кодексу «мелиоративные работы, способствующие охране водных ресурсов, подразделяются на лесную, агротехническую, гидротехническую мелиорацию. Это выращивание древесной и кустарниковой растительности с целью уменьшения поверхностного стока и ослабления процессов эрозии; правильное ведение сельскохозяйственных работ; регулирование водно-воздушного режима почв при возделывании различных сельскохозяйственных культур. К мелиоративным мероприятиям относятся работы в целях предотвращения образования оврагов, оползней, борьба с селями». Однозначно и бесспорно согласиться с вышеприведенным комментарием, как и с комментируемой статьей закона, в полной мере нельзя по причине неточности и неопределенности части применяемых понятий. Но само наличие указаний о необходимости проведения мелиораций при использовании и охране водных объектов заслуживает всяческого одобрения [4].

Указывая на необходимость проведения мелиораций водных объектов, Водный кодекс не рассматривает вопросы их планирования и проведения, проектирования, строительства и эксплуатации водно-мелиоративных объектов и сооружений. Именно эти вопросы должны быть отрегулированы предлагаемым законом.

Особо следует оговорить вопросы проведения мелиоративных работ на водосборах, где, несомненно, сталкиваются водные интересы землепользователей, лесопользователей и пользователей водных объектов. Отметим, что разнополюсность интересов пользователей территориями водосборов и разные их представления о стокорегулировании и использовании стока, о чистоте водосбора, об использовании их природно-ресурсного потенциала, разные требования к их экологии требуют особенно тщательного разграничения действий агро- и гидромелиораторов. В специальной и глубокой проработке нуждаются вопросы мелиорирования водных объектов комплексного назначения, где также сталкиваются различные интересы разных водопользователей [5].

Отдельной главой закона необходимо отрегулировать вопросы проведения мелиораций при восстановлении и охране водных объектов и их экосистем. Именно природоохранные мелиоративные мероприятия чаще всего противоречат интересам водопользователей, и, как правило, водопользователи проявляют «прижимистость» в выделении средств на эти цели.

Отдельная глава закона должна быть посвящена вопросам финансового и ресурсного обеспечения мелиораций водных объектов, чтобы определять источники финансирования мелиораций и условия кредитования мелиоративных проектов.

Вывод. Для регулирования правовой основы предлагается разработать и принять федеральный закон «О мелиорации водных объектов». Выше приведено его примерное описание.

Список использованных источников

1 Мелиорации прудов: монография / В. А. Белов [и др.]; под ред. В. Н. Шкуры; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2013. – 370 с.

2 Водный кодекс Российской Федерации: принят Гос. Думой 12.04.06: одобрен Советом Федерации 26.05.06: подписан Президентом РФ 03.06.06. – М.: Эксмо, 2019. – 64 с.

3 Бринчук, М. М. Теоретические проблемы объекта водных отношений в водном праве России / М. М. Бринчук // Пробелы в российском законодательстве. – М., 2011. – Вып. 6. – С. 136–138.

4 Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 8, т. 2. Современное состояние и перспективы развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса юга России: материалы науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 23–24 сент. 2010 г. / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад.; редкол.: П. А. Михеев [и др.]. – Новочеркасск: Лик, 2010. – 161 с.

5 Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 15, ч. 2. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), г. Новочеркасск, 7–24 нояб. 2017 г. / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2017. – 193 с.

УДК 631.445.52:631.67

А. В. Шевченко, М. В. Власов
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ВТОРИЧНОГО ЗАСОЛЕНИЯ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящей статье рассмотрены процессы вторичного засоления почв на оросительных системах Ростовской области. Проанализированы основные причины намечающегося вторичного засоления почв на оросительных системах, которые могут привести к ухудшению мелиоративного состояния почв. Обнаружена зависимость вторичного засоления почв от глубины залегания уровня грунтовых вод и их минерализации, а также других факторов в условиях эксплуатации оросительных систем. Представлены предложения по эксплуатации орошаемых земель, имеющих потенциальную опасность вторичного засоления.

Ключевые слова: орошение, почва, засоление, оросительная система, грунтовые воды, минерализация.

****

A. V. Shevchenko, M. V. Vlasov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

SOME FEATURES OF THE PROCESS DEVELOPMENT OF THE IRRIGATED SOIL RESALINIZATION ON IRRIGATION SYSTEMS IN ROSTOV REGION

The processes of soil resalinization in the irrigation systems of Rostov region are considered. The main causes of the on-coming soils resalinization on irrigation systems which can lead to a deterioration of soil reclamation state are analyzed. The dependence of the soil resalinization on water table depth and their salinity, as well as other factors under operating conditions of irrigation systems was found. Proposals on the operation of irrigated land with potential risk of secondary salinization are presented.

Key words: irrigation, soil, salinization, irrigation system, groundwater, mineralization.

Введение. Начало развитию орошаемого земледелия в Ростовской области положило сооружение Цимлянского и Веселовского водохранилищ, на базе которых в настоящее время осуществляется полив сельскохозяйственных угодий. Это привело к созданию в долине Дона и его притоков Сала и Маныча крупного продуктивного района орошаемого земледелия. Концентрация значительных по площади орошаемых полей сопровождалась обычными последствиями: подъемом уровня грунтовых вод, ми-

грацией в почвогрунтовой толще легкорастворимых солей, процессами олуговения, заболачивания и обесструктуривания почв. Одной из наиболее широко распространенных причин ухудшения мелиоративного состояния почв мелиоративных систем Ростовской области оказались процессы вторичного засоления, чему во многом способствовало в черноземной зоне глубинное (с 2–4 м) засоление покровных лессовидных суглинков, а в каштановой – высокое залегание (0,3–1,5 м) почвенных солевых горизонтов. На некоторых оросительных системах, например Азовской и Манычской, эти процессы усугублялись использованием для орошения слабоминерализованных (1,5–2,0 г/дм^3) вод [1]. Процессы вторичного засоления орошаемых почв по-разному проявляются в условиях различного гидрогеологического режима и качества применяемых поливных вод.

Анализ имеющихся материалов показал, что в условиях орошения при залегании уровня грунтовых вод глубже 3 м (до 60 % площади орошаемых земель), даже при наличии солевых горизонтов в интервале 1–3 м, вторичного засоления почв с накоплением солей в корнеобитаемом слое не происходит. Насыщение водой засоленных лессовидных суглинков зоны аэрации влечет за собой растворение солей и повышение минерализации верхнего горизонта грунтовых вод. Обычно при содержании солей в почвообразующей породе менее 0,1 % минерализация грунтовых вод при насыщении этих горизонтов не превышает 2 г/дм^3, при содержании солей от 0,25 до 1 % увеличивается до 8–9 г/дм^3. Поэтому по мере подъема уровня грунтовых вод, связанного с пополнением их пресными поливными водами, нередко происходит резкое повышение минерализации и, соответственно, по достижении критических глубин увеличивается опасность вторичного засоления почв [2].

Темпы нарастания вторичного засоления почв зависят не только от глубины залегания и минерализации грунтовых вод, но и от гидравлических напоров, возникающих в приканальных зонах, понижениях, в перепадах высот местности, на участках застаивания и выклинивания почвенно-грунтовых вод по канальным и региональным водоупорам. В этом случае проявлению слабого вторичного засоления почв не препятствует даже низкая минерализация грунтовых вод. Примером может служить накопление легкорастворимых солей в почвах обширной депрессии на первой надпойменной террасе р. Дон (Нижне-Донская оросительная система), где отмечено значительное накопление солей на поверхности почвы (0,6 % по плотному остатку) при слабой минерализации (1,3 г/дм^3) близкозалегающих (1,3 м) грунтовых вод [3]. Разгрузка солевого потока во многом зависит от топографических особенностей местности. Наиболее резко в условиях орошения характер поверхности сказывается при рисосеянии. Наблюдается резкий приток солей в низкие чеки, почвы которых быстро приобретают высокое засоление и нередко превращаются в солончаки. Скорость этих процессов зависит как от перепада отметок между чеками, так и от соотношения размеров местной ирригационной зоны питания и разгрузки потока [4].

Площадь земель с критическим уровнем грунтовых вод (1–2 м), определенно опасных в отношении возможного вторичного засоления почв, составляет до 20 % от площади орошаемых земель, но лишь 10–15 % из них имеют степень токсичного содержания солей, заметно снижающую урожайность сельскохозяйственных культур. Процессы засоления на таких участках стабилизируются крайне быстро, в течение 1–3 лет. Основные очаги быстро прогрессирующего вторичного засоления почв приурочены, как правило, к приканальным зонам природно-засоленных участков либо к пониженим, сменившим режим повышенного поверхностного стока богарных условий (питающие понижения) на режим усиленного грунтового питания, связанного с орошением окружающей территории (дренирующие понижения) [2].

Нередко даже слабое вторичное засоление почв, возникшее в результате развития орошения, сопровождается угнетением биологической активности почв, связанным с нарастанием застойности почвенных и грунтовых вод. В некоторых случаях незасо-

ленные горизонты почв испытывают перестройку гидрохимического состава почвенных растворов, которые приобретают не свойственный им ранее гидрокарбонатно-кальциево-натриевый либо сульфатно-содовый тип химизма. При этом в почвенных горизонтах происходят медленные неблагоприятные изменения коллоидной органоминеральной части. Особенно заметно это при поливе почв слабоминерализованными водами. По данным РосНИИПМ, на землях Азовской оросительной системы под влиянием поливов слабоминерализованными водами происходит осолонцевание и обесструктуривание обыкновенных черноземов [5].

Вывод. Зависимость вторичного засоления почв от глубины залегания уровня грунтовых вод и их минерализации в условиях эксплуатации оросительных систем определяется в основном степенью естественной и искусственной дренированности территории. Поэтому для успешной эксплуатации орошаемых земель, имеющих потенциальную опасность вторичного засоления почв, помимо обеспечения расчетного искусственного дренирования всей территории в целом, необходимо использовать такие конструктивные решения расположения дрен, которые позволят предупредить возникновение локальной безотточности и местной ирригационной напорности.

Список использованных источников

1 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

2 Васильев, С. М. Ретроспективный анализ изменения почвенно-мелиоративных условий орошаемых почв юга Ростовской области / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 3(43). – С. 17–24.

3 Кузьмичёв, А. А. Повышение эффективности работы оросительных систем Ростовской области путем реализации технологии лиманного орошения / А. А. Кузьмичёв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2013. – № 3(11). – С. 54–65. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec193-field6.pdf.

4 Борешевская, О. А. Мелиоративное состояние рисовых чеков в Ростовской области и мероприятия по его улучшению / О. А. Борешевская // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2010. – Вып. 43. – С. 145–148.

5 Способы мелиорации орошаемых солонцовых почв: науч. обзор / Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, Т. В. Усанина, Т. П. Андреева, Е. В. Долина, Э. Н. Стратинская, О. Ю. Шалашова; ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2011. – 73 с. – Деп. в ВИНИТИ 23.05.11, № 245-В2011.

УДК 633.18:581.116.1

Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ РИСА И ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

В данной статье цель исследований – изучить расчетные методы определения эвапотранспирации риса по метеорологическим данным и сравнить результаты расчетов с опытными данными для условий Ростовской области. Использованы результаты полевого опыта в рисовом чеке ООО «Маныч-Агро» и в лизиметрах, установленных на научном полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ». Проанализированы существующие методы расчета эвапотранспирации по метеорологическим данным, и определено,

что наиболее приемлемыми для риса являются методы А. Н. Костякова, Г. К. Льгова, Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика. Эвапотранспирация риса за вегетационный период в опытах с лизиметрами составила 790 мм, а в рисовом чеке – 854 мм. Разница между этими результатами составила всего 8 %, для полевых экспериментов такая разница является несущественной. По формуле Н. Н. Иванова эвапотранспирация с использованием данных метеостанции Багаевская Ростовской области составила 870 мм, а по формуле В. П. Остапчика – 800 мм. Разница между этими значениями и опытными данными, полученными в лизиметрах, находилась в пределах соответственно 9 и 2 %. Для расчетов водопотребности риса по метеорологическим данным с использованием программного обеспечения для Ростовской области наиболее приемлемыми являются методы Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика.

Ключевые слова: метеорологические данные, эвапотранспирация, рис, нормы водопотребности, лизиметры, методы расчета.

****

L. M. Dokuchaeva, R. E. Yurkova
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPUTATIONAL METHODS FOR DETERMINING THE RICE ERAPOTRANSPIRATION AND EXPERIMENTAL DATA

The purpose of the research is to study computational methods for determining the rice evapotranspiration by meteorological data and to compare the calculation results with experimental data for the conditions of Rostov region. The results of the field experiment in the paddy field of OOO "Manych-Agro" and in lysimeters installed at the research site of the Federal state budget scientific establishment "The Russian scientific research institute of land improvement problems" were used. The existing methods for calculating evapotranspiration from meteorological data were analyzed and it is determined that the most suitable for rice methods are those by A. N. Kostyakov, G. K. L'gov, N. N. Ivanov and V. P. Ostapchik. Rice evapotranspiration in the experiments with lysimeters was 790 mm during the growing season and in the rice check it was 854 mm. The difference between these results was only 8 %; which is insignificant for field experiments. According to the formula of N. N. Ivanov, evapotranspiration with the data of the Bagaevskaya meteorological station Rostov region was 870 mm, and according to the formula of V. P. Ostapchik it was 800 mm. The difference between these values and the experimental data obtained in lysimeters was within 9, 2 %, respectively. For the calculation of rice water requirements by meteorological data using software, the methods of N. N. Ivanov and V. P. Ostapchik are the most acceptable for Rostov region.

Key words: meteorological data, evapotranspiration, rice, water requirements, lysimeters, calculation methods.

Введение. Практически все исследования, посвященные установлению нормы водопотребности риса или оросительной нормы, проводились и проводятся с использованием формулы водобалансового типа по В. П. Зайцеву [1–9]. Главной составляющей в этой формуле является эвапотранспирация (*ET*). Методы определения этого показателя эмпирическим путем очень сложны и трудоемки, поэтому предпочтение как в нашей стране, так и за рубежом отдается расчетному методу с использованием метеорологических данных [9–23].

За рубежом проводятся исследования, посвященные оценке эвапотранспирации риса по спутниковым данным [24]. Суть эксперимента: внутри поля устанавливается автоматическая метеорологическая станция с целью сбора данных для расчета потребности сельскохозяйственных культур в воде (в данном случае риса). Для работы используется

программное обеспечение CROPWAT. Для определения величины эвапотранспирации культур в пяти различных местах были установлены невесомые лизиметры. Данные со спутника коррелировали с полевыми данными. В результате выявлено, что спутниковые изображения могут обеспечить полевую информацию для большой площади, а также уменьшить ошибку недостающих данных. Величина эвапотранспирации в лизиметрах колебалась от 3,2 до 5,8 мм/сут, по расчетам – от 3,2 до 5,7 мм/сут, по спутниковым данным – от 4,0 до 6,5 мм/сут. Спутниковые данные NOAA, по мнению авторов, могут быть применены для ежедневного мониторинга использования поливной воды сельскохозяйственными культурами [24].

Все расчетные методы включают климатические показатели, основными из которых являются суммы среднесуточных температур воздуха и дефицитов влажности воздуха за определенный период, скорость ветра. А. А. Черемисинов и А. Ю. Черемисинов, проведя обзор расчетных методов определения эвапотранспирации как отечественных, так и зарубежных авторов, пришли к выводу, что ни один из рассмотренных ими методов не может считаться универсальным и создать такой метод расчета суммарного испарения в настоящее время не представляется возможным [22]. Каждый из них пригоден лишь для конкретных природно-хозяйственных условий зон, для которых получены эмпирические коэффициенты, входящие в эти зависимости, или сами зависимости. Таким образом, выбирая расчетный метод для конкретных условий, рекомендуется использовать собственные эмпирические коэффициенты в наиболее общих и сходных по условиям методах или выводить свой расчетный метод для конкретных условий. При окончательном выборе метода определения суммарного водопотребления (эвапотранспирации) необходимо учитывать простоту его использования и наличие исходных данных для расчета [22].

Цель исследований данной работы – изучить расчетные методы определения эвапотранспирации риса по метеорологическим данным и сравнить результаты расчетов с опытными данными для условий Ростовской области.

Материалы и методы. Суммарное водопотребление, или эвапотранспирация, складывается из транспирации и испарения с почвы или с водной поверхности при возделывании риса. Доли этих показателей в расчетных методах чаще всего не устанавливают, а определяют как единое целое.

Для разработки программного обеспечения для расчета эвапотранспирации риса в рисовых оросительных системах прежде всего следует определиться с формулой расчета этого показателя. Это возможно сделать при сравнительном анализе методов расчета эвапотранспирации по метеорологическим данным и экспериментальных данных, полученных в лизиметрах и непосредственно в полевом опыте на рисовом чеке. Из множества методов расчета эвапотранспирации риса наиболее приемлемыми являются формулы А. Н. Костякова, Г. К. Льгова, Н. Н. Иванова, В. П. Остапчика [7, 12, 16, 17].

В опытах отдельно определялись транспирация и испарение с водной поверхности, являющиеся составляющими эвапотранспирации, или суммарного водопотребления. Опыты с лизиметрами проведены на научном полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ», а непосредственно полевой опыт – в рисовом чеке ООО «Маныч-Агро» Багаевского района. Оба участка идентичны по климатическим условиям и являются репрезентативными для рисосеющих хозяйств Ростовской области [9].

Результаты и обсуждения. Проанализировав существующие методы расчета *ET* по метеорологическим данным, можно отметить, что не все они подходят для расчета водопотребности риса.

Метод теплового баланса [11, 15] сложен из-за его составляющих: количество тепла, идущее на нагревание почвы, турбулентный поток тепла и т. д. Метод водного баланса [11, 25, 26] применяется в случае глубокого залегания уровня грунтовых вод (более 5 м), что неприемлемо для рисовых оросительных систем. Метод определения

суммарного испарения в зависимости от температуры воздуха [27] ограничен в применении из-за присутствия постоянного модуля испарения, который не отражает его зависимости от влажности почвы и других условий.

Д. А. Штойко [18] предложил биофизический метод, который включает расчеты по двум зависимостям. Недостатком этого метода является скачкообразный переход от одной зависимости к другой, что, видимо, дает погрешность и не учитывает биологические особенности орошаемых культур, в т. ч. риса.

Биоклиматический метод расчета суммарного испарения по дефицитам влажности воздуха [14, 25] требует расчетов коэффициентов биологической кривой растения, которые сильно изменяются как в пространстве, так и во времени. Зарубежные методики определения суммарного испарения насыщены сложными для установления показателями [19, 20, 28, 29].

Для определения эвапотранспирации риса наиболее подходящими являются методы А. Н. Костякова [17], Г. К. Льгова [12], Н. Н. Иванова [16], В. П. Остапчика [7].

Опытные данные об эвапотранспирации в каждой фазе развития риса представлены на рисунке 1, из данных которого видно, что наибольшие колебания эвапотранспирации риса по фазам развития наблюдаются в рисовом чеке.

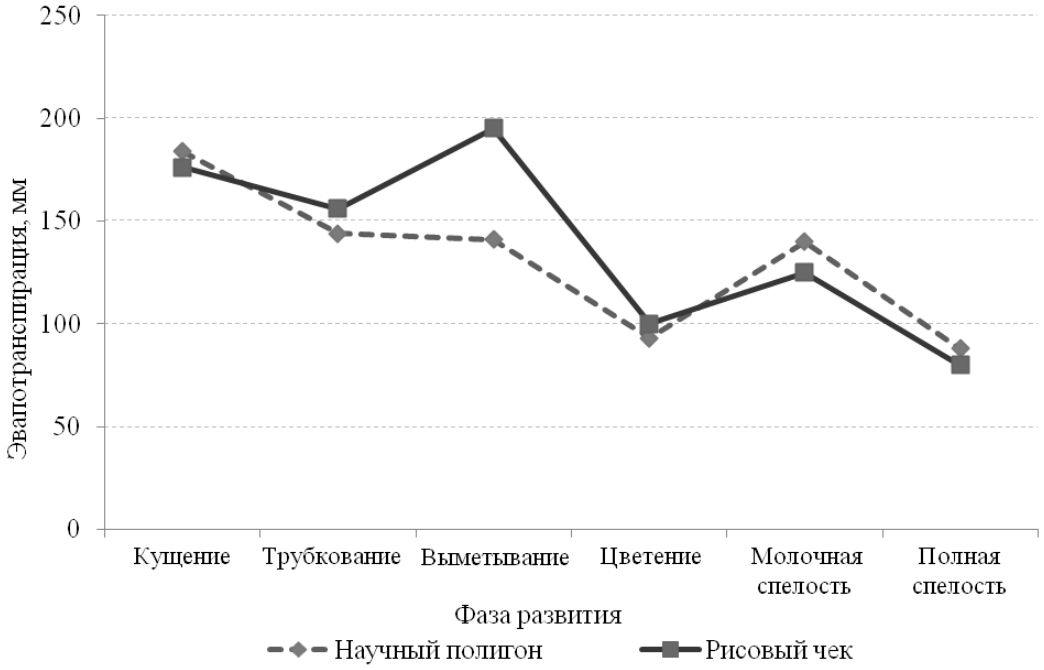


Рисунок 1 – Опытные данные об эвапотранспирации в каждой фазе развития риса

В целом за весь вегетационный период эвапотранспирация риса в опытах с лизиметрами составила 790 мм, а в рисовом чеке 854 мм. Разница между этими результатами составила всего 8 %, для полевых экспериментов такая разница является несущественной. Сравнительный анализ расчетных методов установления эвапотранспирации (результатов расчета по нашим метеорологическим данным) и результатов экспериментов представлен в таблице 1.

Данные таблицы 1 показывают, что в случае расчетов водопотребности риса по метеорологическим данным с использованием программного обеспечения для Ростовской области наиболее приемлемыми являются методы Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика [30]. Эвапотранспирация по формуле Н. Н. Иванова с использованием данных метеостанции Багаевская Ростовской области составила 870 мм, а по формуле В. П. Остапчика – 800 мм. Разница между этими значениями и опытными данными, полученными в лизиметрах, находилась в пределах соответственно 9 и 2 %.

Таблица 1 – Сравнительный анализ расчетных методов определения эвапотранспирации и экспериментальных данных

Метод расчета	Формула расчета	Эвапотранспирация, мм
А. Н. Костякова [16]	$ET = K_{В} \times У$, где ET – эвапотранспирация, м^3/га; $K_{В}$ – коэффициент потребления воды на единицу урожайности, м^3/т; У – расчетная урожайность сельскохозяйственных культур, т/га	680
Г. К. Льгова [11]	$ET = 1{,}88 \times \sum t$, где $\sum t$ – сумма среднемесячных температур воздуха за расчетный период, °С	344
Н. Н. Иванова [15]	$ET = 0{,}0018 \times (100 - f) \times (25 + t)^2 \times 0{,}8$, где f – относительная влажность воздуха, %; t – среднемесячная температура воздуха, °С	870
В. П. Остапчика [6]	$E + T = 0{,}3 \cdot n_3 \cdot d_o (24{,}5 + w_0)$, где n_3 – количество суток постоянного затопления, сут; d_o – недостаток насыщения воздуха, средний за расчетный период, мбар. Расчет недостатка насыщения воздуха проводится по формуле [12]: $d_o = l_o \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a)$, где l_o – упругость насыщенного пара при температуре *t*, мбар: $l_o = 0{,}0175 \cdot t^2 + 0{,}3035 \cdot t + 3{,}9952$; a – относительная влажность воздуха, %; w_0 – средняя за расчетный период скорость ветра на высоте 9 м, м/с: $w_0 = 0{,}029 \cdot h_ф^2 - 0{,}0723 \cdot h_ф + 1{,}4059$. При расчетах используются данные ближайших метеостанций	800
Полевые опыты: в лизиметрах в рисовом чеке	По данным наблюдений (замеров)	790 854

Эвапотранспирация, рассчитанная по методу Г. К. Льгова, составила всего 344 мм. Это почти в 2,5 раза меньше по сравнению с опытными данными, что связано, как и подчеркивали А. А. Черемисинов и А. Ю. Черемисинов, с игнорированием биологических особенностей орошаемых культур.

Выводы

1 Проанализировав существующие методы расчета эвапотранспирации по метеорологическим данным, можно отметить, что не все они подходят для риса. Наиболее приемлемыми являются методы А. Н. Костякова, Г. К. Льгова, Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика.

2 За вегетационный период эвапотранспирация риса в опытах с лизиметрами составила 790 мм, а в рисовом чеке – 854 мм. Разница между этими результатами соста-

вила всего 8 %, для полевых экспериментов эта разница несущественна. Эвапотранспирация по формуле Н. Н. Иванова с использованием данных метеостанции Багаевская Ростовской области составила 870 мм, а по формуле В. П. Остапчика – 800 мм. Разница между этими значениями и опытными данными, полученными в лизиметрах, находилась в пределах соответственно 9 и 2 %.

3 Сравнительный анализ показал, что при расчетах водопотребности риса по метеорологическим данным с использованием программного обеспечения для Ростовской области наиболее приемлемыми являются методы Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика.

Список использованных источников

1 Зайцев, В. Б. Рисовая оросительная система / В. Б. Зайцев. – М.: Колос, 1975. – 351 с.

2 Тулякова, З. Ф. Рекомендации по составлению хозяйственных планов водопользования для рисовых систем / З. Ф. Тулякова, Н. Ф. Чередниченко, Т. И. Шульга. – Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1981. – 33 с.

3 Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов (утв. Приказом МПР РФ от 30.11.2007 № 314) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:garant.ru/products/ipo/prime/doc/2063817/, 2018.

4 Харченко, С. И. Основы методов определения режима орошения / С. И. Харченко, А. С. Волков. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1979. – 55 с.

5 Семененко, А. Н. Методика определения расчетного режима орошения и сброса, статей оросительной нормы и гидромодулей рисовых оросительных систем / А. Н. Семененко, В. В. Шатилов. – Краснодар: Кубаньгипроводхоз, 1972. – 52 с.

6 Оросительная норма и гидромодуль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:life-prog.ru/1_9013_orositelnaya-norma-i-gidromodul-risa.html, 2018.

7 Методические указания по созданию системы норм водопотребности и водоотведения в орошаемом земледелии. – Минск: ЦНИИКИВР, 1984. – 129 с.

8 Тулякова, З. Ф. Рис на засоленных землях / З. Ф. Тулякова. – М.: Колос, 1978. – 240 с.

9 Балакай, Г. Т. К вопросу разработки норм водопотребности риса и водоотведения с рисовых оросительных систем / Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 3(31). – С. 1–22. – Режим доступа: rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=557.

10 Расчет испарения по эмпирическим формулам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:helpiks.org/8-4491.html, 2018.

11 Константинов, А. Р. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточнения / А. Р. Константинов, Э. А. Струнников // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 1. – С. 19–28.

12 Льгов, Г. К. Орошаемое земледелие / Г. К. Льгов. – М.: Колос, 1979. – 191 с.

13 Харченко, С. И. Гидрология орошаемых земель / С. И. Харченко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 375 с.

14 Алпатьев, С. М. Методика расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур на основе биоклиматического метода для Европейской части СССР с применением ЭВМ / С. М. Алпатьев. – Киев: ММВХ СССР, 1973. – 9 с.

15 Мезенцев, В. С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В. С. Мезенцев, И. В. Карнацевич. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 168 с.

16 Иванов, Н. Н. Об определении величин испаряемости / Н. Н. Иванов // Известия ВГО. – 1954. – Т. 86, № 2. – С. 189–196.

17 Костяков, А. Н. Основы мелиорации: учеб. пособие / А. Н. Костяков. – 3-е изд., испр. и доп. – М.; Л.: Гос. изд-во колхоз. и совхоз. лит., 1933. – 887 с.

18 Штойко, Д. А. Нормативы проектирования режимов орошения сельскохозяй-

ственных культур и гидромодуля в условиях интенсивного использования орошаемых земель / Д. А. Штойко // Орошаемое земледелие в ЕЧ СССР. – М.: Колос, 1965. – С. 171–185.

19 Penman, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass / H. L. Penman // Proc. R. Soc., London (A). – 1948. – Vol. 193. – P. 120–145.

20 Пенман, Х. Л. Растение и влага / Х. Л. Пенман: [пер. с англ.]. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 161 с.

21 Ольгаренко, В. И. К вопросу о модели определения эвапотранспирации с учетом изменчивости гидрометеорологических факторов / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. Иг. Ольгаренко // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2017. – № 4. – С. 9–14.

22 Черемисинов, А. А. Обзор расчетных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных земель / А. А. Черемисинов, А. Ю. Черемисинов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 1(21). – С. 113–133. – Режим доступа: rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec397-field6.pdf.

23 Щедрин, В. Н. Математические методы прогнозирования в мелиорации / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. М. Игнатьев // Современное состояние и приоритетные направления развития аграрной экономики в условиях импортозамещения: материалы междунар. науч.-практ. конф., 17 февр. 2016 г. – Персиановский: Донской ГАУ, 2016. – С. 151–158.

24 Amin, M. S. M. Rice evapotranspiration estimation using satellite data [Electronic resource] / M. S. M. Amin, S. M. H. Hassan. – Mode of access: hobbydocbox.com/67533606-Photography/Rice-evapotranspiration-estimation-using-satellite-data.html, 2018.

25 Алпатьев, А. М. Влагообороты в природе и их преобразования / А. М. Алпатьев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 323 с.

26 Черемисинов, А. Ю. Динамика климата, водных балансов и ресурсов Центрального Черноземья: монография / А. Ю. Черемисинов, В. Н. Жердев, А. А. Черемисинов. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2013. – 326 с.

27 Шаров, И. А. Эксплуатация гидромелиоративных систем / И. А. Шаров. – М.: Сельхозгиз, 1959. – 448 с.

28 Allen, R. G. Evaluation of a temperature difference method for computing grass reference evapotranspiration. Report submitted to UN-FAO Water Resources Development and Management Service, Land and Water Dev. Div. / R. G. Allen. – Rome, 1992. – 50 p.

29 Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia / F. H. S. Chiew, N. N. Kamadalasa, H. M. Malano, T. A. McMahon // Agric. Water Management. – 1995. – Vol. 28. – P. 9–21.

30 Прогр. для ЭВМ 2018664402. Расчет эвапотранспирации риса в рисовых оросительных системах / Васильев С. М., Балакай Г. Т., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Гонзалез-Гальего М. Р., Нецепляев Д. А. – № 20186662213; заявл. 02.11.18; опубл. 16.11.18.

УДК 631.675

В. А. Шадских, В. Е. Кижаева, О. Л. Рассказова
Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫЙ ПОЛИВНОЙ РЕЖИМ В СИСТЕМЕ ОРОШАЕМЫХ СЕВООБОРОТОВ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ПОВОЛЖСКОГО РЕГИОНА

Статья посвящена актуальным вопросам развития земледелия на орошаемых землях. Целью исследований являлось изучение использования интенсивного и ресурсосбе-

регающего режимов орошения при возделывании сельскохозяйственных культур. Приведены результаты полевых исследований, посвященных формированию основных показателей роста и развития растений в орошаемых севооборотах. Выявлено преимущество ресурсосберегающего режима орошения, при котором показатели чистой продуктивности фотосинтеза посевов сохраняются на высоком уровне (3,05–5,76 г/(м^2·сут) у культур зернотравяного севооборота и 3,53–3,98 г/(м^2·сут) у культур травяного севооборота). Как показали результаты опытов, наивысшая продуктивность орошаемых культур достигается при интенсивном режиме орошения (5,62 т к. е./га в зернотравяном севообороте, 7,09 т к. е./га и 6,50 т з. е./га в травяном севообороте). Однако применение ресурсосберегающих экологически обоснованных поливных режимов сельскохозяйственных культур в орошаемых севооборотах повышает эффективность использования водных ресурсов, предотвращает развитие водной эрозии, способствует сохранению почвенного плодородия и созданию благоприятного экологического состояния мелиоративных агроландшафтов без существенной потери урожайности.

Ключевые слова: мелиорация, режим орошения, плодородие, севообороты, коэффициент водопотребления, продуктивность фотосинтеза, продуктивность орошаемых культур, экология агроландшафтов.

****

V. A. Shadskikh, V. E. Kizhaeva, O. L. Rasskazova
Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation

ENVIRONMENTALLY SOUND IRRIGATION REGIME IN IRRIGATED CROP ROTATION SYSTEM IN THE DRY-STEPPE ZONE OF VOLGA REGION

The article is devoted to the urgent issues of agricultural development of irrigated lands. The aim of the research was to study the use of intensive and resource-saving irrigation regimes in crop production. The results of field studies on the formation of main indicators of plant growth and development in irrigated crop rotations are given. The advantages of the resource-saving irrigation regime where the net productivity of crops photosynthesis remained at a high level (3.05–5.76 g/(m^2·day) in grain-grass crop rotation and 3.53–3.98 g/(m^2·day) for grass crop rotation) were revealed. As the results of experiments show, the highest productivity of irrigated crops is achieved under the intensive irrigation regime (5.62 tons feed units/ha in grain-grass crop rotation, 7.09 tons feed units /ha and 6.50 tons grain units/ha in grass crop rotation). However, the use of resource-saving environmentally sound irrigated regimes of agricultural crops in irrigated crop rotations increases the efficiency of water use, prevents the development of water erosion, contributes to soil fertility conservation and the creation of a favorable ecological state of reclamation cultivated lands without significant loss of yield.

Key words: land reclamation, irrigation regime, fertility, crop rotation, evapotranspiration ratio, photosynthesis productivity, irrigated crops productivity, ecology of cultivated lands.

Введение. Функционирование мелиоративных систем оказывает прямое влияние на эколого-мелиоративное состояние агроландшафтов. Экологический подход к мелиорации земель служит основой рационального земледелия, делает возможной длительную эксплуатацию оросительных систем и гидротехнических сооружений [1].

В сухостепной зоне производство продукции земледелия без дополнительного увлажнения невозможно, в степных зонах ирригация является важнейшим условием получения гарантированных урожаев. Затраты на ведение орошаемого земледелия в 3–5 раз выше, чем на богарных землях, но и отдача поливного гектара выше, чем неорошаемого [2].

Орошение в условиях сухостепной зоны Поволжского региона является одним из основных приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и

стабилизации сельскохозяйственного производства [3]. Однако отсутствие ландшафтного подхода при проектировании и эксплуатации объектов мелиорации, низкая культура земледелия с нарушением агротехнических приемов землепользования, а также нерациональные режимы орошения приводят к снижению плодородия и деградации значительных площадей орошаемых земель [4, 5].

В основе ресурсосберегающих технологий сельхозпроизводства на орошаемых землях лежат научно разработанные экологически обоснованные режимы орошения, обеспечивающие поддержание оптимальной влажности в корнеобитаемом слое в зависимости от вида культур и фазы их развития [6, 7].

Одним из наиболее действенных методов экономии оросительной воды является применение оптимальных режимов орошения сельскохозяйственных культур, дифференцированных по предполивному порогу влажности и расчетной глубине увлажняемого слоя почвы в зависимости от периода роста и развития растений, а также в тесной увязке с климатическими и почвенными условиями [7, 8].

Материалы и методы. Исследования проводились в Энгельсском районе Саратовской области в севооборотах на полях ООО «Березовское» и опытно-производственном хозяйстве ВолжНИИГиМ в 2014–2018 гг. Проведена сравнительная оценка показателей роста и развития растений в севооборотах при интенсивном и ресурсосберегающем режимах орошения.

Севообороты представлены следующими культурами. Зернотравяной севооборот: 1) яровая пшеница + многолетние травы; 2) многолетние травы; 3) многолетние травы; 4) озимая пшеница; 5) соя. Травяной севооборот: 1) вика и овес + многолетние травы; 2) многолетние травы; 3) многолетние травы; 4) многолетние травы.

Наблюдения в опытах проведены в соответствии с общепринятыми методиками [9, 10].

При расчете режима орошения и экологически безопасных поливных и оросительных норм применялось уравнение водного баланса, учитывающее в обобщенном виде агроклиматические особенности территории, биологические особенности возделываемых сельскохозяйственных культур, свойства почв, гидрогеологические условия орошаемого поля, способы и технику полива:

$$M = E + Va - P \cdot \alpha - G,$$

где M – оросительная норма, мм;

E – суммарное водопотребление, мм;

Va – запас влаги в активном слое почвы, мм;

P – атмосферные осадки, мм;

α – коэффициент использования осадков, %;

G – капиллярный приток из грунтовых вод, мм.

Режим орошения дифференцировали по фазам развития сельскохозяйственных культур. При дифференциации режимов орошения сельскохозяйственных культур первостепенное значение имеет установление оптимальной оросительной нормы, т. е. количества воды, необходимой для полива определенной культуры за весь вегетационный период в расчете на 1 га [11].

Интенсивный и ресурсосберегающий режим орошения в опытах приведен в таблице 1.

Режим орошения многолетних трав предусматривал поливы по основным фазам роста и развития после каждого укоса.

Результаты и обсуждение. Важнейшими показателями, определяющими продуктивность орошаемых культур, являются высота растений, площадь листьев, продуктивность фотосинтеза, надземная биомасса посевов. Проведенные исследования показали, что формирование основных показателей роста и развития растений в значительной степени зависело от уровня режимов орошения (таблица 2).

Таблица 1 – Режимы орошения культур в севооборотах

Культура севооборота	Предполивной порог влажности почвы, % от НВ	Оросительная норма, м^3/га	
		Интенсивный режим орошения	Ресурсосберегающий режим орошения
Зернотравяной севооборот			
1 Яровая пшеница + многолетние травы	70-80-70-70	1800	1400
2 Многолетние травы	70-80-75-70	3700	3200
3 Многолетние травы	70-80-75-70	3700	3200
4 Озимая пшеница	70-75-70-70	2900	2400
5 Соя	70-80-70-65	2600	2200
Травяной севооборот			
1 Вика и овес + многолетние травы	70-80-70-65	3000	2500
2 Многолетние травы	70-75-80-70	3400	3000
3 Многолетние травы	70-75-80-70	3400	3000
4 Многолетние травы	70-75-70-70	3200	3100

Примечание – Пороги предполивной влажности почвы соответствуют основным фазам роста и развития растений. Яровая пшеница + многолетние травы: всходы – кущение, трубкование, колошение, молочная спелость. Многолетние травы: отрастание, ветвление, бутонизация, цветение. Озимая пшеница: весеннее отрастание, трубкование, колошение, молочная спелость. Соя: всходы, ветвление, бутонизация, цветение, молочная спелость бобов. Вика и овес + многолетние травы: всходы, ветвление, бутонизация, цветение. В кормосмесях фазы роста и развития представлены по основной культуре.

Таблица 2 – Показатели роста и развития растений в зернотравяном севообороте при интенсивном и ресурсосберегающем режимах орошения

Культура севооборота	Максимальная высота растений при уборке, см		Максимальная площадь листьев, тыс. м^2/га		Суммарный фотосинтетический потенциал, тыс. м^2/га		Среднесуточная чистая продуктивность фотосинтеза, г/(м^2·сут)		Суммарная сухая надземная биомасса, т/га	
	Режим орошения									
	интенсивный	ресурсосберегающий	интенсивный	ресурсосберегающий	интенсивный	ресурсосберегающий	интенсивный	ресурсосберегающий	интенсивный	ресурсосберегающий
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Зернотравяной севооборот										
Яровая пшеница + многолетние травы	102	95	36,1	32,7	1805	1635	4,36	4,30	7,88	7,03
Многолетние травы	89	83	41,6	37,1	2496	2226	3,95	3,91	9,86	8,70
Многолетние травы	91	85	44,6	40,4	2676	2424	4,03	4,00	10,77	9,69
Озимая пшеница	108	99	39,5	35,5	1778	1598	5,84	5,76	10,38	9,20
Соя	90	84	31,7	28,6	1744	1573	3,11	3,05	5,43	4,80

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Травяной севооборот										
Вика и овес + многолетние травы	98	91	35,5	32,0	1775	1598	3,57	3,53	6,33	5,64
Многолетние травы	90	84	41,8	37,9	2508	2274	4,00	3,98	10,03	9,06
Многолетние травы	91	85	45,4	40,8	2724	2448	4,02	3,97	10,94	9,72
Многолетние травы	91	85	44,3	39,9	2658	2394	3,81	3,76	10,12	9,01

Анализ показывает, что наибольшая высота растений в означенных севооборотах наблюдается в вариантах интенсивного режима орошения.

При применении интенсивного режима орошения достигаются более высокие показатели площади листьев, фотосинтетического потенциала и сухой биомассы (соответственно до 41,6–45,4 тыс. м^2/га, 2496–2724 тыс. м^2/га и 9,86–10,94 т/га у многолетних трав).

Формирование урожайности посевов в значительной степени определяется фотосинтетической деятельностью растений. Совершенствование приемов возделывания орошаемых культур в первую очередь должно быть направлено на повышение эффективности использования растениями приходящей с солнечным светом фотосинтетически активной радиации (ФАР) посредством увеличения чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) [12].

Сравнительно высокие показатели ЧПФ посевов отмечаются при интенсивном режиме орошения (3,11–5,84 г/м^2 у культур зернотравяного севооборота и 3,57–4,02 г/(м^2·сут) у культур травяного севооборота).

При применении ресурсосберегающего режима орошения показатели ЧПФ посевов сохраняются на высоком уровне (3,05–5,76 г/м^2 у культур зернотравяного севооборота и 3,53–3,98 г/м^2 у культур травяного севооборота).

Поддержание стабильного эколого-мелиоративного состояния орошаемого поля и сохранение почвенного плодородия обеспечивают повышение урожайности орошаемых культур [13]. Как показали результаты опытов, наивысшая продуктивность орошаемых культур достигается при интенсивном режиме орошения (5,62 т к. е./га в зернотравяном севообороте, 7,09 и 6,50 т к. е./га в травяном севообороте) (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность культур в севооборотах при интенсивном и ресурсосберегающем режимах орошения

В т/га

Вид и культура севооборота	Интенсивный режим орошения		Ресурсосберегающий режим орошения	
	Урожайность	Выход кормовых единиц	Урожайность	Выход кормовых единиц
Зернотравяной севооборот				
1 Яровая пшеница + многолетние травы	3,15	3,78	2,81	3,38
2 Многолетние травы	49,31	7,89	41,43	6,63
3 Многолетние травы	53,84	8,62	46,22	7,40
4 Озимая пшеница	4,13	4,96	3,68	4,42
5 Соя	2,17	2,84	1,92	2,52
Травяной севооборот				
1 Вика и овес + многолетние травы	31,63	4,75	26,86	4,03
2 Многолетние травы	50,17	8,03	43,14	6,91
3 Многолетние травы	54,68	8,75	46,28	7,41
4 Многолетние травы	50,61	8,10	42,91	6,87

Выводы. Мероприятия, направленные на решение проблем мелиорации, должны способствовать повышению эффективности водопользования в орошаемом земледелии, предусматривать контроль режимов орошения и их оперативную корректировку с учетом метеорологических и почвенно-мелиоративных условий агроландшафта.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что применение ресурсосберегающего режима орошения позволяет снизить поливные и оросительные нормы без существенной потери урожайности, это обеспечивает уменьшение себестоимости продукции за счет сокращения затрат оросительной воды на единицу урожая.

Кроме того, применение экологически обоснованных поливных режимов сельскохозяйственных культур в орошаемых севооборотах повышает эффективность использования водных ресурсов, предотвращает развитие водной эрозии и способствует созданию благоприятного экологического состояния мелиоративных агроландшафтов.

Список использованных источников

1 Шадских, В. А. Основные принципы оптимизации экологической ситуации орошаемых агроландшафтов степной и сухостепной зон Поволжья / В. А. Шадских, Л. Г. Романова, В. Е. Кижаева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 6. – С. 17–20.

2 Божко, И. А. Справочник мелиоратора Поволжья / И. А. Божко, Н. П. Яковлев. – Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1983. – 216 с.

3 Шадских, В. А. Концептуальные аспекты развития мелиоративного комплекса в Саратовской области / В. А. Шадских, В. Е. Кижаева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 9–11.

4 Еремеев, Ю. Н. Режимы орошения сельскохозяйственных культур / Ю. Н. Еремеев, А. С. Михайлин. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 64 с.

5 Влияние культур орошаемого зерно-кормового севооборота на агрофизические и агрохимические свойства почвы / В. А. Шадских, В. Е. Кижаева, Л. Г. Романова, О. Л. Рассказова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 4(32). – С. 166–183. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec577-field6.pdf.

6 Остапчик, В. П. Планирование режимов орошения на основе биологического метода расчета водопотребления сельскохозяйственных культур / В. П. Остапчик. – М., 1981. – 90 с. – (Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. № 9).

7 Шадских, В. А. Режим влажности почвы в севообороте сухостепной зоны Поволжья / В. А. Шадских, В. Е. Кижаева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 5. – С. 21–24.

8 Багров, М. Н. Предполивные режимы влажности / М. Н. Багров, И. Е. Бондаренков // Зерновое хозяйство. – 1980. – № 9. – С. 10.

9 ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Стандартинформ, 2005. – 8 с.

10 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 2010. – 352 с.

11 Данильченко, Н. В. Биоклиматическое обоснование суммарного водопотребления и оросительных норм / Н. В. Данильченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 14–16.

12 Шадских, В. А. Выращивание сельскохозяйственных культур по заданной программе / В. А. Шадских, В. Е. Кижаева // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 8. – С. 46–49.

13 Иванова, Н. А. Влияние водного режима почв на продуктивность сельскохозяйственных культур / Н. А. Иванова, И. В. Гурина, С. Ф. Шемет // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2014. – № 4(16). – С. 124–135. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec302-field6.pdf.

УДК 631.559:631.165

Е. В. Федотова
Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

ВОЗМОЖНОСТИ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

В данной статье рассмотрены возможности программного комплекса, позволяющего имитировать процесс функционирования внутрихозяйственной оросительной системы и динамику формирования урожая сельскохозяйственных культур в зависимости от агрометеорологических и производственных факторов. Показана схема оптимального распределения поливной воды с использованием производственных функций зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от оросительной нормы.

Ключевые слова: виртуальная модель, имитационная модель, цифровизация производства, оросительная система, внутрихозяйственная оросительная система, орошаемое земледелие.

****

E. V. Fedotova
All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

OPPORTUNITIES OF THE IRRUCTION SYSTEM VIRTUAL MODEL FOR INCREASING THE WATER USE EFFICIENCY

The opportunities of the software package which allow imitating the operation process of the on-farm irrigation system and the dynamics of crop formation, depending on agrometeorological and production factors are considered. The scheme of the optimal distribution of irrigation water using production functions of crop yields dependence on the irrigation rate is shown.

Key words: virtual model, simulation model, digitalization of production, irrigation system, on-farm irrigation system, irrigated farming.

В настоящее время использование информационных технологий в сельском хозяйстве ограничивается применением компьютеров и программных средств в основном только для управления финансами и отслеживания коммерческих сделок. Тем не менее фермеры начали использовать цифровые технологии для мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур, простые расчетные методы для назначения поливов и диспетчерских служб эксплуатации межхозяйственной части оросительной системы. И только самые передовые и технически оснащенные хозяйства используют цифровые технологии для управления агротехнологиями, контролируя полный цикл производства.

Интенсивное внедрение информационных систем в сельское хозяйство обещает превратить отрасль сельскохозяйственного производства в высокотехнологичный бизнес, в первую очередь за счет роста производительности труда и перманентного контроля расходов.

Наблюдающийся в последние годы подъем производства в аграрных отраслях отечественной экономики способствовал восстановлению эксплуатационных показателей гидромелиоративных систем и росту объемов производства сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях. Нарастающий дефицит водных ресурсов юга европейской части РФ, усугубляющийся аномальными климатическими явлениями, создает ощутимые риски водопользователям в сфере сельхозпроизводства. Кроме того, требования Минприроды к защите водных объектов от загрязнений биогенными веществами,

поступающими в виде сосредоточенного дренажного и диффузионного стока с орошаемых полей, накладывают ограничения на применение существующих экологически небезопасных технологий, обусловленных низкой культурой водопользования. В этой связи отмечается тренд востребованности современных методов планирования и рационального распределения водных ресурсов с использованием региональных гидрологических моделей водосборов, речных систем, гидроузлов и гидромелиоративных систем. Заметный интерес проявляется к математическим моделям водного обмена агроландшафтов с детализацией описания процессов, вплоть до отдельных полей интенсивного земледелия, с целью их применения для решения комплексных задач использования и охраны водных ресурсов.

Информационная модель внутрихозяйственной оросительной системы, разработанная во Всероссийском НИИ гидротехники и мелиорации, была реализована в виде программного комплекса в среде Borland C++ Professional и апробирована на задачах управления орошением на системах открытого и закрытого типа в Узбекистане и Омской области. Опыт применения виртуальной модели внутрихозяйственной оросительной системы и даже ее отдельных подсистем показывает возможность автоматизации эксплуатационных работ и оперативного управления производством поливных работ, при этом обеспечивается своевременное назначение поливов и контролируемый режим работы поливной техники и насосной станции. Модель оросительной системы использовалась в течение всего вегетационного периода для получения технических справок по материалам проектной документации в случаях принятия экстренных мер для предотвращения производственных потерь, вызванных авариями и ремонтными работами. Кроме того, делался прогноз урожайности сельскохозяйственных культур на первых этапах вегетации с целью коррекции структуры производства кормов, выполнялся мониторинг использования трудовых и технических ресурсов службы эксплуатации оросительной системы, контроль планов производства продукции на орошаемых землях.

Внутрихозяйственные оросительные системы закрытого типа отличаются большими капиталовложениями при строительстве, значительными эксплуатационными затратами и сравнительно сложной сезонной технологией эксплуатации. Вместе с тем высокая техническая оснащенность обеспечивает высокую производительность поливных работ, позволяет внедрять технические и информационные средства автоматизации подачи воды на орошаемые участки, в т. ч. и со сложным рельефом, контролировать расход поливной воды каждой дождевальной машиной, строго выполнять рекомендуемые режимы орошения. Использование информационных технологий при управлении функционированием таких систем значительно упрощает решение многих эксплуатационных задач и повышает его точность, в т. ч. позволяет оптимизировать режимы орошения, тем самым повышает эффективность орошаемого земледелия и экологическую культуру водопользования [1].

Пространственный образ размещения элементов оросительной сети и орошаемых контуров формируется в модели на основе геоинформационной базы данных, обеспечивающей визуализацию всех элементов оросительной сети, включая орошаемые поля (культуры), распределительную сеть, поливную технику, наблюдательные скважины, метеорологические посты. Она использует картографическую схему орошаемых земель хозяйства с отображением на ней ориентированного графа оросительной сети и привязкой к нему парка дождевальных машин и насосных станций. На рисунке 1 представлена схема размещения сельскохозяйственных культур на орошаемых землях по поливным участкам, отображаемая монитором.

Информационная база модели оросительной системы содержит в виде паспортов характеристики полей (залегающих почв), детальные данные о конструкции дождевальных машин, длине, диаметре и материале трубопроводов, конструкции и параметрах дренажной сети, размещении постов контроля, составе и глубине залегания грунтовых вод и др.

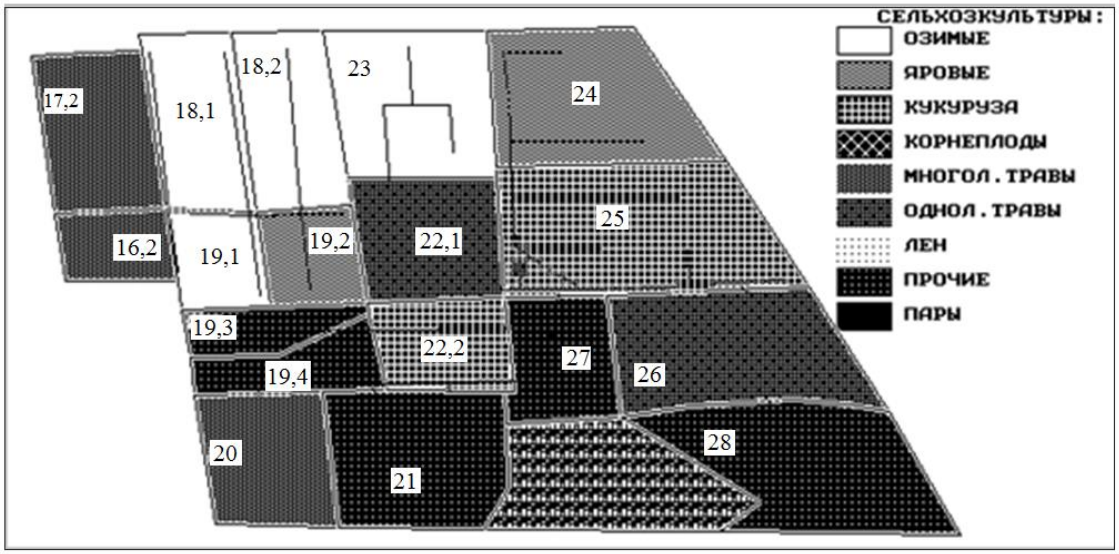


Рисунок 1 – Схема размещения сельскохозяйственных культур на орошаемых землях по поливным участкам

Имитационная модель внутрихозяйственной оросительной системы включает гидравлическую модель оросительной сети, динамическую модель агроценоза различных сельскохозяйственных культур, мониторинг качества поливной и грунтовых вод и блок автоматизированного оперативного планирования поливов по агрометеопараметрам.

Гидравлическая модель оросительной системы направлена на решение задач по оптимизации организационно-технологических параметров выполнения поливных работ и эффективного использования технических средств закрытой оросительной системы, включая насосную станцию, распределительную сеть и дождевальную технику.

С ее помощью можно произвести расчет сопряжения напорно-расходных характеристик (рисунок 2) насосной станции и распределительной сети, рассчитать напор воды и давление на гидранте каждой дождевальной машины при любой комбинации подключения машин. Для определения технологических параметров работы каждой дождевальной машины в течение рабочей смены производится расчет напора и расхода воды, интенсивности дождя, продолжительности полива на позиции или скорости перемещения машины, времени полива всего участка и затрат труда на обслуживание машины.

Рисунок 2 – Сопряжение напорно-расходных характеристик оросительной сети и насосной станции

Динамические модели агроценозов различных сельскохозяйственных культур, входящие в программный комплекс системы, служат для оптимизации режимов орошения и отображения основных процессов роста и водообмена под влиянием агрометеоусловий. В них учитываются:

- динамика продукционного процесса, рост и развитие растений, накопление биомассы, формирование урожая;
- процессы энерго- и массообмена растительного покрова (поглощение солнечной радиации, эвапорация, транспирация, поглощение почвенной влаги и солей корнями, влагообмен между грунтовыми водами и зоной аэрации, поверхностный сток);
- эколого-физиологические процессы взаимодействия растений с внешней средой (фенология, структура посева, баланс почвенной влаги и солей, адаптация растений).

Значительная информационная роль принадлежит моделям агроценозов в задаче водораспределения при сезонном планировании. Способность моделей формировать зависимость урожайности от погодных условий и режима орошения позволяет с их помощью получать производственные функции для распределения выделенных водных ресурсов по полям и культурам с учетом ежегодной структуры посевных площадей, запасов полевой влаги, почвенного плодородия и прогнозируемых погодных условий в предстоящий вегетационный период [1, 2].

Если водораспределение на межхозяйственной оросительной системе выполняется на основании поданных хозяйствами-водопользователями заявок на объемы оросительной воды, то внутрихозяйственное распределение формируется по производственным (плановым) показателям и эколого-экономическим критериям. Для использования этих критериев формулируется оптимизационная задача, решение которой строится на знании производственной функции – зависимости искомого результата от количества использованного для производства ресурса. На практике такие функции определяются по результатам анализа многолетней деятельности, позволяющей количественно сопоставить затраты и результат по каждому отдельному виду использования ресурса, в данном случае затраты воды на орошение или иного вида водопользование.

В динамичной производственной ситуации, на начальных этапах работы предприятия такие функции проще получить при помощи имитационной модели по данным метеорологической, почвенной и производственной информации об урожайности и структуре посевных площадей. В блоке автоматизированного оперативного планирования поливов производственная функция рассчитывается как усредненный результат по совокупности зависимостей урожайности сельскохозяйственной культуры от оросительной нормы (рисунок 3). Производственная функция предполагает оптимальное использование ресурса и строится по значениям урожайности при условии близкого к оптимальному или как минимум рационального режима орошения. Расчет объема планируемой поливной воды на орошение культуры важен для последующего планирования поливных работ службой эксплуатации, поскольку предполагает возможность расчета планового числа поливов поля, занятого конкретной культурой, за вегетационный период и формирование укомплектованного графика поливов.

Расчет планового оптимального числа поливов по культурам и полям за вегетационный период проводится на основе величин оросительных норм и имеющихся ограничений на поливные нормы по техническим характеристикам дождевальных машин, водно-физическим свойствам почв и состоянию агроценоза.

Оптимальные оросительные нормы как результат вододеления по культурам (i) и полям определяются исходя из условия максимизации дохода от урожая всех выращиваемых на орошаемых землях культур [2]:

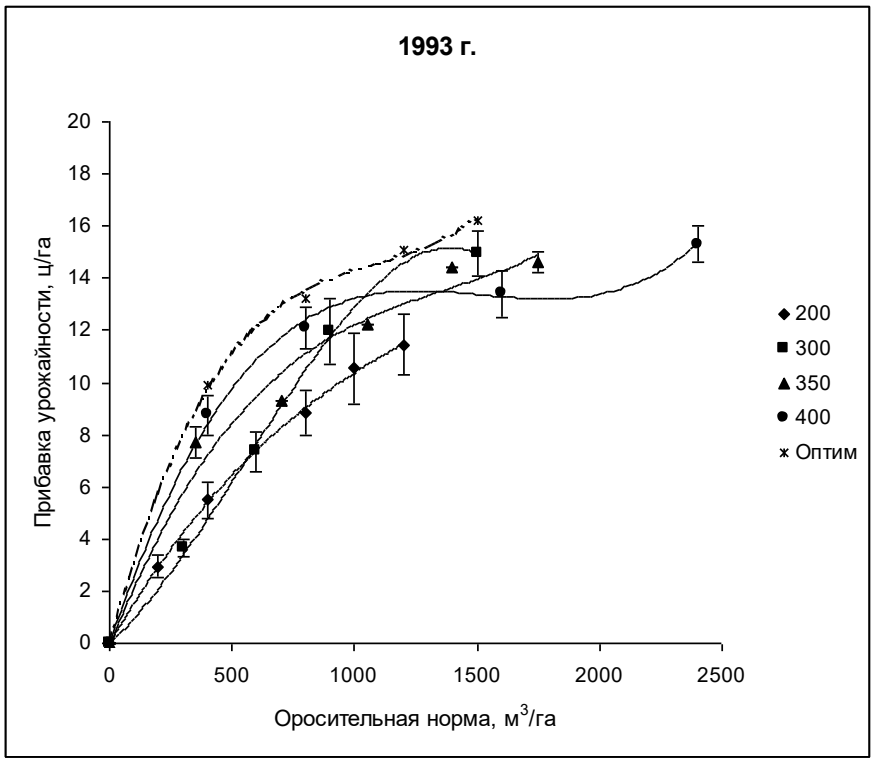
$$\begin{cases} m_1 S_1 + m_2 S_2 + \ldots + m_i S_i = Q \\ y_1 S_1 + y_2 S_2 + \ldots + y_i S_i => \max \end{cases},$$

где m_i – допустимые оросительные нормы;

S_i – площадь поля, на котором возделывается i-я культура;

Q – количество оросительной воды, выделенное на хозяйство;

y_i – урожайность i-й культуры.



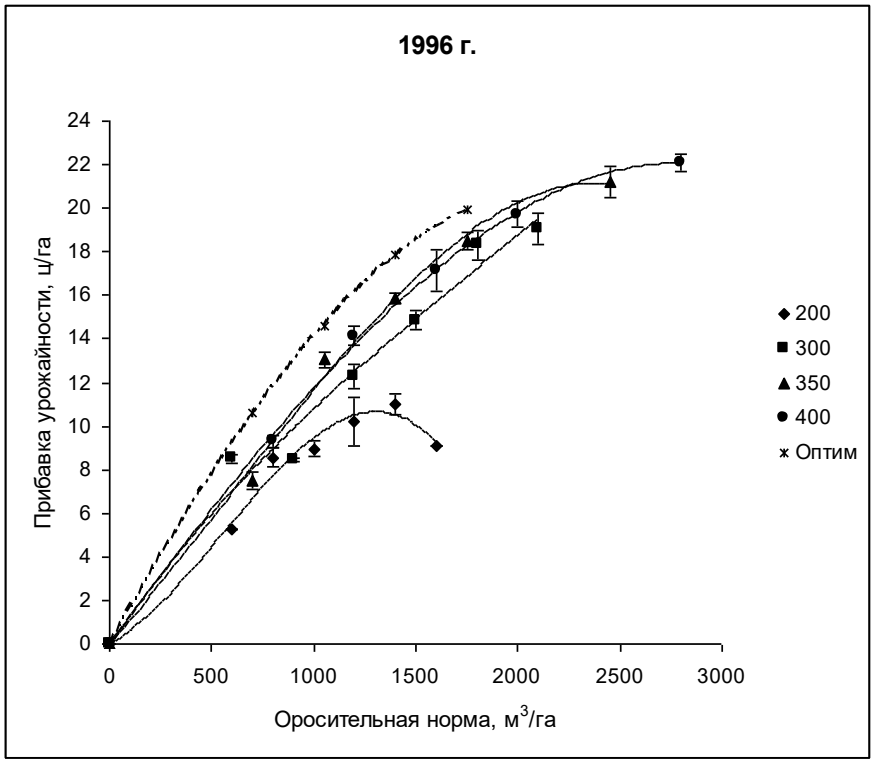


Рисунок 3 – Аппроксимирующие функции зависимости прибавки урожайности яровой пшеницы от поливной и оросительной нормы по агрометеоусловиям Саратовской области, 1993–1994 гг. (95% доверительный интервал)

Данная постановка оптимизационной задачи допустима при условии однородности почвенных характеристик полей.

По данным аппроксимирующих функций посредством осреднения получены производственные функции, например для культур, возделываемых в фермерском хозяйстве Приволжской оросительной системы (рисунок 4).

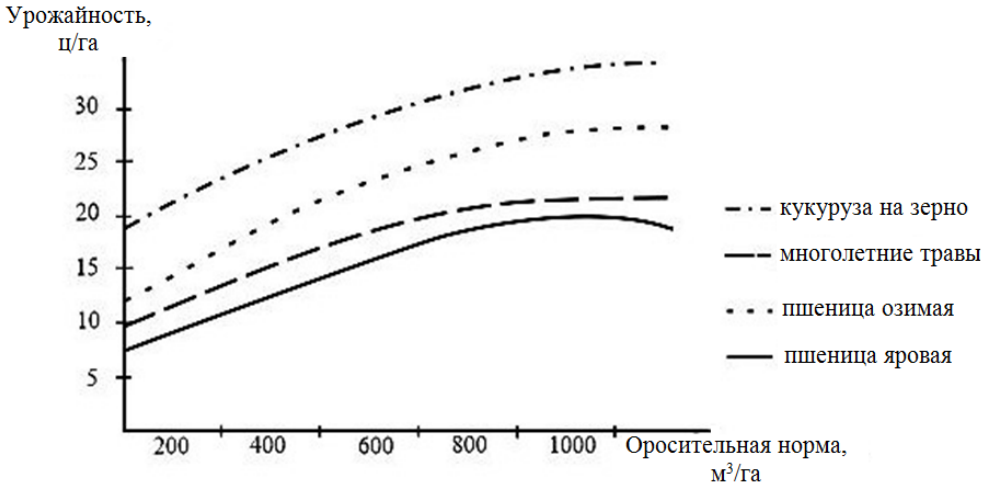


Рисунок 4 – Пример производственных функций для сельскохозяйственных культур, возделываемых в Саратовской области при орошении

Для определения объемов воды, планируемых на орошение каждой сельскохозяйственной культуры, при которых совокупный доход от орошения будет максимальным, необходимо выполнение условия равенства приращения стоимости каждого вида продукции на единицу затраченной на полив воды. Для этого для каждой орошаемой культуры построим графики приращения дохода $\Delta d_i(m_i)$ от планируемого сбора урожая в зависимости от поливной нормы (рисунок 5) (производная от функции за вычетом затрат на орошение) и найдем оптимальный уровень приращения, при котором сумма затрат воды на полив каждой культуры будет меньше выделенного объема орошения на весь период вегетации или равна ему:

$$\begin{cases} D \Rightarrow \max, \text{если} \sum_{i=1}^{k} \Delta d_i(m_i) = k\Delta d_{\text{опт}} \\ m_{1\text{опт}}S_1 + m_{2\text{опт}}S_2 + \ldots + m_{i\text{опт}}S_i \le Q \\ D_{\max} = \sum_{i=1}^{k} \Delta d_{\text{опт}}(m_{1\text{опт}}S_1 + m_{2\text{опт}}S_2 + \ldots + m_{i\text{опт}}S_i) \end{cases}.$$

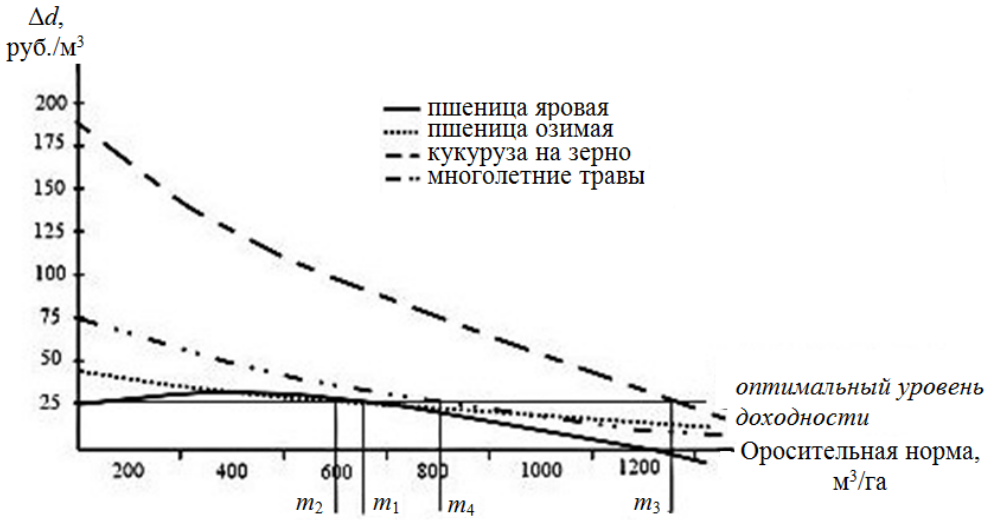


Рисунок 5 – Зависимости приращения дохода от оросительной нормы

Следовательно, зная количество выделенной оросительной воды на хозяйство, можно определить оптимальные оросительные нормы и планируемый доход от урожая по всем сельскохозяйственным культурам, выращиваемым на полях системы.

Имитационная модель оросительной системы обладает рядом несомненных преимуществ, которые обеспечивают возможность ее универсального применения, обеспечивая контроль качества функционирования основных компонентов оросительной системы (прогнозируемой и фактической продуктивности культур, гидравлических характеристик оросительной сети) на новом уровне информационного обеспечения службы эксплуатации оросительной системы. Предложенная информационная технология при оперативном управлении производством поливных работ основана на использовании имитационной модели оросительной системы, включающей динамические модели орошаемых агроценозов, гидравлическую модель сети и алгоритмы оптимизации распределения ресурсов воды, а также оптимизации сетевого графика включения дождевальных машин, укомплектованного по гидромодулю и трудовым ресурсам. Выполнение системой мониторинговых, управленческих и контрольных функций способствует повышению эффективности эксплуатации гидромелиоративной системы, экономии оросительной воды, снижению непроизводительных затрат труда, созданию условий для роста урожайности.

Список использованных источников

1 Галямин, Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении / Е. П. Галямин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 272 с.

2 Головатый, В. Г. Модели управления продуктивностью мелиорируемых агроценозов: учеб. пособие / В. Г. Головатый, Ю. П. Добрачев, И. Ф. Юрченко. – М.: РАСХН, 2001. – 166 с.

УДК 631.6.02

В. И. Кременской, А. М. Джапарова
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

ОЧИЩЕННЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ КАНАЛИЗАЦИОННО-ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. СИМФЕРОПОЛЯ – РЕЗЕРВ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ В КРЫМУ

Крымский полуостров характеризуется дефицитом пресной воды для водоснабжения населения и орошения сельскохозяйственных культур. Огромным резервом поливной воды являются очищенные сточные воды канализационно-очистных сооружений (КОС) Крыма. Симферопольские КОС являются самыми крупными в Крымском регионе, на их долю приходится одна третья часть от всех сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты. Качественный состав очищенных сточных вод, по данным ГУП РК «Вода Крыма», свидетельствует о недостаточной эффективности очистки, имеются превышения нормативно допустимых показателей. Ежемесячный объем очищенных стоков составляет 3,0–3,9 млн м^3, этим количеством воды можно обеспечить полив 8–10 тыс. га. Проведенные в 2017–2018 гг. исследования показали, что очищенные сточные воды Симферопольских КОС в целом можно без ограничений использовать для целей орошения, так как они не оказывают влияния на общую мелиоративную обстановку на орошаемом участке.

Ключевые слова: очистные сооружения, сточные воды, степень очистки, загрязняющие вещества, орошение, качественный и количественный состав, дефицит воды.

****

V. I. Kremenskoy, A. M. Dzhaparova
Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

TREATED EFFLUENTS OF SIMFEROPOL WASTE WATER TREATMENT PLANT – RESERVE OF IRRIGATION WATER IN THE CRIMEA

The Crimean peninsula is characterized by fresh water deficiency for water supply of population and irrigation of crops. A huge reserve of irrigation water is treated effluents from waste water treatment plants (WWTP) of Crimea. Simferopol WWTPs are the largest in Crimean region, accounting for one third of all sewage water discharged into surface water bodies. According to the State Unitary Enterprise of the Republic of Crimea "Water of Crimea", the qualitative composition of treated effluents indicates a lack of treatment efficiency; there are exceedances of the normative permissible indicators. The monthly volume of treated wastewater is 3.0–3.9 million m^3, which is enough to irrigate 8–10 thousand hectares. Research carried out in 2017–2018 has shown that treated effluents of Simferopol WWTP can be used without restrictions for irrigation purposes, since they do not affect the overall reclamation situation in the irrigated area.

Key words: wastewater treatment plants, effluents, degree of purification, pollutants, irrigation, qualitative and quantitative composition, water deficiency.

Введение. Крым является уникальным природно-производственным комплексом, где охрана окружающей среды приобретает все большее значение. Однако Крымский регион характеризуется резким дефицитом пресных вод, а решение вопросов обеспечения продукцией сельского хозяйства населения полуострова, включая курортные зоны, требует интенсификации аграрного производства. Этого можно достигнуть путем использования городских очищенных сточных вод для орошения, учитывая при этом как интересы водного и сельского хозяйства, так и интересы охраны природы.

В мировой практике давно используют очищенные сточные воды для целей орошения. Широкомасштабно данный процесс внедрен в Израиле, Иордании, Перу, Саудовской Аравии. Так, в Израиле до 70 % сточных вод повторно используется в сельском хозяйстве [1].

В 2017 г. 129,35 млн м^3 сточных вод было сброшено в поверхностные водные объекты [2], на орошение из них практически ничего не используется. Этот огромный резерв водных ресурсов необходимо учитывать и использовать для преодоления дефицита водных ресурсов. Решить такую сложную задачу в полном объеме и в короткий срок невозможно. Поэтому первоначально необходимо доработать технологию доочистки, обосновать экономическую эффективность и эколого-социальную необходимость использования сточных вод после доочистки для орошения. По предварительным расчетам, при использовании ресурсов сточных вод (после доочистки) только Симферопольских КОС можно оросить дополнительно 8–10 тыс. га [3].

В 1970–1990-е гг. в Крыму были проведены опыты по изучению влияния сточных вод на урожайность сельскохозяйственных культур и внедрены технологии орошения сточными водами в условиях производства [4]. Результаты полевых опытов, производственной проверки и внедрения технологии использования городских сточных вод на земледельческих полях орошения Сакского, Симферопольского и Ленинского районов показали, что полив сточными водами увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур в 2–4 раза.

Наиболее эффективно почвенная доочистка сточных вод осуществляется в условиях Центральной предгорной степи (черноземы обыкновенные и южные, мицелярно-карбонатные, среднесуглинистые) при использовании для орошения сточных вод г. Симферополя [4].

Цель исследований – обоснование использования очищенных сточных вод КОС г. Симферополя для орошения сельскохозяйственных культур.

Задача исследований – проведение мониторинговых наблюдений за качественным составом стоков и их пригодностью для полива растений.

Обсуждение результатов. Самыми крупными КОС Крымского региона являются КОС г. Симферополя. Их проектная производительность – 120 тыс. м^3/сут, построены по проекту Харьковского института «Укргипрокоммунстрой» и расположены в селе Укромном Симферопольского района приблизительно в 10 км от города. КОС принимают на очистку смесь хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод г. Симферополя. После полной физической (механической), химической и биологической очистки сточные воды сбрасываются в р. Салгир. Обеззараживание очищенных стоков не производится.

В России отсутствуют официально действующие нормативные документы по оценке качества вод, регламентирующие применение их для орошения. В таблице 1 приведены показатели, характеризующие качественный состав сточной воды после очистки на КОС г. Симферополя, по кварталам 2017 г.

Таблица 1 – Качественный состав загрязняющих веществ, сбрасываемых с очищенными сточными водами в р. Салгир, за 2017 г. (по данным ГУП РК «Вода Крыма»)

Квартал	Взвешенные вещества, мг/дм^3		Нефтепродукты, мг/дм^3		ХПК, мгО$_2$/дм^3		БПК$_5$, мгО$_2$/дм^3		NH_4^+, мг/дм^3	
	вход	выход	вход	выход	вход	выход	вход	выход	вход	выход
I	197,0	13,4	0,6	0,4	316,9	32,4	129,1	12,6	37,4	2,8
II	189,6	12,7	0,7	0,4	307,6	34,1	129,0	13,4	32,5	2,7
III	202,3	12,8	0,7	0,4	327,4	33,0	129,3	13,3	28,7	3,0
IV	207,7	11,6	0,6	0,4	334,7	32,3	131,9	13,2	29,6	3,2
Среднее	199,1	12,6	0,7	0,4	321,6	32,9	129,8	13,1	32	2,9
Степень очистки, %	–	93,7	–	42,9	–	89,8	–	89,9	–	90,9
НДС*	–	15,0	–	0,55	–	–	–	15,0	–	4,05
ППВБС**	–	н/нор.	–	н/нор.	–	н/нор.	–	н/нор.	–	н/нор.

Продолжение таблицы 1

Квартал	NO_3^-, мг/дм^3		NO_2^-, мг/дм^3		Cl^-, мг/дм^3		SO_4^{2-}, мг/дм^3		PO_4^{3-}, мг/дм^3	
	вход	выход	вход	выход	вход	выход	вход	выход	вход	выход
I	11,3	48,3	2,9	0,5	80,3	70,6	120,9	58,9	7,9	3,8
II	13,5	47,0	3,9	0,5	83,7	79,9	107,4	58,9	7,5	3,9
III	14,4	48,9	3,6	0,6	89,5	83,2	109,2	58,9	8,0	4,7
IV	14,3	55,6	3,4	0,6	80,8	76,8	106,9	58,9	7,8	3,1
Среднее	13,4	50	3,4	0,6	83,6	77,6	111,1	58,9	7,8	3,9
Степень очистки, %	–	0,0	–	82,4	–	7,2	–	47,0	–	50,0
НДС	–	62,5	–	1,65	–	121,5	–	135,25	–	5,9
ППВБС	–	5,0	–	н/нор.	–	150	–	н/нор.	–	н/нор.

Продолжение таблицы 1

Квартал	АПАВ, мг/дм^3		Медь, мг/дм^3		Хром, мг/дм^3		Железо, мг/дм^3		Сухой остаток, мг/дм^3	
	вход	выход	вход	выход	вход	выход	вход	выход	вход	выход
I	1,6	0,2	сл.	сл.	сл.	сл.	0,3	0,2	н/опр.	463,3
II	1,5	0,2	сл.	сл.	сл.	сл.	0,2	0,2	н/опр.	466,7
III	1,7	0,1	сл.	сл.	сл.	сл.	0,2	0,2	н/опр.	394,7
IV	1,7	0,2	сл.	сл.	сл.	сл.	0,2	0,2	н/опр.	405,7
Среднее	1,6	0,2	сл.	сл.	сл.	сл.	0,2	0,2	н/опр.	433
Степень очистки, %	–	87,5	–	–	–	–	–	0,0	–	–
НДС	–	0,3	–	0,5	–	0,1	–	0,32	–	750
ППВБС	–	н/нор.	–	0,5	–	0,5	–	5,0	–	1000

*НДС – нормативно допустимый сброс, утвержденный для Симферопольских КОС.

**ППВБС – показатели поливной воды благоприятного состава по СНиП 2.06.03-85 [5].

Анализируя данные, приведенные в таблице 1, отметим, что соотношение ХПК:БПК$_5$ находится в пределах 2,2–2,8 на входе в очистные сооружения и 2,3–2,6 на выходе из них, среднее значение 2,5, а в соответствии с нормативно-технической документацией это соотношение не должно превышать 1,5, что говорит о недостаточной эффективности очистки КОС [5]. Среднее соотношение ХПК:БПК$_5$ в очищенных стоках, превышающее 2,5, говорит о трудностях в достижении эффективности совместной очистки смеси хозяйственно-бытовых и промышленных стоков по существующей технологической схеме.

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что в 2017 г. на очистных сооружениях были превышены нормативно допустимые показатели по нитратам, установленные согласно «Методике оценки технологической эффективности работы городских очистных сооружений канализации» [6]. Конечные показатели по нитратам превышают как проектные, так и общепринятые допустимые концентрации на сброс очищенных стоков в р. Салгир. В таблице 2 приведены помесячные и среднесуточные объемы сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

Таблица 2 – Ежемесячное количество стоков за 2017 г. по Симферопольским КОС (по данным ГУП РК «Вода Крыма»)

В тыс. м^3

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Объем за месяц	3778	3440	3745	3883	3915	3868	3397	3216	2978	3270	3326	3757
Среднесуточный объем	122	123	121	129	126	129	110	104	99	106	111	121

Из данных таблицы 2 видно, что максимальное поступление неочищенных стоков приходится на апрель – июнь, это связано с ливневыми осадками (до 73 мм), а минимальное приходится на сентябрь (выпал 1 мм осадков). Итого за 2017 г. принято на очистку 42574,1 тыс. м^3, или среднее значение за сутки – 116,6 тыс. м^3, из них 60 % составляют хозяйственно-бытовые стоки и 40 % стоки от промышленных предприятий.

Гидравлическая нагрузка на сооружения составляет 93–100 % проектной величины. Установлено, что 80–85 % среднесуточного поступления загрязнений со стоками приходится на дневные часы и только 15–20 % на ночные часы. При такой технологической схеме сточная вода теряет свою стабильность и склонность к биологической очистке.

Качественный состав стоков характеризуется большим разнообразием, непостоянством и частыми залповыми сбросами высококонцентрированных токсичных веществ с промышленных предприятий.

Основными предприятиями, имеющими решающее влияние на качественный состав сточных вод, являются ООО «Крымтеплица», АО «Завод «Фиолент», ГУП «Крымтеплокоммунэнерго», АО «Симферопольский комбинат хлебопродуктов», «Завод «Симферопольсельмаш», АО «КрымТЭЦ» и другие предприятия, которые сбрасывают загрязняющие вещества не систематически, а разовыми залповыми сбросами.

Формирующиеся на территории Республики Крым сточные воды оказывают негативное воздействие на природные водные объекты. Применение данной категории воды как альтернативного водоисточника, который может быть использован для целей орошения, позволит повысить водообеспеченность сельскохозяйственной отрасли, а с экологической точки зрения уменьшить поступление загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водоприемники [7, 8].

В 2017–2018 гг. проводились полевые исследования, посвященные изучению влияния очищенных сточных вод на рост, развитие и урожайность кормовой и сахарной свеклы, в с. Укромном на землях отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма». Была произведена оценка пригодности очищенной сточной воды Симферопольских КОС для целей орошения по солевому составу (таблица 3). Отбор проб воды осуществлялся три раза.

Таблица 3 – Солевой состав воды, используемой для орошения в опыте

Дата отбора пробы	pH	Растворенные элементы, мг/дм^3								Минерализация, г/дм^3
		HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NO_3^-	
1) 06.06.2017	8,8	317	91	30	112	20	65	11	20,4	0,654
2) 30.06.2017	7,65	329	81	37	106	25	60	14	19,8	0,556
3) 01.08.2017	7,75	317	77	46	110	20	60	12	24,6	0,618

Состав солей в отобранных образцах в среднем можно классифицировать следующим образом: хлоридно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевый.

В среднем вода имеет слабощелочную реакцию (7,6–8,8).

Оценка пригодности отобранных проб для целей орошения давалась на основании ирригационного коэффициента, коэффициента ионного обмена, натриевого адсорбционного отношения и почвенно-мелиоративной классификации оросительной воды (таблицы 4 и 5).

Таблица 4 – Оценка пригодности отобранных образцов воды по широко используемым в РФ методикам

Дата отбора пробы	Ирригационный коэффициент	Коэффициент ионного обмена	Натриевое адсорбционное отношение (SAR)
06.06.2017	21,97	2,42	1,49
30.06.2017	24,55	2,68	1,36
01.08.2017	25,51	2,59	1,38

Таблица 5 – Оценка пригодности отобранных образцов воды по почвенно-мелиоративной классификации

Дата отбора пробы	Степень опасности развития процесса					Класс воды
	общего засоления	хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевого осолонцевания	содообразования	
06.06.2017	II	II	II	I	I	II
30.06.2017	II	II	I	I	I	II
01.08.2017	II	II	I	I	I	II

Из анализа данных таблицы 4 наглядно видно, что по всем показателям данную воду можно классифицировать как пригодную для орошения: ирригационный коэффициент больше 18, коэффициент ионного обмена больше 1, а натриевое адсорбционное отношение меньше 8.

По результатам анализа таблицы 5 исследуемые образцы относятся ко второму классу, т. е. данная вода не должна оказать негативного воздействия на мелиоративную обстановку, только в случае плохой дренируемости территории возможно накопление солей. При использовании данной воды необходимо соблюдение промывного режима и проведение комплекса мелиоративных мероприятий, таких как посев многолетних трав, рыхление почвенной корки после поливов, гипсование солонцеватых почв и т. п.

Выводы. Необходимо провести реконструкцию Симферопольских КОС для более эффективной очистки сточной воды, строго соблюдать санитарно-гигиенические требования, направленные на охрану окружающей природной среды, и предусмотреть обеззараживание очищенных стоков перед сбросом в р. Салгир.

Очищенные сточные воды КОС г. Симферополя могут быть использованы для полива, так как не оказывают влияния на общую мелиоративную обстановку на орошаемом участке. Осуществление мониторинга качества очищенных стоков и выявление причин изменения их химического состава способствуют улучшению экологической ситуации на р. Салгир.

Список использованных источников

1 Mekorot. Wastewater Treatment and Reclamation. Watec 2007. – Tel Aviv, Israel, 2007.

2 Доклад «О состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2017 году» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:meco.rk.gov.ru/uploads/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpqQN7fN_dokl.pdf, 2018.

3 Сторчоус, В. Н. Водообеспеченность Крыма и возможности ведения орошения многолетних насаждений / В. Н. Сторчоус, Э. Э. Сейтумеров, А. Ю. Иващенко // Современные концепции развития науки: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., г. Екатеринбург, 28 янв. 2017 г. – Уфа: Омега Сайнс, 2017. – Ч. 3. – С. 113–115.

4 Рекомендации по сельскохозяйственному использованию сточных вод в условиях Крыма / Т. Л. Сало [и др.]. – Киев: ОСУСВ ИГиМ УААН, 1994. – 50 с.

5 Внесение химмелиорантов с поливной водой (Пособие к СНИП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения»): утв. Союзводпроектом 12.12.85. – 21 с.

6 Методика оценки технологической эффективности работы городских очистных сооружений канализации: утв. Гл. упр. по охране вод М-ва мелиорации и вод. хоз-ва СССР и Минжилкомхозом РСФСР 07.04.83. – М.: Стройиздат, 1987. – 16 с.

7 Кременской, В. И. Опыт эксплуатации системы внутрипочвенного орошения сельскохозяйственных культур очищенными сточными водами в Сакском районе Республики Крым / В. И. Кременской, А. М. Джапарова, А. И. Демуренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 3(67). – С. 16–22.

8 Волкова, Н. Е. Использование очищенных сточных вод в Крыму: опыт прошлого, реалии настоящего / Н. Е. Волкова, Р. Ю. Захаров // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 144–159. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec502-field6.pdf.

УДК 627.83; 626.824

В. И. Коржов, А. А. Белоусов
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ВОДОЗАБОРА И ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ВЕРХНЕМУ БЬЕФУ

Целью исследований являлось повышение точности определения возможных режимов работы водозаборных и регулирующих сооружений оросительных систем путем создания и использования средств информационно-технологической поддержки процессов водораспределения. Разработанные средства ориентированы на использование схемы регулирования по верхнему бьефу. Они позволяют: устанавливать поддерживаемые уровни в верхних бьефах каналов водораспределительной сети; моделировать режимы работы водопотребителей, головного водозаборного сооружения, регулирующих перегораживающих сооружений; осуществлять графический контроль процессов моделирования. Могут использоваться для профессиональной подготовки персонала диспетчерских служб, а также проектными и эксплуатационными организациями, занимающимися вопросами водопользования и водораспределения.

Ключевые слова: оросительная система, водораспределение, регулирование, водозаборные и регулирующие сооружения, режимы работы, расходы и уровни воды.

****

V. I. Korzhov, A. A. Belousov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

SIMULATION MEANS OF WATER INTAKES AND WATER DISTRIBUTION OPERATION MODES IN THE IRRIGATION SYSTEM WHEN USING THE UPSTREAM REGULATION SCHEME

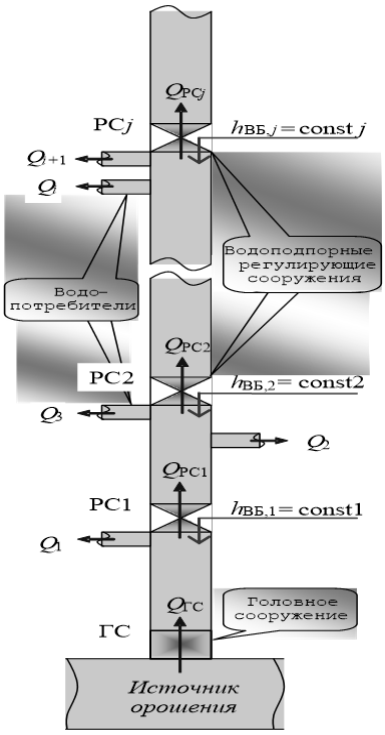
The aim of the research was to improve the accuracy of determining the possible operation modes of water intake and regulatory structures of irrigation systems by the creation and use of IT support of water distribution processes. The developed means are focused on the use of the upstream regulation scheme. They allow: to determine the supported levels in the upstream of the distribution network; to simulate the operation modes of water consumers, the head water intake structure, which regulates control structures; to carry out graphic control of modeling processes. They can be used for professional training of dispatch personnel, as well as for design and operational organizations dealing with water use and water distribution.

Key words: irrigation system, water distribution, regulation, water-intake and regulation structures, operation modes, water discharge and water levels.

Введение. Одними из первоочередных задач проектирования и эксплуатации оросительных систем являются задачи обеспечения транспортирования требуемых расходов и объемов воды [1]. Значения этих расходов и объемов определяются многими факторами: потребностями в воде потребителей, принятыми на системе правилами водопользования, складывающимися эксплуатационно-хозяйственными условиями и т. п. Эффективность реализации этих задач во многом определяется техническими возможностями водораспределительной сети, и в первую очередь входящими в ее состав водозаборными и регулирующими сооружениями, каналами, регулирующими емкостями [2].

Признавая наличие достаточно большого перечня теоретически разработанных схем регулирования водораспределения [3], следует констатировать, что подавляющее большинство действующих оросительных систем России построены по принципу регулирования по верхнему бьефу [4]. К достоинствам этого способа регулирования относят обеспечение точного водораспределения в соответствии с принятым планом водопользования, простоту реализации и эксплуатации, надежность. Основные недостатки: неизбежность холостых сбросов при уменьшении водопотребления и в аварийных ситуациях, и наоборот, возможность возникновения дефицитов воды у нижележащих водопотребителей при незапланированном увеличении водопотребления у вышележащих [5]. При этом если ранее к этим недостаткам можно было относиться с пониманием (из-за отсутствия необходимых средств регулирования, связи, информационно-технологической поддержки), то в настоящее время появились возможности их минимизации. Один из путей решения проблемы – проведение имитационного моделирования (превентивного или оперативного) различных вариантов водораспределения на системе и определение на его основе таких режимов работы ее водозаборных и регулирующих сооружений, которые обеспечивали бы наибольшую эффективность использования имеющихся водных, энергетических и других ресурсов [6]. Техническая реализация такой задачи определяет необходимость разработки соответствующих средств информационно-технологической поддержки, ориентированных на решение задач управления водораспределением на оросительной системе [7].

Материалы и методы. Задача исследований, представленных в настоящей работе, состояла в обеспечении имитационного моделирования процесса управления водораспределением на открытой оросительной системе при использовании принципа регулирования по верхнему бьефу. Моделируемая схема водораспределения приведена на рисунке 1.



ГС – головное водозаборное сооружение; PC1, PC2, …, PC$_j$ – водоподпорные регулирующие сооружения; $Q_{ГС}$ – расход головного сооружения; Q_{PC1}, Q_{PC2}, …, Q_{PCj} – расходы через PC; Q_1, Q_2, …, Q_i – расходы водопотребителей; $h_{ВБ,1}$, $h_{ВБ,2}$, …, $h_{ВБ,j}$ – поддерживаемые уровни верхних бьефов

Рисунок 1 – Моделируемая схема управления водораспределением по верхнему бьефу

Схема включает в себя:

- источник орошения;
- головное водозаборное сооружение, подающее воду в систему из источника орошения;
- распределительную сеть открытых каналов;
- подпорно-регулирующие сооружения, обеспечивающие поддержание фиксированных уровней в своих верхних бьефах;
- водопотребителей, забирающих воду из системы.

По результатам работы системы должны обеспечиваться:

- забор (подача) воды в систему в нужное время и в нужном количестве;
- подача воды водопотребителям в соответствии с поданными ими заявками на водоподачу в нужное время и в нужном количестве;
- работа каналов, сооружений и оборудования в оптимальных режимах;
- исключение аварийных и нештатных ситуаций.

При моделировании управления водораспределением в качестве исходной информации для моделирования требуются:

- схема водораспределения на системе;
- характеристики головного водозаборного сооружения;
- уровни воды, поддерживаемые в верхних бьефах каналов;
- заявки потребителей на водоподачу: расходы, сроки подачи;
- принятый на системе интервал регулирования.

Результаты и обсуждение. В соответствии с этим алгоритмом управление водораспределением на оросительной системе сводится к следующему.

При подготовке к процессу управления:

- принимаются заявки от водопользователей $Q_{\text{в/п},i}$ (м^3/с) на весь планируемый интервал управления t (блок 1);
- на основании поданных заявок водопользователей рассчитываются расходы, которые должны поддерживаться на головном сооружении $Q_{\text{ГС}}(t)$ (м^3/с) и регулирующих сооружениях $Q_{\text{РС}}(t)$ (м^3/с) (блок 2):

$$Q_{\text{гс}}(t) = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{\text{в/п},i}(t)}{k_{\text{пд},i}},$$

где n – количество нижележащих водопотребителей, ед.;

$Q_{\text{в/п},i}$ – заявленные заявки на водоподачу, поданные потребителями, м^3/с;

$k_{\text{пд},i}$ – коэффициенты полезного действия участков распределительной сети;

- устанавливаются уровни воды, которые необходимо поддерживать в верхних бьефах подпорных регулирующих сооружений $h_{\text{ВБ,уст}}$ (м) (блок 3).

После этого начинается процесс моделирования управления водораспределением (блок 4), которое включает следующую последовательность действий.

1 Производится инициализация начала времени t (ч), для которого будет производиться моделирование управления (блок 5).

2 Исходя из принятого интервала регулирования на системе $\Delta t_{\text{рег}}$ (ч), определяется текущее время, для которого будет производиться моделирование (блок 6):

$$t = t + \Delta t_{\text{рег}}.$$

3 Исходя из заявок $Q_{\text{в/п},i}$ (м^3/с), поданных водопользователями на данный интервал времени, устанавливается режим водоподачи каждому из них (блок 7).

4 Исходя из технических характеристик головного водозаборного сооружения, устанавливается фактически возможный режим подачи воды в систему головным сооружением $Q_{\text{ГС}}$ (м^3/с) (блок 8).

5 Рассчитывается дисбаланс между расходом воды, подаваемой в систему головным сооружением $Q_{ГС}$ (м^3/с), и расходом воды, забираемой из нее водопользователями:

$$\Delta Q = Q_{ГС} - \sum_{i=1}^{n} Q_{в/п,i} \, .$$

6 Последовательно выбирается каждое подпорное регулирующее сооружение (блок 9), и для него производится регулирование уровня воды в верхнем бьефе. Оно сводится к следующему.

6.1 Производится измерение фактического уровня воды в верхнем бьефе выбранного подпорного регулирующего сооружения $h_{вб,факт}$ (блок 10).

6.2 Вычисляется отклонение фактического уровня $h_{ВБ,факт}$ (м) от установленного $h_{ВБ,уст}$ (м) (блок 11):

$$\Delta h_{ВБ} = \Delta h_{ВБ,факт} - \Delta h_{ВБ,уст}.$$

При этом:

- если фактический уровень оказывается ниже заданного, то производится уменьшение подачи воды, подаваемой в нижний бьеф, и за счет этого устранение возникшего рассогласования (блок 12). При этом выдается сообщение: «Внимание! Возможен дефицит у нижележащих водопользователей» (блок 13);
- если фактический уровень оказывается выше заданного, то производится увеличение подачи воды, подаваемой в нижний бьеф сооружения, и за счет этого устранение возникшего рассогласования (блок 14). При этом выдается сообщение: «Внимание! Возможен непроизводительный сброс воды из системы» (блок 15).

Такое регулирование производится до тех пор, пока в верхнем бьефе регулирующего подпорного сооружения не установится баланс $\Delta h_{ВБ} = 0$.

После этого производится переход к регулированию на следующем подпорном регулирующем сооружении (блоки 16 и 17).

7 После того как отрегулированы все сооружения, производится текущий контроль процесса водораспределения в пределах заданного интервала регулирования $\Delta t_{рег}$ (блоки 18 и 19) без оперативных вмешательств в процесс водораспределения. В случае же возникновения каких-либо нештатных ситуаций (блок 20) моделируется сообщение: «Внимание! Отклонения от штатного режима» (блок 21), после которого при необходимости может быть проведено неплановое перерегулирование системы (блок 7).

8 По окончании текущего интервала регулирования $\Delta t_{рег}$ производится сохранение результатов водораспределения (блок 22) и осуществляется переход к следующему (плановому) интервалу регулирования $\Delta t_{рег} + 1$, и процедура моделирования на этом интервале повторяется, начиная с блока 6.

9 После того как весь суточный режим моделирования на всех интервалах регулирования завершен (или по инициативе оператора в любой момент), процесс моделирования водораспределения на системе завершается (блок 23).

Алгоритм программы моделирования представлен на рисунке 2.

На основе данных, полученных при моделировании:

- рассчитываются суммарные объемы воды, забранные водопользователями $W_{в/п,\Sigma}$ и поданные в систему головным водозаборным сооружением $W_{гс,\Sigma}$ (блок 24):

$$W_{в/п} = \sum_{i=1}^{n} Q_{в/п,i} \cdot \Delta t_{рег} \, ,$$

$$W_{ГС} = \sum_{i=1}^{n} Q_{ГС,i} \cdot \Delta t_{рег} \, ;$$

- вносятся (или вводятся в базу данных) все предусмотренные технологией диспетчерской службы сведения в диспетчерский журнал (блок 25).

На этом процесс моделирования заканчивается.

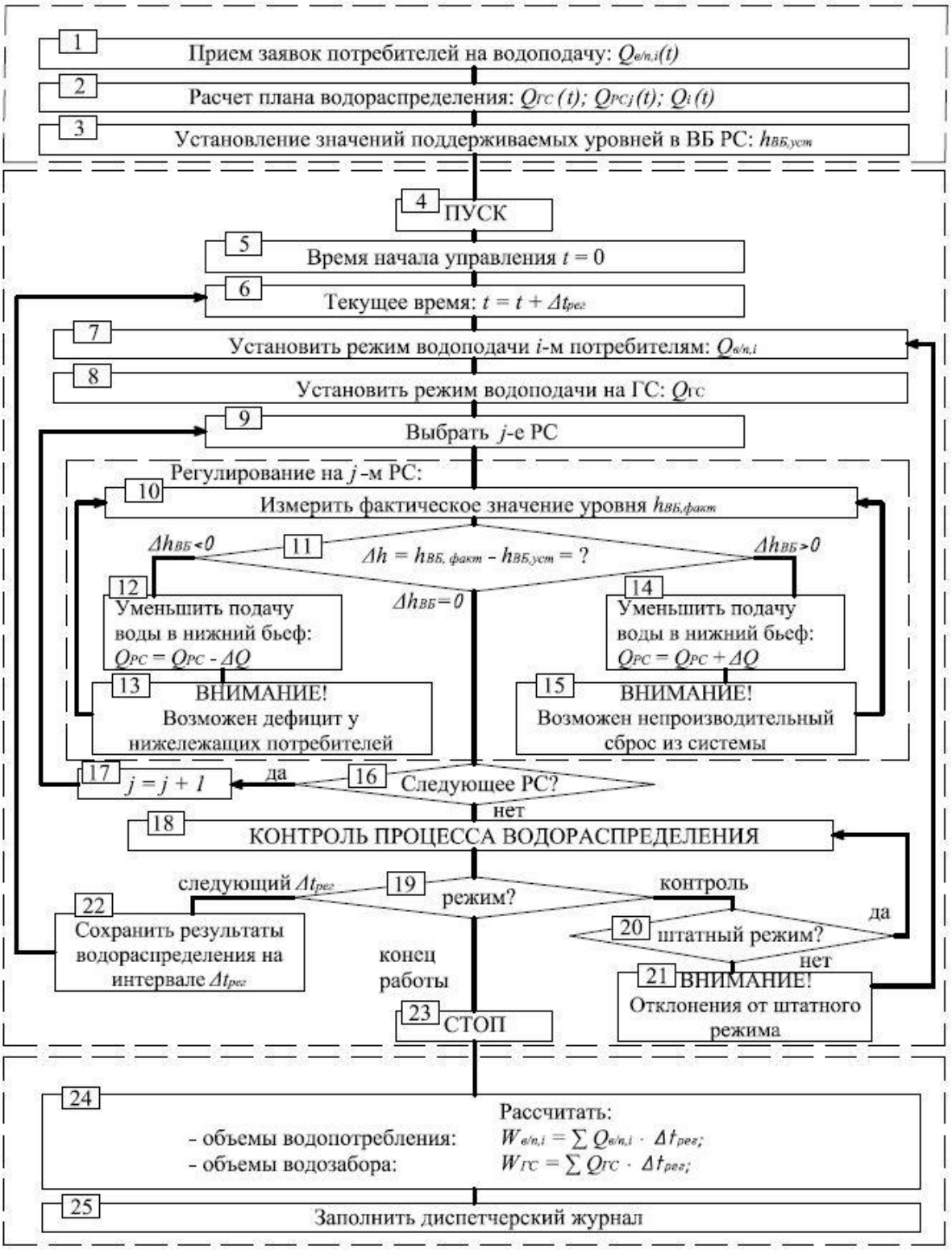


Рисунок 2 – Алгоритм программы моделирования управления водораспределением с использованием принципа регулирования по верхнему бьефу

Интерфейс программы моделирования управления водораспределением с использованием принципа регулирования по верхнему бьефу приведен на рисунке 3.

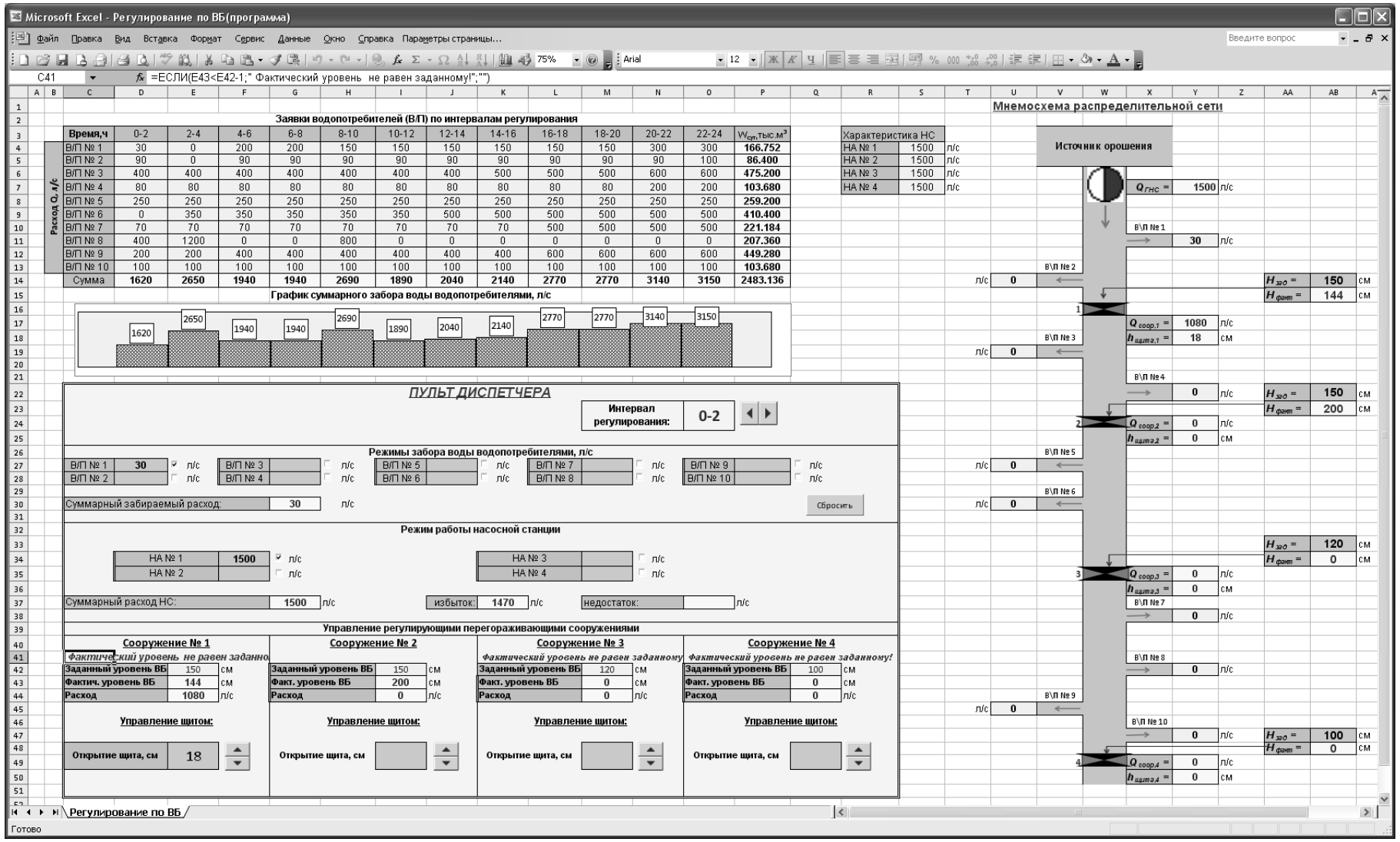


Рисунок 3 – Интерфейс программы моделирования управления водораспределением с использованием схемы регулирования по верхнему бьефу

Выводы

1 Повышение точности определения режимов работы водозаборных и регулирующих сооружений может быть достигнуто путем создания средств информационно-технологической поддержки процессов водораспределения.

2 Разработанные средства позволяют: устанавливать поддерживаемые уровни в верхних бьефах каналов водораспределительной сети; моделировать режимы работы водопотребителей, головного водозаборного сооружения, регулирующих перегораживающих сооружений; осуществлять графический контроль процессов моделирования.

3 Разработанные средства могут использоваться для профессиональной подготовки персонала диспетчерских служб, а также проектными и эксплуатационными организациями, занимающимися вопросами водопользования и водораспределения.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Состояние и перспективы использования орошаемых земель в Ростовской области / С. М. Васильев, Т. В. Сергеева // Вопросы мелиорации: информ. бюл. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2005. – № 7–8. – С. 29–36.

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

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

4 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.

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

6 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.

7 Коржов, В. И. Информационно-технологическое обеспечение водопользования на оросительных системах: монография / В. И. Коржов. – Ростов н/Д.: Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион, 2006. – 128 с.

УДК 626.81/.84:626.8

С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, М. А. Ляшков
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В данной статье проанализирована экономическая эффективность внедрения процесса автоматизации водораспределения и целесообразность проведения мероприятий по реконструкции оросительной системы. В результате расчетов годовой экономический эффект составил 71054 руб./га, срок окупаемости капитальных вложений 0,9 года, коэффициент абсолютной экономической эффективности равен 1,1, следовательно, проведение мероприятий по реконструкции оправданно. Автоматизация оросительной системы позволила снизить затраты, связанные с расходом воды, за счет снижения нежелательных потерь в канале. Показатель многоцелевой эффективности находится в пределах 1, что подтверждает целесообразность автоматизации оросительной системы в процессе реконструкции.

Ключевые слова: автоматизация, водораспределение, оросительная система, экономическая эффективность, затраты, рентабельность.

****

S. M. Vasilyev, Yu. E. Domashenko, M. A. Lyashkov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

ECONOMIC EFFICIENCY OF THE IMPLEMENTATION OF THE WATER DISTRIBUTION AUTOMATION PROCESS DURING THE IRRIGATION SYSTEM RECONSTRUCTION

The economic efficiency of the implementation of water distribution automation process and the expediency of conducting activities for the reconstruction of the irrigation system are analyzed. As a result of the calculations the annual economic impact amounted to 71054 rubles/ha, the payback period of capital investments is 0.9 years, the absolute economic efficiency coefficient is 1.1, therefore, the reconstruction measures are justified. The irrigation system automation has reduced the costs associated with water consumption by reducing unwanted canal losses. The multipurpose efficiency indicator is within 1, which confirms the expediency of irrigation system automation during reconstruction.

Key words: automation, water distribution, irrigation system, economic efficiency, costs, profitability.

Введение. На современном этапе мелиорация занимает одно из ведущих мест в современной аграрной отрасли и является гарантом продовольственной безопасности страны.

Орошаемое земледелие в нашей стране требует огромной работы по модернизации оросительных систем, при этом для рационального использования оросительной воды необходимо оперативное водораспределение на основе достоверного водоучета [1, 2].

Вместе с тем урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых землях все еще остается ниже плановой из-за нерационального использования поливной воды и технического несовершенства оросительных систем, особенно их внутрихозяйственной части.

Внутрихозяйственная сеть оросительных систем наиболее протяженная, с большим количеством регулируемых сооружений, которые, как правило, не имеют средств автоматизации. Во время поливов здесь очень часто возникают нежелательные явления: переполняются оросители и каналы, поливная вода идет на сброс или, наоборот, потребитель не получает ее в необходимом объеме. Это нарушает нормальную эксплуатацию оросительной сети, срывает сроки полива и отрицательно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур [3, 4].

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при внедрении автоматизации водораспределения на гидромелиоративной системе получается за счет внедрения оптимальных режимов орошения, так как система автоматизации, управляющая гидромелиоративной сетью, позволяет с высокой точностью подавать на орошаемые поля заданное количество воды в заданное время [5, 6].

Материалы и методы. Для определения эффективности реконструкции оросительных систем за счет внедрения автоматизации водораспределения в процессе использования сельскохозяйственных угодий применяется математический метод экономических исследований, разработанный академиком Л. В. Канторовичем и доцентом А. Б. Горстко. Для этого сравнивают результаты производства после реконструкции и введения орошаемых земель с результатами, которые получали в аналогичных условиях без реконструкции оросительных систем. Из этого следует, что годовой экономиче-

ский эффект определяется разностью чистых доходов по базовому объекту до реконструкции и после проведения реконструкции [7, 8].

Решение вопроса о целесообразности организации работ по автоматизации оросительной системы основано на многоцелевой (многокритериальной) оптимизации эффективности инвестиционных проектов. Вначале устанавливаются натуральные показатели (объем потерь на фильтрацию, недополитая из-за этого площадь, снижение урожая, уменьшение стоимости сельскохозяйственной продукции ввиду ее низкой экологической безопасности и т. д.), а затем определяют величину ущерба (в стоимостном выражении), включая штрафы и восстановление поврежденных элементов оросительных систем [9, 10].

Результаты и обсуждение. Определяем годовой экономический эффект:

$$\Delta Э = П_р - П_о = [(В_р - C_р - eИ_р) - (В_о - C_о - eИ_о)]\sum F,$$

где $\Delta Э$ – ожидаемый экономический эффект, руб./га;

$П_р$, $П_о$ – чистый доход до реконструкции и после ее проведения;

$В_р$, $В_о$ – стоимость валовой продукции в сравниваемых вариантах, руб./га;

$C_р$, $C_о$ – издержки производства после и до реконструкции, ру./га;

e – коэффициент приведения инвестиций, равный норме прибыли или банковской учетной ставке;

$И_р$, $И_о$ – инвестиции в сравниваемых вариантах соответственно после реконструкции и до реконструкции, руб./га;

$\sum F$ – осваиваемая площадь, га.

Результаты расчетов сравниваются с нормативными и аналогичными показателями базисного варианта. Инвестиции в реконструкцию признаются целесообразными, если полученные для них показатели общей эффективности ниже нормативных значений для объектов соответствующей специализации.

В качестве нормативных приняты показатели коэффициента приведения инвестиций (общей экономической эффективности), который для объектов мелиорации составляет 0,12 [8, 11].

Прирост объемов сельскохозяйственной продукции в натуральных показателях определяли для ведущих культур зерно-кормового севооборота суммарно в стоимостном выражении (всего) и на 1 га площади орошения (нетто) в абсолютных значениях.

Формула может быть преобразована и представлена в виде:

$$\Delta Э = (П_р - П_о) - (eИ_р - eИ_о) - (C_р - C_о),$$

$$\Delta Э = \Delta П_{ро} - e\Delta И_{ро} - \Delta C_{ро}.$$

Инвестиции в реконструкцию межхозяйственной оросительной сети (внедрение системы автоматизации) $И_{рм}$ составят 8,45 млн руб., что в удельных показателях составит 21125 руб./га. Затраты на автоматизацию внутрихозяйственной сети $И_{рв}$ составят 16,87 млн руб., или в удельных показателях 42175 руб./га (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные для расчета экономического эффекта от реконструкции

Наименование показателя	Значение параметра	
	до реконструкции	после реконструкции
1	2	3
1 Удельные вложения в межхозяйственную сеть, руб./га	–	21125
2 Удельные вложения во внутрихозяйственную сеть, руб./га	–	42175

Продолжение таблицы 1

1	2	3
3 Осваиваемая площадь, га	–	400
4 Тип севооборота и урожайность сельскохозяйственных культур (овоще-кормовой), т/га Структура: овощи (морковь) – 50 % люцерна на сено – 50 %	 34,0 3,8	 41,0 6,4
5 Стоимость дополнительной продукции в ценах 2019 г., руб./га: овощи при цене 12000 руб./т люцерна на сено при цене 4500 руб./т	 408000 17100	 492000 28800
6 Дополнительные затраты, связанные с реконструкцией, эксплуатацией, руб./га	–	3450
7 Дополнительные затраты, связанные с орошением, руб./га: внедрение современных дождевальных машин внедрение капельного орошения	 – –	 4100 1500
8 Обеспечение поливов		8000

Для введения в строй орошаемых земель потребуются инвестиции ($И_р$) в размере:

$$И_р = И_{рм} + И_{рв}.$$

Оценка экономической эффективности первой очереди реконструкции оросительных систем проведена на основе изучения фактического технического уровня объекта реконструкции и в соответствии с нормативно-технической документацией.

Срок окупаемости капитальных вложений составит:

$$T = \frac{И_р}{ΔЭ}.$$

Коэффициент абсолютной экономической эффективности:

$$K_{эф} = \frac{ΔЭ}{И_р}.$$

Коэффициент экономической эффективности превышает минимально допустимое нормативное значение 0,2, принятое для объектов мелиоративного строительства и реконструкции, срок окупаемости меньше нормативного, следовательно, проведение реконструкции оправдано.

Уровень рентабельности реконструкции для овоще-кормового севооборота составит:

$$Р = \frac{ΔП_{ро}}{ΔC_{ро} + e \cdot И_р}.$$

Определение оптимального размера площади реконструкции, связанной с автоматизацией оросительной системы.

Затраты на ремонтные работы определяются по формуле:

$$З = C_Э + E_Н к,$$

где $C_Э$ – дополнительные эксплуатационные расходы на обеспечение эксплуатационной надежности и экологической безопасности внедрения автоматизации;

$E_Н$ – норматив эффективности капитальных вложений;

к – капвложения в мероприятия, связанные с проектно-изыскательскими и строительными работами на водоисточнике и орошаемом участке.

Для обеспечения оптимального размера площади реконструкции необходимо, чтобы $З + У \to \min$, где У – ущерб (в стоимостном выражении).

Это условие позволяет найти оптимальный вариант.

В настоящее время устанавливается такой норматив либо на уровне процентной ставки i, либо как норматив рентабельности инвестиций $R_{\text{Н}}$. Исходя из этого, можно приведенные затраты представить следующим образом:

$$З_i = C_{эi} + i к_i = \min,$$

$$З_i = C_{эi} + R_{\text{Н}} к_i = \min.$$

При автоматизации оросительных систем возникает необходимость в достижении совокупности экономического, социального и экологического эффектов. Для этого применяем метод многоцелевой (многокритериальной) оптимизации, основой которого является получение наилучшего сочетания показателей эффективности по всей совокупности целей.

Показатель многоцелевой эффективности находим по формуле:

$$E_h = \sum_{i=1}^{n} v_i e_{кi},$$

где v_i – весовой коэффициент или оценка значимости цели i;

$e_{кi}$ – оценка эффективности варианта к в отношении обеспечения цели i.

Весовые коэффициенты следует определять экспертным путем, а оценки эффективности как:

$$e_{кз} = \frac{\overline{З}_{\min}}{\overline{З}_{к}} \text{ – для минимизируемых показателей,}$$

$$e_{кε} = \frac{ε_{к}}{ε_{\max}} \text{ – для максимизируемых показателей,}$$

где $\overline{З}_{к}$, $\overline{З}_{\min}$ – расчетные затраты для варианта с их минимальным значением;

$ε_{к}$, $ε_{\max}$ – принятые качественные показатели для варианта с их максимальным значением.

Рассмотрим пример выбора и обоснования внедрения автоматизации водораспределения на каналах оросительной системы.

Экономическая оценка в каждом из вариантов проводится следующим образом:

- инженерные изыскания, делящиеся на три вида: инженерно-технические, технико-экономические и экологические. Предметом служит изучение природных условий района с целью их правильного учета и использования при разработке проекта;

- технико-экономические изыскания для комплексного изучения экономических условий района, перспектив его развития, выявления возможностей обеспечения материалами, электроэнергией, топливом и другими материальными и трудовыми ресурсами;

- экологические изыскания и исследования направлены на изучение взаимосвязи между экосистемой сельскохозяйственного района и водами канала, установление безусловных ограничений по экологически безопасному использованию водных ресурсов на оросительной системе и необходимых природоохранных мероприятий, предотвращающих возможные негативные моменты.

Все виды изысканий имеют первостепенное значение.

Поставлены цели: минимизация приведенных затрат, создание необходимого объема воды для обеспечения орошаемого участка.

Намечаются весовые коэффициенты: v_1 = 0,3; v_2 = 0,7.

Варианты характеризуются:

- приведенными затратами, связанными с расходом воды (на м^3): $З_1$ = 300 руб.; $З_2$ = 278 руб.;

- протяженностью оросительного канала: S_1 = 18 км; S_2 = 18 км.

Определение показателей многоцелевой эффективности внедрения автоматизации оросительной системы осуществляется в двух вариантах. Первый вариант характеризует состояние системы до реконструкции, а второй вариант обусловлен уже внедрением на оросительной системе процесса автоматизации водораспределения.

Все расчеты сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета экономической эффективности внедрения процесса автоматизации водораспределения

Наименование показателя	Единица измерения	Расчетные данные
Ожидаемый экономический эффект	руб./га	71054
Инвестиции	руб./га	63300
Срок окупаемости капитальных вложений	лет	0,9
Коэффициент абсолютной экономической эффективности	–	1,1
Уровень рентабельности	%	388
Показатель многоцелевой эффективности: - до реконструкции - после реконструкции	 – –	 0,98 1

Как видно из расчетов, представленных в таблице 2, показатель многоцелевой эффективности выше во втором варианте. Это свидетельствует о том, что проведение реконструкции оросительной системы, заключающейся в автоматизации водораспределения, целесообразно. Приведенные затраты, связанные с расходом воды, при автоматизации оросительной системы снижаются за счет снижения нежелательных потерь воды в канале.

Выводы. Реконструкция оросительной системы позволила автоматизировать процесс водораспределения от водоисточника до орошаемого поля за счет управления технологическими процессами подачи поливной воды на оросительную систему. Это позволяет эффективно использовать водные ресурсы за счет оперативного планирования и управления водопользованием.

Проведенное технико-экономическое обоснование подтверждает высокую эффективность автоматизации оросительной системы. Годовой экономический эффект составил 71054 руб./га, или 21421,6 тыс. руб. на 400 га. Срок окупаемости капитальных вложений 0,9 года. Показатель многоцелевой эффективности внедрения процесса автоматизации находится в пределах 1, что свидетельствует о целесообразности проведения реконструкции оросительной системы.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Повышение устойчивости и эффективности использования агроландшафтов аридной зоны в условиях постоянного циклического орошения / С. М. Васильев. – Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2006. – 364 с.

2 Щедрин, В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 255 с.

3 Найденов, С. В. Оптимизация водораспределения на оросительных системах при дефиците водных ресурсов / С. В. Найденов, С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 132–136.

4 Управление водораспределением на открытых оросительных системах на основе гидрологической информации и агрометеопараметров / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, А. В. Акопян, В. В. Слабунов // Известия НВ АУК. – 2014. – № 2(34). – С. 152–158.

5 Васильев, С. М. Регулирование управленческих процессов в структурирован-

ных проблемных ситуациях АПК / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 4. – С. 12–13.

6 Эксплуатация гидромелиоративных систем / В. И. Ольгаренко [и др.]; под ред. В. И. Ольгаренко. – М.: Колос, 1980. – 352 с.

7 Яндыганов, Я. Я. Экономика природопользования / Я. Я. Яндыганов. – Екатеринбург: УГЭУ, 1997. – 764 с.

8 Канторович, Л. В. Оптимальные решения в экономике / Л. В. Канторович, А. Б. Горстко. – М.: Наука, 1972. – 96 с.

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

10 Васильев, С. М. Экологическая концепция оценки воздействия оросительных систем на ландшафты Нижнего Дона / С. М. Васильев, В. Ц. Челахов, Е. А. Васильева; СКНЦ ВШ, ФГНУ «РосНИИПМ». – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 307 с.

11 Бренц, А. Д. Экономика газодобывающей промышленности / А. Д. Бренц, В. Я. Гандкин, Г. С. Уринсон. – М.: Недра, 1975. – 248 с.

УДК 551.579

Е. В. Компаниец
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОДНИКОВ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКОВ ОРОШЕНИЯ

Целью данного исследования является рассмотрение возможности использования родников в качестве источников орошения сельскохозяйственных культур. Для проведения исследования выполнено маршрутное обследование территории каптажного водозабора в районе ст. Гостагаевской, выявлены технические характеристики каптажного сооружения, отобраны пробы воды из источника водоснабжения. В результате исследования выявлена пригодность родников для использования их в качестве источников орошения сельскохозяйственных объектов.

Ключевые слова: родники, орошение, водные ресурсы, сельскохозяйственные нужды, Черноморское побережье, каптажный водозабор.

****

E. V. Kompaniets
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

THE USE OF SPRINGS OF THE BLACK SEA COAST AS A SOURCE FOR IRRIGATION

The purpose of this study is to consider the possibility of using springs as sources for irrigation of crops. To conduct the study the route survey of the territory of water catchment structure in the area of Gostagaevskaya was completed, the specifications of water catchment structures were found, water samples from a water supply source were collected. As a result of research the availability of springs as sources of irrigation of agricultural objects is revealed.

Key words: springs, irrigation, water resources, agricultural needs, the Black sea coast, water catchment structure.

Согласно данным водного кадастра, юг России является одним из наименее обеспеченных водными ресурсами регионов [1]. Также территория Краснодарского

края является одним из лидеров в агропромышленном производстве страны, что влечет за собой дополнительные расходы водных ресурсов. Наиболее остро недостаток питьевых вод ощущается на территории Черноморского побережья [2].

Подземные воды представляют собой недра, которые являются собственностью государства. Для получения права пользования государственными недрами недропользователь обязан оформить лицензию на право пользования недрами [3]. Согласно данным Департамента по недропользованию и Министерства природных ресурсов, лицензия на недропользование в первую очередь выдается для хозяйственно-питьевых целей населения (санитарно-гигиенические, коммунально-бытовые и производственные нужды). Для сельскохозяйственных нужд применение подземных вод разрешается только в случае достаточной обеспеченности запасами, что не свойственно Черноморскому региону [4, 5].

Источниками орошения сельскохозяйственных культур могут являться поверхностные воды – реки. Водозабор из рек Черноморского побережья усложняется паводочным режимом рек [6, 7]. Также речная вода в своем химическом составе имеет повышенное содержание железа и высокую жесткость, что может быть губительным для сельскохозяйственных культур [8]. Следовательно, возникает вопрос поиска дополнительных источников сельскохозяйственного водоснабжения, которыми могут выступать родниковые воды [9].

В данной работе рассматривались родники территории города-курорта Анапы в районе ст. Гостагаевской. Данный каптажный водозабор расположен в 3,0 км восточнее ст. Гостагаевской. Каптажный водозабор каптирует восходящие родники верхнемелового водоносного горизонта ($2К_2$), который сложен сложнодислоцированной толщей, преимущественно карбонатного флиша, представлен ритмичным переслаиванием маломощных прослоев известняков, мергелей и песчаников с практически водоупорными аргиллитами и глинистыми мергелями. Подземные воды верхнемеловых отложений в зоне активного водообмена обычно безнапорные, с глубиной залегания, не превышающей первых десятков метров. В зоне активного водообмена дебиты родников колеблются от 0,01 до 2,8 л/с, обычно же составляют 0,03–0,5 л/с. Наиболее высокодебитные родники (до 15,3–40 л/с) относятся к трещинно-карстовому типу. Воды преимущественно гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,2–0,7 г/дм^3.

Каптаж представляет собой колодец диаметром 9,0 м с высотой оголовка 1,0 м, выполнен каменной кладкой и накрыт куполообразной железобетонной крышей, в которой устроен металлический люк. Люк колодца закрывается на замок.

Технические и гидрогеологические параметры каптажного водозабора в районе ст. Гостагаевской представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические и гидрогеологические данные каптажного водозабора

Показатель	Каптажный водозабор
1 Глубина, м	2,0
2 Геологический возраст	$2К_2$
3 Пьезометрический уровень, м	самоизлив
4 Дебит, м^3/ч	25
5 Марка установленного насоса	самоизлив
6 Водоотбор, м^3	18918
7 Средний суточный водоотбор, м^3/сут	88
8 Суммарная мощность водоносных горизонтов *m*, м	20

В ходе обследования проводился химический анализ родниковых вод. Качество вод каптажного водозабора проверялось путем отбора проб воды для определения органолептических, обобщенных, неорганических, органических и микробиологических показателей [10]. В результате проведения анализа было выяснено, что рассматриваемые

родниковые воды по типу воды относятся к гидрокарбонатным, жесткость в пределах 7,8 мг-экв/дм^3, сухой остаток колеблется в пределах 522–568 мг/дм^3, мутность и цветность не превышают 1, железо – менее 0,1 мг/дм^3, количество нитритов и нитратов не превышает допустимых показателей, микробиологические показатели также в норме.

По результатам химических анализов воды из каптажных колодцев за 2016–2017 гг. можно сделать вывод о том, что данная вода также может быть пригодна для хозяйственно-питьевых целей ст. Гостагаевской. Воды каптажного водозабора соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды в централизованных системах питьевого водоснабжения» по всем показателям и могут использоваться как для нужд орошения сельскохозяйственных культур, так и для питьевых нужд населения после обеззараживания с помощью электролизной установки [11] (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты проведения химического анализа вод

Наименование показателя качества воды	Единица измерения	ПДК	Место отбора (дата проведения анализа)	
			каптажный колодец (2016 г.)	каптажный колодец (2017 г.)
1	2	3	4	5
Обобщенные показатели				
1 Водородный показатель (pH)	единицы	6,0–9,0	7,8	7,5
2 Сухой остаток	мг/дм^3	1000 (1500)	522	568
3 Жесткость общая	°Ж	7,0 (10)	7,8	7,8
4 Окисляемость перманганатная	мг/дм^3	5,0	0,25	0,25
Органолептические показатели				
5 Цветность	градусы	20 (35)	< 1	< 1
6 Мутность	мг/дм^3	1,5 (2)	< 1	< 1
Общий химический состав				
7 Железо общее	мг/дм^3	0,3 (1,0)	< 0,1	< 0,1
8 Аммиак	мг/дм^3	2,0	< 0,05	< 0,05
9 Нитриты	мг/дм^3	45	25,6	34,2
10 Нитраты	мг/дм^3	3,0	< 0,003	< 0,003
11 Нефтепродукты	мг/дм^3	0,1	0,013	0,0007
12 Сульфаты	мг/дм^3	500	47	65
13 Хлориды	мг/дм^3	350	16	20
Микрокомпонентный состав				
14 Фтор (для III климатического района)	мг/дм^3	1,2	0,440	0,427
15 Мышьяк	мг/дм^3	0,05	< 0,001	< 0,0001
16 Кадмий	мг/дм^3	0,001	< 0,0001	< 0,0001
17 Цинк	мг/дм^3	5,0	< 0,0005	< 0,0005
18 Марганец	мг/дм^3	0,1 (0,5)	< 0,002	< 0,002
19 Медь	мг/дм^3	1,0	< 0,0005	0,0047
20 Ртуть	мг/дм^3	< 0,0005	< 0,0001	< 0,0001
21 Молибден	мг/дм^3	0,25	< 0,025	< 0,025

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Микробиологические показатели				
22 Общее микробное число (ОМЧ)	КОЕ/см^3	не более 50	не обнаружены	не обнаружены
23 Бактерии семейства Enterobakter	100 см^3	0	не обнаружены	не обнаружены
24 Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	100 см^3	0	не обнаружены	не обнаружены

Данный каптажный водозабор каптирует подземные воды качества, соответствующего СанПиН 2.1.4.1110-02. Следовательно, на водозаборе должны проводиться мероприятия для поддержания и улучшения качества подземных вод [12]. На территории водозабора должны быть организованы зоны санитарной охраны источника водоснабжения и водопроводных сооружений [13].

Зона санитарной охраны представляет собой специально выделенную территорию, в пределах которой осуществляются особые санитарно-экологические мероприятия, исключающие возможность поступления загрязнений в водозаборные сооружения и в водоносные горизонты в районе водозабора, и включает в себя три пояса [14]:

- I пояс – зона строгого режима;
- II пояс – зона режима ограничений против бактериального (микробного) загрязнения;
- III пояс – зона режима ограничений от химического загрязнения.

Первый пояс включает территорию расположения водозабора и предназначен для защиты источников водоснабжения и водозаборных сооружений от случайного или умышленного загрязнения подземных вод и повреждений сооружений. Второй и третий пояса включают территорию, предназначенную для предупреждения загрязнения воды источников водоснабжения.

Режим эксплуатации и защитные мероприятия в пределах зон санитарной охраны устанавливаются в зависимости от местных санитарных и гидрогеологических условий.

После проведения всех необходимых мероприятий родниковые воды данного водозаборного сооружения могут использоваться как для хозяйственно-питьевых, так и для сельскохозяйственных нужд населения.

Список использованных источников

1 Белюченко, И. С. Экология Кубани / И. С. Белюченко. – Краснодар: Изд-во КГАУ, 2005. – Ч. 1. – 513 с.

2 Щедрин, В. Н. К обоснованию экологических норм водопотребности различных типов почв для оптимизации мелиоративного состояния и почвенного плодородия / В. Н. Щедрин, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 105–121. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec533-field6.pdf.

3 Yurchenko, I. F. Information support for decision making on dispatching control of water distribution in irrigation / I. F. Yurchenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1015. – P. 042063.

4 Yurchenko, I. F. Information support system designed for technical operation planning of reclamative facilities / I. F. Yurchenko // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2018. – Vol. 96, № 5. – P. 1253–1265.

5 Подземные воды в водных ресурсах и водном балансе бассейна р. Днепра /

М. М. Черепанский [и др.] // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2017. – № 1(149). – С. 7–18.

6 Любимова, Т. В. Интегральная оценка сложности инженерно-геологических условий территории Краснодарского края / Т. В. Любимова, Н. А. Бондаренко, А. В. Погорелов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2016. – № 121. – С. 2031–2044. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/129.pdf.

7 Волосухин, Я. В. Вопросы моделирования технического состояния водопроводящих каналов при проведении эксплуатационного мониторинга / Я. В. Волосухин, М. А. Бандурин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2012. – № 1. – С. 70–74.

8 Юрченко, И. Ф. Планово-предупредительные мероприятия повышения надежности мелиоративных объектов / И. Ф. Юрченко // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 73–79.

9 Бандурин, М. А. Пути повышения эффективности и устойчивости гидротехнических сооружений при длительном использовании в условиях изменяющихся погодных и сейсмических факторов / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 98–104.

10 Безопасность бесхозяйных гидротехнических сооружений / Г. Т. Балакай, И. Ф. Юрченко, Е. А. Лентяева, Г. Х. Ялалова. – Германия: LAP Lambert, 2016. – 85 с.

11 Yurchenko, I. F. Automatization of water distribution control for irrigation / I. F. Yurchenko // International Journal of Advanced and Applied Sciences. – 2017. – № 4(2). – P. 72–77.

12 Бандурин, М. А. Применение систем управления базами данных при эксплуатационном мониторинге водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 12, ч. 1. – С. 24–28.

13 Новые методы инженерно-геологического районирования территории Краснодарского края и Республики Адыгея / Т. В. Любимова, Н. А. Бондаренко, В. В. Стогний, А. В. Погорелов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2017. – № 132. – С. 239–248. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2017/08/pdf/19.pdf.

14 Разработка научно-методических основ оценки интегрального риска проявления экзогенных геологических процессов на территории Краснодарского края / Т. В. Любимова, Н. А. Бондаренко, В. В. Стогний, А. В. Погорелов // Бюллетень науки и практики. – 2017. – № 11(24). – С. 205–214.

УДК 528.83;627.8

А. Н. Рыжаков, В. Д. Гостищев
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА МЕЛИОРАТИВНОГО КАНАЛА ГРАЖДАНСКИМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

В статье представлены результаты исследований, посвященных использованию гражданских дронов коптерного типа для проведения топографической съемки на участке мелиоративного канала. Цель работы – оценить степень эффективности применения подобного рода устройств для выполнения геодезических работ на линейных или точечных объектах. Инженерно-геодезические изыскания были выполнены на участке Пролетарского канала (500 × 100 м). Был использован гражданский БПЛА коптерного типа DJI Mavic PRO. Для оценки применимости данного способа была осуществлена съемка в режиме RTK с применением спутникового оборудования глобального позиционирования (GNSS). В результате сравнения отметок были получены

следующие значения расхождений: в области, расположенной по дну канала, – 3 см; в области бровки канала и на его берегах – 15 см. Таким образом, качество аэросъемки рассмотренного метода достаточно для использования при геодезических изысканиях мелиоративных каналов без дополнительной наземной работы.

Ключевые слова: топографическая съемка, аэрофотосъемка, БПЛА, мелиоративный канал, цифровая модель рельефа.

****

A. N. Ryzhakov, V. D. Gostishchev
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

TOPOGRAPHIC SURVEY OF RECLAMATION CANAL BY UNMANNED AERIAL VEHICLE

The research results devoted to the use of the unmanned flying vehicle copter for topographic surveys at the reclamation canal sector are presented. The aim of the work is to estimate the level of efficiency of such facilities in performing geodetic works at linear or point objects. The topographical surveys were carried out on the site of the Proletarskiy Canal (500 × 100 m). The civilian UAV of the DJI Mavic PRO copter type was used. To assess the applicability of this method, an RTK survey was carried out using global positioning satellite equipment (GNSS). As a result of comparing the marks, the following difference values were obtained: in the area located along the bottom of the canal – 3 cm; in the area of the upper edge of the canal and on its banks – 15 cm. Thus, the quality of aerial surveys of the given method is sufficient for use in geodetic surveys of reclamation canals without additional ground work.

Key words: topographic survey, aerial survey, UAV, reclamation canal, digital terrain model.

Введение. Инновационное развитие водного хозяйства и мелиорации в России должно осуществляться с применением передового мирового опыта в сфере проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем и сооружений [1]. Одним из ключевых направлений внедрения инноваций является использование современных средств мониторинга и топографической съемки мелиоративных объектов.

Цель топографической съемки местности – создание инженерно-топографических планов в цифровом и графическом видах, служащих основой для проектирования, строительства и реконструкции объектов капитального строительства и создания геоинформационных систем [2].

Топографическую съемку можно производить тахеометрическим методом, с использованием спутниковых технологий [3, 4], лазерным сканированием, цифровой аэрофотосъемкой, а также сочетанием различных методов, в т. ч. с использованием данных дистанционного зондирования. Большинству этих методов присущи сложности, которые встают на пути получения качественных данных за приемлемое время. Такими сложностями могут быть как труднодоступность объекта изысканий, объем работ (площадь), особенности рельефа, наличие водных препятствий и многие другие [5]. Одной из технологий, позволяющих частично решить некоторые из перечисленных проблем, является аэрофотосъемка, которая на сегодняшний момент активно развивается благодаря в том числе появлению легких недорогих беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В настоящее время развитие аэросъемки направлено на повышение качества результатов с одновременным упрощением технологии, следствием которого является снижение стоимости. Тем не менее цена специализированных геодезических БПЛА, коптерного типа, оборудованных GNSS-приемником, или самолетного типа составляет несколько сотен тысяч и несколько миллионов рублей соответственно.

Однако развитие специализированного программного обеспечения в настоящее время позволяет превратить потребительский квадрокоптер в профессиональный инструмент для проведения топографической съемки и создания ортофотопланов.

Рассмотрим возможность использования гражданского дрона коптерного типа для топосъемки на участке мелиоративного канала, чтобы оценить степень эффективности применения подобного рода устройств для выполнения геодезических работ на небольших по площади линейных или точечных объектах.

Материал и методы. Инженерно-геодезические изыскания были выполнены на участке Пролетарского канала ниже головного водозаборного сооружения на ПК 1122 + 00 протяженностью 500 м (рисунок 1) в весенний период до его наполнения. Аэрофотосъемка производилась в безветренную погоду.

Рисунок 1 – Участок топографической съемки (Пролетарский канал)

Для данного исследования был использован гражданский БПЛА DJI Mavic PRO, стоимость которого составляет 85 тыс. руб. (рисунок 2). Он оснащен камерой со следующими характеристиками: матрица, разработанная специально для съемки с воздуха, – 1/2,3” CMOS; общее число пикселей: 12,71 Мп; объектив – FOV 78,8° 26 мм (эквивалент формата 35 мм) f/2.2; максимальный размер изображения – 4000 × 3000; режим фотосъемки – покадровая. Полезное время полета аппарата для производства съемки не превышает 21 мин [6].

Рисунок 2 – Гражданский БПЛА DJI Mavic PRO

Управление квадрокоптером осуществлялось с использованием смартфона на операционной системе Android при помощи распространяемого бесплатно приложения Pix4Dcapture [7]. Данная программа имеет простой в обращении и интуитивно понятный интерфейс (рисунок 3).

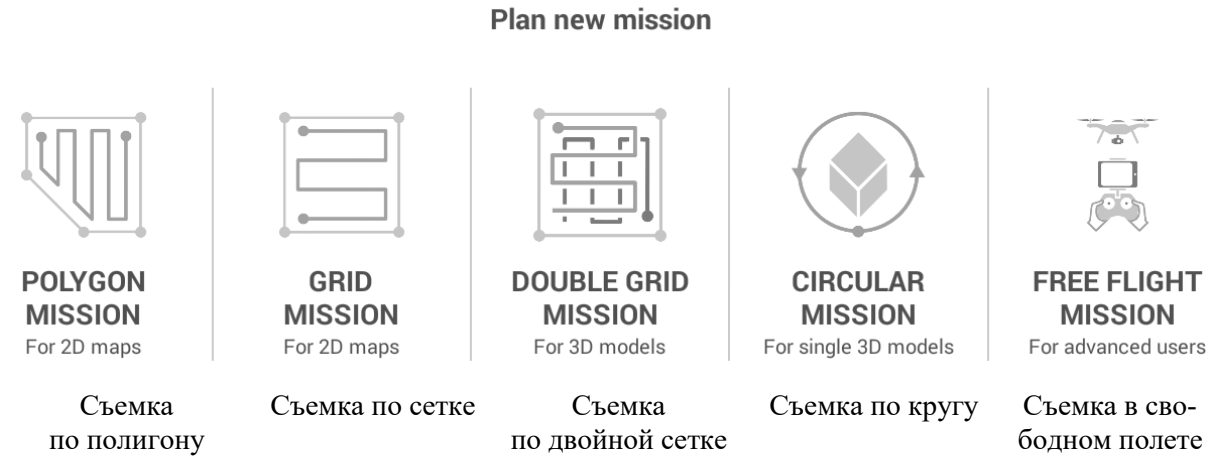


Рисунок 3 – Интерфейс приложения Pix4Dcapture

Набор готовых алгоритмов упрощает процесс планирования миссии и полета в зависимости от цели проводимой съемки – создание топографического плана, ортофотоплана или трехмерной модели объекта. Нами был выбран алгоритм «Двойная сетка» (Doublegrid), т. е. двойного пролета дроном над объектом, для создания цифровой модели местности. Съемка производилась с высоты 100 м от точки взлета дрона над областью канала длиной 500 м и шириной 100 м (рисунок 4). Время полета составило 13,5 мин. Согласно автоматическим настройкам выбранного режима съемки угол наклона камеры по отношению к поверхности земли составил 70°.

Рисунок 4 – Интерфейс определения параметров полета дрона в приложении Pix4Dcapture

Обработка фотографий, полученных дроном, производилась в программе для фотограмметрической обработки цифровых изображений, создания геопривязанных

3D-моделей, ортофотопланов и цифровых моделей местности (ЦММ) AgisoftPhotoScan (рисунок 5) [8]. В результате выполняется ортотрансформирование снимков, построение ортогональной проекции, сети триангуляции, при необходимости классификация облака точек и построение 3D-модели рельефа и местности.

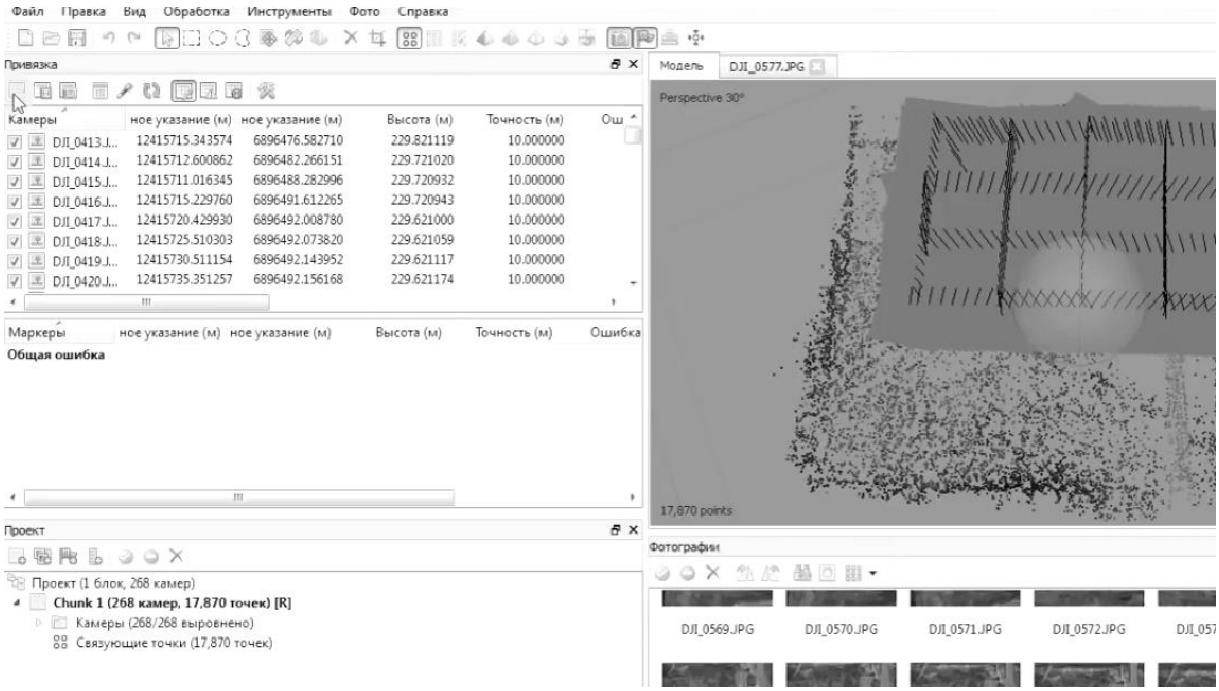


Рисунок 5 – Вид диалогового окна программы AgisoftPhotoScan

Полученное в результате облако точек объекта импортировалось и обрабатывалось в программе AutodeskCivil 3D [9].

Для оценки применимости данного способа перед производством топографической съемки гражданским БПЛА была осуществлена съемка на участке Пролетарского канала [10] с использованием спутникового оборудования глобального позиционирования (GNSS) Leica CS10 3.5G с программным обеспечением SmartWorxViva и приложения для полевых контроллеров CS10 в режиме RTK-съемки (рисунок 6). Съемка производилась по створам поперечно оси канала в среднем через 80 м.

Рисунок 6 – Спутниковое оборудование (GNSS) Leica CS10 3.5G

Обработка результатов также производилась в программе Civil 3D путем импорта данных RTK-съемки (точек) в область цифровой модели рельефа (ЦМР), созданной на основе данных съемки дроном, и сравнения значений отметок.

Результаты и рассуждения. В результате полета было получено 400 фотографий. Они были преобразованы в облако точек, на основе которого в среде Civil 3D была построена цифровая модель рельефа (рисунок 7).

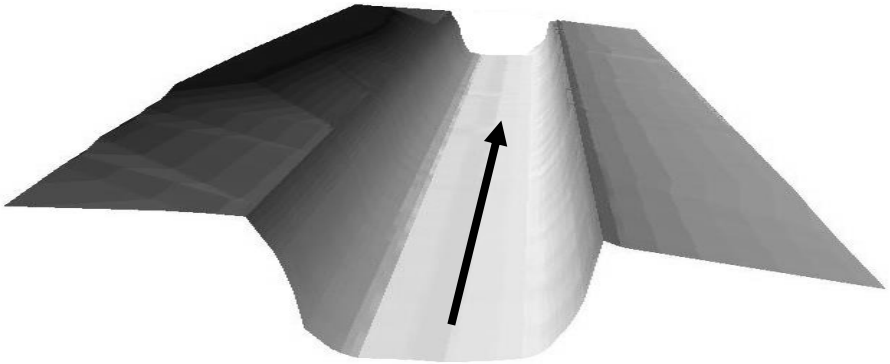


Рисунок 7 – Цифровая модель рельефа участка канала (вид на канал вниз по течению)

В результате сравнения отметок точек RTK-съемки и построенной поверхности (рисунок 8) были получены следующие значения расхождений. В области, расположенной по дну канала, величина максимального расхождения достигала 6,0 см, но в среднем составляла 3,0 см. А в области бровки канала и на его берегах расхождение в среднем достигало 15,0 см. Это было обусловлено наличием растительности в виде травы и кустарников.

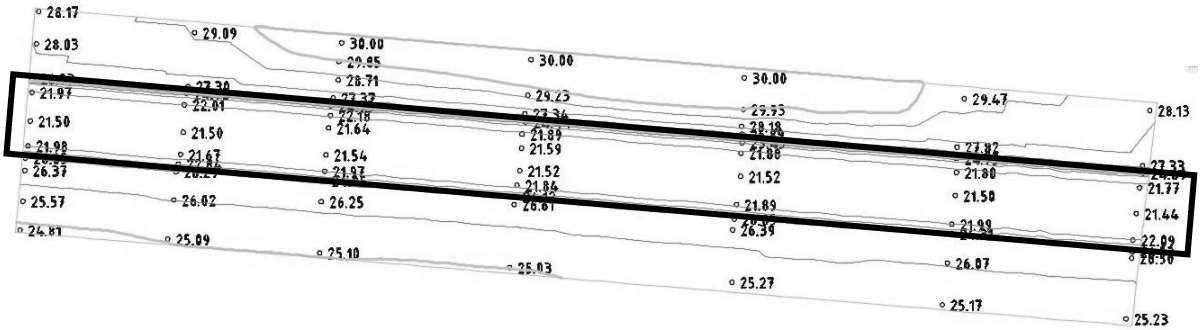


Рисунок 8 – Результаты RTK-съемки и аэрофотосъемки дроном

Выводы

1 Компактные летательные аппараты гражданского назначения, несущие на борту компактную цифровую фотокамеру (со средними оптическими характеристиками), хоть и не отличаются большой автономностью и стабильностью полета, однако технически пригодны для выполнения аэрофоторабот на линейных или точечных объектах. При этом наличие дополнительных батарей для квадрокоптера может увеличить автономность полета.

2 Качество аэросъемки рассмотренного метода достаточно для использования при геодезических изысканиях мелиоративных каналов, так как погрешности измерений, полученные в результате исследований, составили 0,15 м, что является вполне допустимым, ведь даже при RTK-съемке с помощью GNSS-технологий ошибка измерений в плане может достигать 5–7 см, а по высоте – 9–12 см.

3 Для получения качественных материалов съемки с помощью рассматриваемого летательного аппарата необходимо принимать в расчет погодные условия. Так, в ветре-

ную погоду полет либо технически будет невозможен, либо стабильность фотокамеры не обеспечит качество съемки и точность конечных топографических материалов.

4 Экономическая эффективность рассматриваемого метода очевидна, так как она слагается из сокращения сроков полевых работ и трудозатрат на преодоление наземных препятствий в случае съемки оптическими методами. Однако для калибровки (привязки снимаемого участка к единой системе координат и высот) классические методы геодезических работ не теряют актуальность, но в общем составе площадных работ имеют не столь значительные объемы.

Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Перспективы развития мелиорации и водного хозяйства в Российской Федерации / В. Н. Щедрин, Г. А. Сенчуков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 1(05). – С. 1–9. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=82&id=83.

2 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения: СП 47.13330.2012: утв. Минстроем России 01.01.13. – М.: Минрегион России, 2012. – 140 с.

3 Васильев, С. М. Основные технологические подходы при обработке космических снимков в исследовании агроландшафтов / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Л. А. Митяева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 41–60. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=545.

4 Васильев, С. М. Изучение гранулометрического состава почвенного покрова по результатам дешифрирования космических снимков и их калибровка в полевых условиях / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Л. А. Митяева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3(71). – С. 35–40.

5 Применение БПЛА для топографической съемки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:geo-liga.ru/topography-bpla, 2018.

6 Официальный дистрибьютор Authorized DJI Distributor: DJI Mavic PRO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:4vision.ru/products/mavic-pro.html, 2018.

7 Официальный сайт Pix4D: Pix4Dcapture – приложение для планирования полета дрона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:pix4d.com/product/pix4dcapture/, 2018.

8 Официальный сайт Geoscan: AgisoftPhotoScan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:geoscan.aero/ru/software/photoscan, 2018.

9 Официальный сайт Autodesk: Civil 3D – ПО для проектирования объектов инфраструктуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:autodesk.ru/products/civil-3d/overview, 2018.

10 Техническое состояние и эффективность режима эксплуатации Пролетарского магистрального канала / В. Д. Гостищев, Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 6–10.

УДК 626.83

А. А. Газарян, О. Я. Гловацкий
Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан
С. Х. Махкамов, Н. А. Тожибеков
Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Республика Узбекистан

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНЫХ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ С БЕТОНОПЛЕНОЧНЫМИ ОБЛИЦОВКАМИ

Целью исследований является научное обоснование и унификация применяемых облицовок ирригационных каналов, подлежащих контролю, на стадии эксплуатации насосных станций. В статье рассматриваются методы оценки фильтрационного расхода через пленочный экран при наличии в нем местных повреждений. Приведенные расчеты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: насосные станции, безопасная эксплуатация, ирригационные каналы, пленочный экран, силы инерции, опытные отсеки, фильтрация.

****

A. A. Ghazaryan, O. Ya. Glovatsky
Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan
S. Kh. Makhkamov, N. A. Tozhibekov
Tashkent Institute of Architecture and Construction, Tashkent, Republic of Uzbekistan

OPERATION EXPERIENCE OF LARGE IRRIGATION CANALS WITH CONCRETE FILM LININGS

The aim of the research is the scientific substantiation and unification of the applied irrigation canals linings to be monitored at the stage of pump stations operation. The methods for assessing the seepage discharge through a film screen in case of local damages are discussed. The calculations presented are in good agreement with the experimental data.

Key words: pump stations, safe operation, irrigation canals, film screen, inertial forces, test sections, filtration.

Опыт эксплуатации крупных систем машинного водоподъема позволяет концентрировать соответствующие данные в такой форме, которая удобна эксплуатационному персоналу [1–4]. К основным по проблемам водосбережения относят сооружения, разрушение которых приводит к нарушению нормальной работы крупных каналов.

В последних монографиях и статьях уточняется коэффициент гидравлического трения в плановых уравнениях Сен-Венана [5].

Система уравнений Сен-Венана состоит:

- из скалярного уравнения закона сохранения массы потока в открытом русле:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial q_i}{\partial x_i}=0;$$

- уравнения сохранения импульса в потоке:

$$\frac{\partial q_i}{\partial t}+\frac{\partial q_i q_j / h}{\partial x_i}+\frac{\partial g h^2 / 2}{\partial x_i}-\tau\rho=0, \qquad (1)$$

где h – глубина потока, м;

t – время, с;

q – удельный расход воды, отнесенный к длине канала, м^2/с;

x_i – пространственные координаты;

g – ускорение, м/с^2;

$\tau\rho$ – вектор напряжения гидравлического трения по дну, м вод. ст.

В уравнении (1) принята символика Эйнштейна, при которой в выражениях числителя и знаменателя использованы одинаковые индексы [5].

Опыт экспериментальных исследований показал, что в некоторых водоподводящих сооружениях насосных станций (НС) устанавливаются свободные поверхности потока, резко изменяющие глубины и скорости по течению на довольно коротком отрезке пути и в итоге увеличивающие силы сопротивления движению. Поэтому кроме сопротивлений, обусловленных разностью давлений и трением, в соответствии с принципами гидромеханики рекомендуется учитывать силы вихреобразования или обтекания и силы инерции [6]. Оба этих вида сопротивлений аналитически вычисляются как функции

от скоростного напора. Перечисленные силы сопротивления редко бывают одновременно определяющими тип движущейся жидкости.

В одних случаях определяющим является сопротивление за счет разности давления и трения (например, для равномерных или медленно изменяющихся потоков), а в других – сопротивление за счет вихреобразования или обтекания и инерции, что имеет место в проточной части всасывающих труб.

В этих случаях кроме сил трения основное гидравлическое сопротивление оказывают силы инерции движущихся масс жидкости.

Сила инерции $F_{ин}$ (н) в общем виде определяется следующим уравнением:

$$F_{ин} = \pm d(mV)/dt,$$

где m – масса, кг;

V – средняя скорость потока, м/с.

Таким образом, возникновение силы инерции происходит либо в результате изменения массы, либо при изменении ускорения при сохранении массы постоянной, т. е. при m = const.

Бетонопленочная облицовка ирригационных каналов получила широкое распространение при освоении крупных массивов орошаемых земель в Узбекской, Украинской и других республиках. Применение ее обусловлено меньшими эксплуатационными затратами, особенно на просадочных и суффозионно-неустойчивых грунтах.

Полевые исследования, выполненные в Узбекистане, показали, что облицовка на крупных машинных каналах сокращает фильтрационные потери в среднем до трех раз, на внутрихозяйственной сети – в 4–5 раз.

Для определения величины фильтрационных потерь из каналов с бетонопленочной облицовкой проведены натурные измерения методом фильтрационных отсеков на Джизакской головной НС (ДГНС) и на головной части Каршинского магистрального канала (КМК), выполнены лабораторные и теоретические исследования [6, 7].

Канал ДГНС на опытных участках экранирован полиэтиленовой пленкой толщиной 0,2 мм, которая защищена от механических повреждений и солнечной радиации на откосах железобетонными ребристыми плитами марок ОПК-32 или ОПК-41 с размерами в плане соответственно 3,2 × 3,2 м^2 и 4,1 × 3,2 м^2, на дне – монолитным бетоном толщиной 10 см. Стыки между плитами шириной 3–6 см заделаны бетоном, что необходимо для защиты пленочного экрана. Опытные отсеки на канале ограничивались перемычками из деревянных щитов с прокладкой из полиэтиленовой пленки. Щиты и пленочный экран канала надежно защемлялись в бетонный зуб. Общая протяженность опытных отсеков равна 1980 м.

Грунты на трассе канала представлены макропористыми суглинками и супесями слоистого сложения, коэффициент фильтрации которых в естественном состоянии равен в среднем 0,42 м/сут, а после отсыпки в дамбы канала, частичного уплотнения землеройной техникой и замочки – 0,08–0,14 м/сут. Грунтовые воды при проведении опытов залегали на глубине более 8 м и не влияли на фильтрацию из опытных отсеков.

Краткая инженерно-геологическая характеристика трассы головной части КМК (до пикета 624) следующая. Первые 20 км канала (до НС-1) пролегают в пойменных террасах р. Амударьи. Русло канала вскрывает здесь пески, суглинки и глины при близком залегании уровня грунтовых вод. Последующие 20,8 км канала (участок между НС-1 и НС-2) проложены в основном в песчаных грунтах. На пикетах 260–300 канал пересекает часть Самсоновского плато, вскрывая толщу глинистых отложений, характеризуемых коэффициентом фильтрации около 0,01 м/сут. Участок канала от пикета 409 + 50 (НС-2) до пикета 669 (НС-5) проложен преимущественно в песчаниках, легко размокаемых в воде, характеризуемых значительной изменчивостью коэффициента фильтрации в пределах 0,2–4,5 м/сут при средней величине около 3 м/сут. Уровень грунтовых вод залегает на глубине 30–120 м.

С пикета 201 (НС-1) на всем протяжении канал экранирован бетонопленочной

облицовкой, за исключением участка канала между НС-2 и НС-3, где уложена железобетонная облицовка без пленки [7].

На участках со сборно-монолитной облицовкой дно канала покрыто монолитным бетоном или железобетоном толщиной 15 см, откосы облицованы железобетонными плитами марки ОППК-30, уложенными в 5–6 рядов.

Водоупорным элементом облицовки на КМК является полиэтиленовая пленка толщиной 0,2–0,4 мм. На канале ДГНС и головной части КМК выполняли периодический контроль [7]. Установлено, что одно повреждение приходится в среднем на 20 м^2 поверхности пленочного экрана, на КМК – 8–12 м^2.

По конструктивным особенностям бетонное покрытие такой облицовки служит лишь для защиты пленочного экрана – вода легко заполняет свободное пространство между бетоном и пленкой и при наличии в ней повреждений просачивается в подстилающие грунты. Герметизация стыков в бетоне, защищающем пленочный экран, недопустима, так как возможно разрушение бетонного покрытия при резком опорожнении канала под действием гидростатического напора воды, неизбежно скапливающейся между бетоном и пленкой.

Специалисты института ирригации в течение 2016–2017 гг. принимали участие в комплексных натурных и диагностических испытаниях крупнейших НС республики: НС-1 КМК, Амубухара-1, Кую-Мазар, Аму-Занг-2, ДГНС.

На ДГНС выявились следующие аварийные ситуации, имеющие серьезные последствия для надежности и бесперебойности водоподачи:

- в недоступной для осмотра подводной части напорного бассейна образовалась трещина или нарушение уплотнения деформационного шва;
- через образовавшееся отверстие происходит интенсивная утечка воды с вымывом грунта из-под сооружения;
- в месте размыва грунтового основания происходит обрушение донной плиты напорного бассейна и прорыв, требующий прекращения водоподачи по каскаду [2, 8].

Расположение и характеристики участков указанных каналов, на которых измерены фильтрационные потери, приведены в таблице 1, а значения фильтрационных потерь, откорректированные с учетом испарения с водной поверхности и пересчитанные на 1 км протяженности канала, представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристики опытных отсеков

Номер опытного отсека и его местоположение	Длина отсека, м	Размер канала			Конструкция бетонопленочной облицовки
		b, м	*H*, м	*m*	
Канал ДГНС					
1 Пикеты 142 + 47	180	1,9	1,67	1,6	Сборно-монолитная
2 Пикеты 173 + 39	800	1,1	1,87	1,5	
3 Пикеты 201 + 41	600	1,5	1,73	1,5	
4 Пикеты 221 + 89	250	1,0	1,80	1,4	
Головная часть КМК					
1 Пикеты 201 + 50	200	7,0	6,6	2,5	Сборно-монолитная и монолитная
2 Пикеты 422 + 50	200	7,0	6,7	2,5	

Таблица 2 – Значения фильтрационных потерь на каналах с облицовкой и в земляном русле равного поперечного сечения

Номер опытного отсека	Глубина воды в канале, м	Потери воды на фильтрацию, л/(с·км)		Степень сокращения фильтрационных потерь (в разы)	Год проведения опыта
		С облицовкой	Без облицовки		
1	2	3	4	5	6
Канал ДГНС					
1	0,87	0,36	22,0	60,5	2018
2	1,24	0,24	12,0	51,0	2017

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
2	1,26	0,31	12,0	38,5	2014
3	1,35	0,31	13,0	42,5	2014
3	1,12	0,26	12,0	46,5	2015
4	1,18	0,29	10,0	34,0	2015
Головная часть КМК					
1	4,40	45,4	1000	22,0	2017
2	3,65	57,5	1160	20,0	2017

Бетонопленочная облицовка – универсальный высокоэффективный способ противофильтрационной защиты, практически применимый в любых инженерно-геологических условиях. Водопроницаемость ее полностью зависит от целостности пленочного экрана. Натурные исследования и расчеты, основанные на них (таблица 2), показывают, что бетонопленочная облицовка каналов обеспечивает сокращение фильтрационных потерь в 20–60 раз.

При строительстве и эксплуатации каналов возможны повреждения пленочного экрана в виде сдиров, прорезей, проколов, которые являются локальными очагами фильтрации. Величина фильтрационных потерь зависит от водно-физических свойств подстилающего грунта, количества и характера повреждений пленки и размеров канала. Авторы уточнили параметры фильтрации через отверстия в пленочном экране (таблица 3).

Таблица 3 – К расчету фильтрации через отверстия в пленочном экране

$H + H_к$, м	Значение q/K при диаметре отверстия				
	d = 1 мм	d = 3 мм	d = 5 мм	d = 10 мм	d = 20 мм
0,10	0,000824	0,00183	0,00283	0,0049	0,0088
0,50	0,00655	0,0139	0,0204	0,0340	0,0580
1,00	0,0161	0,0340	0,0485	0,0812	0,130
1,50	0,0292	0,0594	0,0818	0,133	0,219
2,00	0,0440	0,0866	0,121	0,195	0,322
2,50	0,0574	0,116	0,164	0,259	0,449
3,00	0,0720	0,151	0,211	0,328	0,550
3,50	0,0890	0,185	0,261	0,405	0,660
4,00	0,107	0,222	0,311	0,485	0,778
5,00	0,144	0,297	0,416	0,652	1,03
6,00	0,185	0,381	0,531	0,837	1,31
7,00	0,227	0,470	0,650	1,03	1,61
8,00	0,270	0,566	0,780	1,24	1,93
9,00	0,304	0,655	0,910	1,45	2,27
10,00	0,362	0,750	1,052	1,67	2,63

Для оценки величины фильтрационных потерь через пленочный экран при наличии в нем местных повреждений в виде вырезов с круговой формой очертания рекомендуются значения из каналов с непроницаемыми стенками в однородные подстилающие грунты при глубоком залегании уровня грунтовых вод. В таблице 3 приняты следующие обозначения:

q – фильтрационный расход через круглое отверстие в пленочном экране, м^3/сут;

K – коэффициент фильтрации грунта, подстилающего пленочный экран, м/сут;

H – напор воды над круглым отверстием в пленочном экране, м;

$H_к$ – капиллярное давление, равное половине высоты капиллярного поднятия воды в подстилающем грунте, м.

Если $H + H_к = 2{,}0$ м, $K = 0{,}42$ м/сут, $d = 20$ мм, можно определить фильтрационный расход через одно отверстие в пленочном экране. По таблице 3 находим $q/K = 0{,}322$ м^2, или $q = 0{,}135$ м^3/сут. Расчеты фильтрации хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Широкомасштабные научные исследования, направленные на совершенствование технологий повышения надежности оросительной системы, проводятся в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, в т. ч. Department of Mechanical Engineering University of Ottawa (Канада), Department of Electrical und Computer Engineering Texas University (США), Chuntsin University, Wuhan University (Китай), Wageningen University (Голландия), Universität Hohenheim (Германия), Ташкентском техническом университете, Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Российском научно-исследовательском институте проблем мелиорации.

Они характеризуются широким развитием работ, основанных на экспериментальной оценке надежности, пересмотре концепции случайности и обязательности отказа, изучается связь между причинами отказа и предлагаемыми конструкциями [8, 9].

Дальнейшее экспериментальное и теоретическое исследование водопроницаемости при наличии местных повреждений позволит разработать объективные критерии контроля с учетом предотвращения фильтрации на основе новых геосинтетических материалов (бентонитовых матов, геомембран) [10]. С целью выравнивания скоростей потока могут быть установлены эластичные потокоформирующие элементы в начале верхнего участка фильтрации и в его конце.

Выводы

1 При эксплуатации каналов с облицовкой возможны повреждения пленочного экрана, которые являются локальными очагами фильтрации. Величина фильтрационных потерь зависит от водно-физических свойств подстилающего грунта, количества и характера повреждений пленки и размеров канала. Для оценки фильтрационного расхода через пленочный экран при наличии в нем местных повреждений можно воспользоваться приведенными расчетами, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными.

2 Для предотвращения фильтрации необходимо продолжить поиск эффективных способов противофильтрационной защиты, в т. ч. на основе новых полимерных материалов. Применение их на машинных каналах в Узбекистане позволит существенно снизить фильтрационные потери в земляных руслах.

Список использованных источников

1 Шомайрамов, М. А. Методы повышения безопасности и устойчивости эксплуатации систем машинного водоподъема / М. А. Шомайрамов, Ш. Г. Талипов, Н. Р. Насырова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3(71). – С. 118–123.

2 Гловацкий, О. Я. Оценка безопасности и повышение надежности эксплуатации гидротехнического узла крупных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Р. Р. Эргашев // Повышение надежности противофильтрационных облицовок каналов и безопасности низконапорных гидротехнических сооружений: науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 20 мая 2016 г. – С. 286–289.

3 Гловацкий, О. Я. Повышение надежности эксплуатации и водосбережения ирригационных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Р. Р. Эргашев, Ш. Р. Рустамов // Водные ресурсы и водопользование. – 2015. – № 3. – С. 37–39.

4 Гловацкий, О. Я. Влияние шероховатости и формы живого сечения машинных каналов на потери напора крупных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Э. К. Кан // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: материалы респ. науч.-практ. конф. / ТИИМ. – Ташкент, 2013. – С. 161–163.

5 Базаров, Д. Р. Влияние разнонаправленности гидравлического трения к гидродинамическим уравнениям потока / Д. Р. Базаров, С. Я. Школьников, М. У. Абсоатов // International Academy Journal. Web of Scholar. – 2018. – 2(20), vol. 1. – P. 10–13.

6 Анализ неравномерного движения воды по длине водоподводящих сооружений насосных станций / О. Я. Гловацкий, С. Х. Махкамов, Н. А. Тожибеков, Н. Р. Насырова, Н. И. Юсупов // Геотехнические проблемы в Узбекистане и их современные решения: тр. междунар. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2018. – С. 222–226.

7 Очилов, О. Р. Новые методы очистки подводящего канала Каршинского магистрального канала / О. Р. Очилов, О. Я. Гловацкий // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: материалы респ. науч.-практ. конф. / ТИИМ. – Ташкент, 2013. – С. 396–399.

8 Ergashev, R. R. New aspects of reliability function of irrigation pumping stations / R. R. Ergashev // European science review. – 2017. – № 1-2. – P. 247–249.

9 Beysembin, K. R. Research of side filtering water intakes / K. R. Beysembin, A. Berestenov // The investigation of side filter water fences: 4th international conference on science and technology. − London: Tomas Reuters, 2014. − P. 112−121.

10 Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, О. А. Баев, Е. Д. Михайлов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.

УДК 627.881

О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, А. Б. Сапаров, М. К. Бердалиев
Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В СИСТЕМЕ «КАНАЛ – НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ»

В статье рассматриваются некоторые методы расчета неустановившегося движения воды в каналах. Установлено, что для расчетов гидравлических параметров русловых потоков при проектировании систем «канал – насосная станция» с переходными процессами возможно использовать уравнения неразрывности и определять средний расход за необходимый интервал времени в рассматриваемом створе. Рекомендуемый метод управления эксплуатационными режимами насосных станций предусматривает решение уравнений неустановившегося движения для некоторого выбранного момента времени $\tau = const$.

Ключевые слова: насосные станции, каналы, створ, интервал времени, неустановившееся движение воды, гидродинамика.

****

O. Ya. Glovatsky, N. R. Nasyrova, A. B. Saparov, M. K. Berdaliev
Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan

SOME METHODS FOR UNSTEADY FLOW CALCULATION IN THE SYSTEM “CANAL – PUMP STATION”

Some methods for calculating unsteady canal water flow are discussed. It has been found that for calculating the hydraulic parameters of canal flows in the design of “canal – pump station” systems with transition process, it is possible to use the continuity equations and determine the average flow for the required time interval through the considered range. The recommended method of the operating conditions control of pump stations involves the solutions of equations of unsteady flow for a certain selected time moment $\tau = const$.

Key words: pump stations, canals, parameters, section line, time interval, unsteady flow, hydrodynamics.

Расчеты неустановившегося движения воды связаны с удовлетворением запросов различных отраслей народного хозяйства, в первую очередь при проектировании оросительных и осушительных систем.

Так, при проектировании гидроузлов вычисляется ход уровней и расходов на значительном протяжении нижнего бьефа при различных режимах работы насосной станции (НС), определяемых водностью года, сезоном, днем недели, временем суток и т. д. Опыт эксплуатации показывает важность определения для различных створов в системе «канал – насосная станция» значений как максимальных уровней воды (из-за опасности технологических режимов сифонных водовыпусков), так и минимальных (для обеспечения нормального функционирования водозаборов, аванкамер, всасывающих труб), а также определения расходов и скоростей воды в промежуточных каналах каскадов НС.

Комплекс сооружений и оборудования НС, обеспечивающий водоподачу или водоотведение в соответствии с нуждами потребителя, определяют исходя из принципов комплексного использования водных ресурсов и охраны природы.

Основными задачами комплексного анализа работы при проектировании систем «канал – насосная станция» с переходными процессами являются:

- выявление изменений процессов гидродинамики направляющих систем;
- установление факторов, определяющих риск опасности НС при неустановившемся движении воды в аванкамерах, водоприемниках, проточной части гидроагрегатов;
- проверка экспериментальным путем математической модели в системах НС физической картины явлений при остановке насосов;
- создание методики расчета процессов, возникающих при аварийных отключениях насосов, снабженных новыми потокоформирующими системами: развитый вход во всасывающие трубы насосов в водоприемнике, донные поперечные стенки в аванкамере [1]. Метод кинетического осреднения, используемый в проточной части насосов, соответствует методу стабилизации средних по сечению скоростей в водоподводящих сооружениях НС [1].

Все каналы, как правило, должны работать в равномерном режиме или с небольшим подпором. Работа канала в режиме спада требует специального обоснования. При использовании подводящих каналов в качестве регулирующей емкости скорость опорожнения следует подбирать так, чтобы не вызвать разрушения откосов канала гидродинамическим воздействием воды. Гидравлические связи каналов в системе осуществляются граничными условиями. Неустановившееся течение воды в канале описывается уравнениями сохранения массы и количества движения. В данном случае используется дивергентная форма уравнения гидравлического трения в плановых уравнениях Сен-Венана [1].

Ранее обосновано, что интегральные уравнения механики справедливы как для непрерывных решений, так и для разрывов (в газовой динамике – ударных волн). Это показывает, что численные методы в различных разделах механики должны строиться на основе интегральных уравнений, что обеспечивает автоматическое выполнение условий на разрывах [2, 3]. Дифференциальные уравнения, полученные таким образом, называются консервативными или дивергентными:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q,$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(P + \frac{Q^2}{\omega}\right) = q\omega\left(i - \frac{Q|Q|}{K^2}\right) + q\int_0^h (h-\xi)\left(\frac{\partial B}{\partial x}\right)_\xi d\xi,$$

$$\omega = \int_0^h \mathrm{B}(x,\xi)d\xi, \;\; P = q\int_0^h (h-\xi)\mathrm{B}(x,\xi)d\xi, \qquad (1)$$

где ω – площадь живого сечения, м^2;

t – время, с;

Q – расход воды, м^3/с;

x – продольная координата;

q – боковая приточность, м^3/с;

P – сила гидростатического давления, Н;

i – уклон дна;

K – модуль расхода, л/(с·м^2);

h – глубина воды, м;

B – ширина русла, м;

ξ – вспомогательная величина, учитывающая изменение площади поперечных сечений и глубин воды в водоподводящих сооружениях с конструктивными изменениями, приведенными выше для проточной части насоса, аванкамеры и водоприемника [3].

Будем рассматривать P как функцию аргументов h и x. Тогда уравнения (1) можно записать в более компактной форме:

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+(\frac{\partial P}{\partial x})_x+\frac{\partial}{\partial x}(\frac{Q^2}{\omega})=q\omega(i-\frac{Q|Q|}{K^2}). \qquad (2)$$

Для решений без разрывов уравнение (1) эквивалентно следующей системе:

$$\left[\ \frac{\partial Q}{\partial t}+(\vartheta\pm C)\frac{\partial Q}{\partial x}\ \right]-B(\vartheta\pm C)\left[\frac{\partial h}{\partial t}+(\vartheta\pm C)\frac{\partial h}{\partial x}\right]=q\omega(i-\frac{Q|Q|}{K^2})+\vartheta^2(\frac{\partial\omega}{\partial x})_h-(\vartheta\pm C)q,$$

где C – скорость распространения малых возмущений, м/с;

ϑ – осредненная продольная составляющая скорости, м/с.

Главная роль при таком подходе отводится условиям, отражающим характерные признаки различных этапов неустановившегося движения воды [2].

На практике границы областей можно установить следующим образом:

1) медленно изменяющееся течение при изменении характеристик насосов;

2) резко изменяющееся течение при остановке одного или нескольких агрегатов;

3) течение с возможным образованием прерывной волны при наложении этих и других неблагоприятных факторов.

Тогда при выполнении условий 1 или 3 вычисления ведутся по неявной схеме, а при выполнении условия 2 осуществляется переход на алгоритм, использующий явную схему. В некоторых случаях заранее известно, что на протяжении всего процесса скорость изменения параметров потока меняется незначительно, тогда анализ условий перехода можно исключить.

Совместное применение рассматриваемых методов удобно при моделировании неустановившегося движения воды и в системе каналов. Здесь решение в каждом канале может строиться независимо от остальных при условии малого влияния параметров потока на оставшуюся часть системы.

Как было отмечено выше, гидравлическая связь между каналами осуществляется через соотношения в узлах. В общем случае соединения n каналов, значения неизвестных Q и H на границах, принадлежащих узлу, связаны системой $6n$ уравнений. Здесь $3n$ уравнений представляют собой соотношения типа (2), а в оставшуюся часть входят условия сопряжения потоков и зависимости, характеризующие влияние воздействия возмущения от НС.

Рассмотрим некоторые варианты соединения каналов. Определяемыми параметрами здесь являются расход $Q = Q\ (x_0,\ t)$ и глубина воды в канале $h = h\ (x_0,\ t)$, где x_0 – граничная точка, принадлежащая данному узлу.

Граничные условия при $n = 2$.

1 Соединение каналов с резко различающимися геометрическими характеристиками:

$$Q_1 + Q_2 = 0, \quad (3)$$

$$h_1 = h_2 + a, \quad (4)$$

где Q_1, h_1 – расход и глубина воды в первом канале, м^3/с, м;

Q_2, h_2 – расход и глубина воды во втором канале, м^3/с, м;

a – разность между отметками дна каналов в точке соединения, м.

2 В узле находится водослив. Тогда условие (3) примет вид:

$$Q_1 + Q_2 + Q_В = 0,$$

где $Q_В$ – расход воды, проходящей через водослив, который определяется по общеизвестным формулам, м^3/с.

Уравнение (4) остается без изменения.

3 В точке соединения находится НС, регулирующий шлюз. Тогда:

$$Q_1 = Q_2 = Q_Р,$$

где $Q_Р$ – расход в узле, определяемый графиком работы конкретного объекта, м^3/с. Эта схема соответствует системе «канал – насосная станция» НС «Нарпай».

Граничные условия при $n = 3$.

1 Соединение каналов по уровню:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0, \quad (5)$$

$$h_1 = h_2 + a,$$

$$h_2 = h_3 + a,$$

где Q_3, h_3 – расход и глубина воды в третьем канале, м^3/с, м.

2 На одном из каналов, примыкающих к узлу, расположена НС. Остальные каналы в узле также соединены по уровню.

В рассмотренных случаях замыкающими уравнениями для приведенных систем являются соотношения вида (5). Необходимо отметить, что в явном методе конечных разностей система уравнений для граничных точек на $j + 1$ временном слое содержит внутренние точки только j-го слоя, поэтому на $j + 1$ слое для значений функций на границе может быть легко получено решение в аналитической форме.

В неявном методе эти уравнения можно преобразовать к виду, позволяющему на любом j-м временном слое независимо друг от друга решать системы разностных уравнений для каждого канала системы. Аналогично можно получить условия сопряжения для $n = 4$; 5.

Задачей расчета неустановившегося движения воды является определение параметров режима Q, z в зависимости от положения створа и времени.

Анализ уравнения неустановившегося движения в такой форме:

$$i - \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial \tau} + \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{Q^2}{K^2},$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0,$$

где i – уклон дна;

h – глубина потока, м;

x – координата расстояния;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2;

V – средняя скорость, м/с;

τ – время, с.

Q – расход воды, м^3/с;

K – модуль расхода, л/(с·м^2);

z – горизонт воды, м;

ω – площадь живого сечения, м^2.

Эти уравнения относятся к дифференциальным уравнениям гиперболического типа, решение которых в явной форме невозможно. Для практики эксплуатации доста-

точно найти приближенное решение этих уравнений. Для наших условий это метод режимов, который предусматривает решение уравнений неустановившегося движения для некоторого выбранного момента времени τ = const. Пренебрегаем инерционными членами в уравнении равновесия Сен-Венана в следующем виде:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Q^2}{K^2}$$

или

$$Q^2 dx = -K^2 dz. \qquad (6)$$

Производя интегрирование обеих частей равенства (6) в пределах длины расчетного участка Δx и в пределах Δ – падения уровня на участке, приходим к выражению:

$$\int_x^{x+\Delta x} \frac{Q^2 dx}{\Delta x} = -\int_z^{z+\Delta} \frac{K^2 dz}{\Delta x}. \qquad (7)$$

Допустив существование линейного закона распределения расхода вдоль потока и сделав некоторые преобразования левой части последнего равенства, получим:

$$\int_x^{x+\Delta x} \frac{Q^2 dx}{\Delta x} = Q_{x+\Delta x} \cdot Q_x. \qquad (8)$$

Правая часть равенства (7) является функцией отметки *z*, т. е.

$$\frac{1}{\Delta x} \int_z^{z+\Delta} K^{2dz} = \varphi(z) + c. \qquad (9)$$

Сравнивая выражения (8) и (9), получим $\varphi(z) + c = Q_{x+\Delta x} \cdot Q_x$ для уравнения неразрывности вида:

$$\tilde{Q}_x - \tilde{Q}_{x+\Delta x} = \frac{\omega}{\Delta\tau} \cdot \overline{\Delta z}, \qquad (10)$$

где волнистая черта над Q означает осреднение этой величины в пределах интервала Δz;

ω – площадь живого сечения, м^2.

$$\tilde{Q}_x = \frac{Q'_x + Q''_x}{2},\ Q_{x+\Delta x} = \frac{Q'_{x+\Delta x} + Q''_{x+\Delta x}}{2},\ \Delta z = \frac{\Delta z_x + \Delta z_{x+\Delta x}}{2}.$$

Произвольно задаются примерным изменением уровня Δz и $\Delta z_{x+\Delta x}$, происшедшим за время $\tau_К - \tau_Н = \Delta\tau$. Тем самым назначается на участке:

$$\overline{\Delta z} = \frac{\Delta z_x + \Delta z_{x+\Delta x}}{2}.$$

Из уравнения неразрывности (10) можно определить $\tilde{Q}_{x+\Delta x}$, т. е. средний расход за интервал времени $\Delta\tau$ через створ оттока. После этого вычисляется расход в створе оттока для момента времени $\tau + \Delta\tau$. Расход в створе притока в этот момент известен из граничного условия. По полученным таким образом расходам в момент $\tau + \Delta\tau$ можно вычислить величину $\varphi(z)$.

С другой стороны, имея опорную кривую для данного участка, можно определить величину $\varphi(z)$ как заложение опорной кривой, соответствующее отметкам уровня, полученным в результате заданных изменений этих отметок в створах притока и оттока.

Полученные двумя разными способами величины $\varphi(z)$ должны совпадать. В случаях несовпадения приходится снова изменять значения Δz_x и $\Delta z_{x+\Delta x}$. После этого таким же образом производится расчет последующих участков.

Особое значение в современных условиях приобретают рекомендации по реконструкции действующих НС с целью улучшения их эксплуатационных показателей.

Опыт эксплуатации НС показывает, что введенные в строй крупные машинные каналы (Каршинский, Амукаракульский, Амубухарский, Амузангский, Шерабадский, Джизакский и др.) привлекают внимание к вопросам водосбережения, одним из ключевых моментов которого является снижение непроизводительных потерь при неустановившемся движении воды на всех этапах транспортировки от головного водозабора до орошаемых полей [4].

Выводы

1 Неустановившееся течение воды в канале описывается уравнениями сохранения массы и количества движения. Для практики эксплуатации насосных станций найдено приближенное решение этих уравнений, которое предусматривает решение уравнений неустановившегося движения для некоторого выбранного момента времени τ = const.

2 Рассмотрены некоторые варианты соединения каналов в системе «канал – насосная станция». На одном из каналов, примыкающих к узлу, расположена головная насосная станция. Определяемыми параметрами являются расход и глубина воды в канале. Все каналы, как правило, должны работать в равномерном режиме или с небольшим подпором.

Список использованных источников

1 Математические модели переходных процессов в насосных станциях / О. Я. Гловацкий, Ф. Ж. Носиров, М. А. Шомайрамов, Р. Р. Эргашев // Материалы республиканской научно-практической конференции ТИИМ. – Ташкент, 2015. – С. 393–397.

2 Базаров, Д. Р. Возможности применения одномерных уравнений Сен-Венана в прогнозных расчетах внезапного разрушения высоконапорной плотины / Д. Р. Базаров, С. К. Хидиров, Д. Хаитова // Вестник Казахстанско-Немецкого университета. Устойчивое развитие Центральной Азии. – 2014. – № 3(5). – С. 161–166.

3 Rustamov, Sh. R. Constructive peculiarities of modernized centrifugal pump / Sh. R. Rustamov, N. R. Nasirova // European science review. – Vienna, 2018. – № 3–4. – P. 278–280.

4 Гловацкий, О. Я. Некоторые аспекты использования насосных станций в развитии водно-ресурсной сферы Центральной Азии в XXI веке / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Ф. К. Артикбекова // Северный морской путь, водные и сухопутные транспортные коридоры как основа развития Сибири и Арктики в XXI веке: сб. науч. тр. – Тюмень: ТИУ, 2018. – Т. 1. – С. 69–74.

УДК 631.6:504

В. Л. Бондаренко, А. В. Алиферов
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация
Е. Д. Хецуриани
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация;
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОНЯТИЯ ВРЕМЕНИ В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Целью исследований являлась разработка методологических основ понятия времени в оценке экологического состояния (ЭС) в зонах влияния оросительно-

обводнительных систем (ООС) как важного фактора обеспечения экологической безопасности (ЭБ). Процессы формирования ЭС в пределах зон влияния ООС, связанные с использованием водных ресурсов, формирующихся в пространственных пределах локальных бассейновых геосистем, где протекают процессы взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения (ВВВ) природных (биотических, абиотических), техногенных компонентов и проживающего населения, обуславливаются предшествующим исходным ЭС и различного рода явлениями (экзогенными, русловыми, фильтрационными и др.), что позволяет анализировать, например, ЭС в рассматриваемой системе, которое может быть объяснено и предсказано. Такой методологический подход позволяет совершать альтернативные действия выбора, что обуславливает тесную взаимосвязь с понятием времени. Время непрерывно течет, настоящее постоянно обновляется, будущее всегда открыто, пока не станет настоящим, а прошлое всегда остается неизменным. Как показывают системные мониторинговые наблюдения, в потоке времени пространственные пределы зон влияния ООС из неизменного прошлого, скоротечного настоящего перетекают вперед под воздействием природных процессов в сочетании с процессами производства сельскохозяйственной продукции на ООС. В исследовании процессов формирования ЭС в зонах влияния ООС важным является то, какое ожидается будущее. В нем содержится глубокий смысл: время является фундаментальным измерением в оценке ЭС в зонах влияния строящихся и функционирующих ООС.

Ключевые слова: бассейновая геосистема, время, пространство, обводнительно-оросительная система, необратимость, энтропия, изменение, сохранение, движение.

****

V. L. Bondarenko, A. V. Aliferov
Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation
E. D. Khetsuriani
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation; Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

METHODOLOGICAL BASES OF THE NOTION OF TIME IN THE ECOLOGICAL STATE ASSESSMENT IN RECLAMATION SYSTEMS INFLUENCE ZONES

The aim of the research was to develop the methodological bases for the notion of time in the ecological state (ES) assessment in the influence zones of irrigation and watering systems (IWS) as an important factor in ensuring environmental safety (ES). The processes of ES formation within the IWS influence zones associated with the water resources use formed within the spatial limits of local basin geosystems, where processes of interrelation, interaction and relationships (IIR) of natural (biotic, abiotic), man-made components and the resident population happen, are caused by previous initial ES and various kinds of phenomena (exogenous, channel, filtration, etc.), which allows to analyze, for example, ES in the system under consideration that can be explained and predicted. This methodological approach allows making alternative choices, which provides a close relationship with the notion of time. Time flows continuously, the present is constantly renewing, the future is always open until it becomes present, and the past always remains unchanged. As system monitoring observations show, in the time flow the spatial limits of the IWS influence zones from the unchanging past and fast flowing present flow forward under the influence of natural processes in combination with the processes of agricultural production at IWS. In the study of the ES formation processes in IWS influence zones it is important what kind of future will be. It contains a deep meaning: time is a fundamental measurement in ES assessment in influence zones of functioning or being constructed IWS.

Key words: basin geosystem, time, space, irrigation and watering system, irreversibility, entropy, change, conservation, movement.

Введение. Хозяйственная деятельность по использованию водных ресурсов в сельскохозяйственном производстве на ООС свидетельствует о том, что прошлое и будущее выполняют различные роли. Рассмотрим, например, действующие ООС Ставропольского края (666 тыс. га). В прошлом не было широкого использования водных ресурсов, формирующихся в пространственных пределах речных бассейновых геосистем, расположенных на Ставрополье, их было крайне недостаточно. В настоящее время имеет место значительное использование водных ресурсов, из которых более 50 % поступает из бассейновой геосистемы Верхней Кубани, на девяти ООС площадью 366 тыс. га [1].

Исследованиями процессов ВВВ между природными и техногенными компонентами в виде ООС в рассматриваемых пространственных пределах зон влияния ООС установлено, что **время** является фундаментальным измерением в оценке ЭС как фактора обеспечения ЭБ и обуславливает явление **необратимости** [2].

Необратимость в процессах ВВВ между природными и техногенными (в виде ООС) компонентами вносит определенные изменения в природные среды (атмосферу, гидросферу, поверхностные и подземные воды, геологическую среду верхних слоев литосферы и почвенный покров с подстилающими породами) в зонах влияния ООС.

Необратимость процессов ВВВ ООС с природными средами в зонах влияния пространственных пределов бассейновой геосистемы приводит к согласованным со временем (когерентности) действиям и эффектам, охватывающим все элементы ООС в зонах влияния бассейновой геосистемы, где формируются водные ресурсы – поверхностный и подземный сток. Таким образом, можно отметить, что **«стрела времени»** проявляется как в процессах формирования водного стока в пространственных пределах бассейновой геосистемы естественной и искусственной гидрографической сети, так и в природных средах зон влияния ООС. **Необратимость** происходящих изменений в природных средах зон влияния ООС проявляется в гидрогеологическом режиме и гидротехническом составе грунтовых вод, почвенном покрове, жизнедеятельности животного и растительного мира и других явлениях. В пространственных пределах бассейновой геосистемы явление необратимости проявляется на водотоках речной гидрографической сети, взаимосвязанных с гидрологическими процессами формирования поверхностного стока, приводящими к различным явлениям в виде переформирования берегов, транспортирования донных и взвешенных наносов и т. п. [3].

Результаты исследования. В системном рассмотрении происходящие изменения в природных средах под воздействием ООС в значительной степени обуславливают ЭС в зонах влияния техногенного компонента. ЭС как в зонах влияния ООС, так и в пространственных пределах бассейновой геосистемы определяется интенсивностью и характером движения потока вещества, энергии и информации (ВЭИ). Последние определяют количественные и качественные показатели ЭБ: климатические, гидрологические, геохимические, ихтиологические, санитарно-химические, почвенно-растительные и фаунистические, геоботанические, физические воздействия (радиационные, шумовые, электромагнитные), уровень здоровья проживающего населения, а также активизацию экзогенных геологических процессов (ЭГП) [4]. Исследованиями установлено, что интенсивность и характер движения потоков ВЭИ в зонах влияния ООС проявляются во **времени**, т. е. ЭС в рассматриваемом пространстве зон влияния ООС изменяется со **временем** в сравнении с исходным состоянием объекта и важным является направление вектора этих изменений, которое определяется системным комплексным экологическим мониторингом (СКЭМ) [5].

В зонах влияния ООС ЭС обуславливается процессом сотворения нового под воздействием формируемых техногенным компонентом (ООС) потоков ВЭИ, которые характеризуются то усиливающимися, то уменьшающимися изменениями в природных средах, определяющими процессы **необратимости**.

В методологии изучения **необратимости** как **«стрелы времени»** в процессах

ВВВ ООС с природными средами в зонах влияния важно учитывать начальные (исходные) условия ЭС, которые рассматриваются на последующих временных этапах. Необратимость в процессах ВВВ ООС с природными средами рассматривается исходя из второго начала термодинамики – закона неубывающей энтропии [6].

В детерминистическом описании процессов ВВВ ООС с природными средами **«стрела времени»** определяет направление происходящих изменений в природных средах и структурных образованиях данной системы. Если будущее ЭС в зонах влияния «мелиоративного объекта» каким-то образом содержится в настоящем (период строительства, начальной эксплуатации), а в настоящем заключено прошлое (исходное фоновое состояние), то **«стрела времени»** обуславливает тот факт, что **«время обуславливает в себе своеобразного конструктора»** [7], который взаимосвязывает прошлое с настоящим и будущим. Следует отметить, что между временем и пространственными пределами зон влияния ООС имеются принципиальные различия. Так, в рассматриваемом пространстве зон влияния ООС показатели ЭС меняются, а время при этом протекает только в одном направлении от настоящего в будущее, т. е. невозможно переставить местами прошлое, настоящее и будущее. Физический смысл связи между прошлым и будущим в определенной мере объясняет действие второго начала термодинамики, которым определен энтропийный барьер, отделяющий доступные состояния от состояний запрещенных. Характер изменения энтропии в зонах влияния ООС и бассейновой геосистемы в целом в обобщенном понимании отражает прошлое, настоящее и будущее ЭС. Сумма изменений энтропии в зонах влияния ООС и внешней для нее среды в пространственных пределах бассейновой геосистемы не может убывать, т. е. природные компоненты, например в виде речной сети, нельзя вернуть в исходное состояние до строительства ООС. Изменение энтропии определяется известным уравнением И. Пригожина [8]:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{deS}{dt} + \frac{diS}{dt},$$

где dS – полное изменение энтропии в системе за период времени dt;

deS – энтропия, отбираемая из окружающей внешней среды, т. е. d в рассматриваемом случае пространственных пределов бассейновой геосистемы характеризует обмен энергией с внешней средой;

diS – изменение энтропии в системе, обусловленное необратимыми процессами внутри системы или производством энтропии.

Согласно второму началу термодинамики, diS всегда положительна, а deS может быть как положительной, так и отрицательной величиной (рисунок 1).

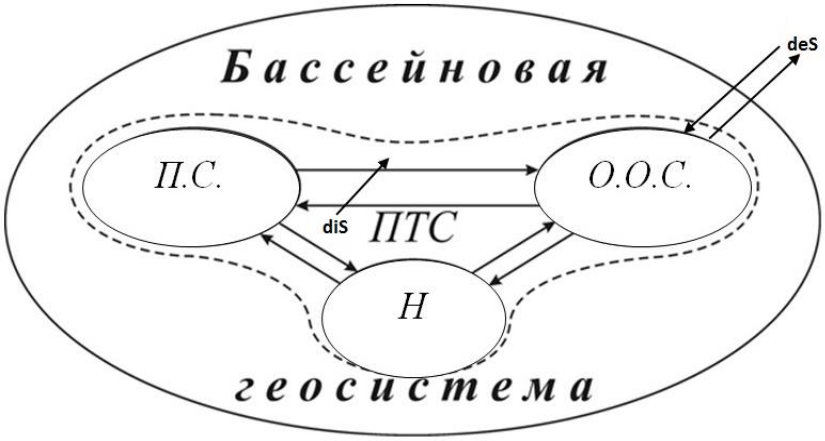


Рисунок 1 – Модель природно-технической системы «природная среда – оросительно-обводнительная система – население» в пространственных пределах бассейновой геосистемы

Направленность протекающих процессов в рассматриваемой системе формируется процессами развития, которые зависят от роста полезной мощности P для определенных периодов времени в настоящем t_0 и будущем t, t^2, t^3 и т. д. Для каждого периода фиксируется: вклад в рост P за t, вклад в скорость роста P за t^2, вклад в ускорение роста P за t^3.

Этот процесс можно представить в виде ряда разложений величин $P(t)$ по степеням:

$$P(t) = P_0 + P_1 t + P_2 t^2 + P_3 t^3 + ... \left[t^5 T^{-5} \right],$$

где P_0 – начальная величина полезной мощности;

P_1 – рост полезной мощности;

t – время;

P_2 – скорость роста полезной мощности;

P_3 – ускорение роста полезной мощности;

L – линейный размер.

За ростом полезной мощности стоит рост эффективности $f(t)$ использования полной мощности $N_{\text{ПОЛ}}$, которой обладает ООС. Рост эффективности использования $N_{\text{ПОЛ}}$ полностью представляется рядом разложения:

$$f(t) = f_0 + f_1 t + f_2 t^2 + f_3 t^3 + ...,$$

где f_0 – начальная эффективность использования $N_{\text{ПОЛ}}$ в t_0;

f_1 – эффективность использования для t_1, далее f_2 для t_2, f_3 для t_3.

Следует отметить, что экологически устойчивое развитие (ЭУР) в рассматриваемых ООС в обобщенном понимании зависит от темпов роста эффективности использования $N_{\text{ПОЛ}}$, неубывающих темпов роста P:

$$P + P_1 t + P_2 t^2 + P_3 t^3 + \ldots \geq 0[L^5 t^{-5}], \quad (1)$$

и сохранения убывающего изменения мощности потерь:

$$G_0 + G_1 t + G_2 t^2 + G_3 t^3 + ... < 0. \quad (2)$$

На основе анализа выражений (1), (2) для использования $N_{\text{ПОЛ}}$, неубывающих темпов роста P (зависимость (1)) и сохранения убывающего изменения G (зависимость (2)) можно сделать вывод, что обеспечение ЭУР в анализируемых ООС возможно, если рассматривать использование водных ресурсов как процесс, нацеленный на изменение направления и скорости движения потоков $E_{\text{СВБ}}$, обуславливающих полезную мощность P в **пространстве** и **времени** [9].

Необратимость процессов ВВВ между ООС и природными средами в пределах их зон влияния обуславливает определенные проблемы, связанные с обеспечением ЭБ, а с другой стороны, вызывает необходимость изменения технологий использования водных ресурсов на ООС, например замены открытых водопроводящих каналов трубопроводами, а также применения новых конструктивных решений. Пространственные пределы бассейновой геосистемы, где функционирует ООС, приобретают временное изменение – **«овременение пространства»**, при котором новый облик пространства, и соответственно его ЭС (настоящее), имеет определенные отличия от исходного (прошлого) облика. Будущий облик пространства и его ЭС могут определяться эволюционным процессом **необратимости**, связанным с ростом энтропии и в определенной мере с проводимыми природоохранными мероприятиями в зонах влияния ООС [10].

В процессе эволюции ООС в зонах влияния непрерывно обменивается энергией и веществом с окружающими природными средами пространственных пределов бас-

сейновой геосистемы и производит энтропию (рисунок 1). При этом производимая энтропия не аккумулируется в системе, а выводится в окружающую среду, т. е. ООС не может быть равновесной. Такие ВВВ открытой ООС с окружающей средой определяют процессы потребления из окружающей природной среды **«порядка»** и вывода из системы в окружающую среду **«беспорядка»** (рисунок 1). Следует отметить, что ключевую роль в рассматриваемых ООС играет понятие роста энтропии, который обуславливается внутренними процессами ВВВ ООС с природными средами в пределах зон влияния. Рост энтропии в единицу времени в единице объема пространственных пределов зон влияния ООС выражает функцию диссипации, или преобразования свободной энергии ($E_{\text{СВБ}}$) в связанную энергию ($E_{\text{СВЗ}}$) и в конечном итоге в устойчивую форму – тепловую. Чем больше значение $E_{\text{СВБ}}$, тем выше работоспособность, производительность и, как следствие, ЭС в зонах влияния. Так, при доминировании $E_{\text{СВЗ}}$ как $E_{\text{СВБ}}$ система стремится к равновесию, т. е. деградирует. Энергоэнтропийный подход к ЭС в зонах влияния «объекта гидроэнергетики» позволяет более объективно оценивать экологическую ситуацию в рассматриваемых пространственных пределах бассейновой геосистемы.

При оценке ЭС в зонах влияния ООС, как показывают результаты мониторинговых наблюдений, возникает необходимость в модификации подходов к учету времени в зависимости от функционального назначения отдельных типов гидротехнических сооружений, их временного периода практического использования, в частности на стадии проектирования, строительства, эксплуатации, и других аспектов. Так, при создании комплекса гидротехнических сооружений на ООС **время** выражается **«возникающим свойством»** [11] и определяет направление развития ООС, понятие **«развитие»** обуславливает необратимые, направленные, закономерные изменения в природных средах зон влияния ООС, и переставить местами прошлое и будущее невозможно. Для рассматриваемого пространства, например зон влияния ООС, характерным является наличие линейных размеров, и, следовательно, изменение «пространства» связано с изменением его геометрических размеров. Сохранение *форм движения* (процессов) не может быть выражено в линейных размерах, так как предикатом *процесса* или *формы движения* является «длительность», т. е. они связаны со временем. В этом, собственно, и заключается различие между понятиями *пространства* и *форм движения*, при этом сохранение *пространства* можно характеризовать *неизмененностью* его размеров, в нем нет времени и имеются два взаимоисключающих положения – *изменение* либо *сохранение*, и третьего не дано. Следовательно, всякое *изменение* есть *несохранение* и всякое *сохранение* есть *неизменение*, а изменение не есть сохранение. Для рассматриваемых процессов в ООС, определяющих ЭС в природных средах зон влияния, характерной особенностью связи между понятиями *«изменение»* и *«сохранение»* является то, что ЭС в зонах влияния ООС *изменяется*, а пространство как в зонах влияния, так и в бассейновой геосистеме в целом *сохраняется*. Для сохранения пространственных пределов бассейновой геосистемы необходимы постоянные изменения в природных средах, т. е. сохранение есть изменение. Таким образом, можно отметить, что синтез этих двух понятий обуславливает реальность окружающего нас мира. «Все изменяется и остается неизменным». Известная мысль Аристотеля: время – число движения.

Выводы

1 Хозяйственная деятельность, связанная с использованием водных ресурсов, на действующих, создаваемых новых ООС в системном энергоэнтропийном понимании обуславливается извлечением сложившейся определенной упорядоченности (уровня энтропии) в процессах ВВВ между природными (биотическими, абиотическими) компонентами в природных средах и населением в пространственных пределах рассматриваемой бассейновой геосистемы и внедрением нового уровня энтропии – «техногенной

упорядоченности», которая занимает более высокие иерархические уровни в рассматриваемых пространственных пределах бассейновой геосистемы.

2 В соответствии с понятием **времени** в создании новых и совершенствовании действующих ООС требуются новые идеи, связанные с использованием достижений в области применения новых материалов, возобновляемых источников энергии, принципов функционирования внутрисистемных элементов ООС. **Прошлое** формирует **настоящее**, а **настоящее** формирует **будущее** ЭС как фактор ЭБ.

3 Оценка ЭС в природных средах является доминирующим фактором в принятии объективно обоснованного решения при планировании любой хозяйственной деятельности, в т. ч. деятельности, связанной с использованием водных ресурсов на ООС в сельскохозяйственном производстве.

4 Развитие понятия времени в оценке ЭС в зонах влияния ООС имеет определенную новизну в методологии оценки ЭС в зонах влияния ООС, что обуславливает теоретическую и практическую значимость в области мелиоративного строительства.

Список использованных источников

1 Пригожин, И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 256 с.

2 Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании водохозяйственного комплекса Зеленчукской ГЭС / В. Л. Бондаренко, В. В. Гутенев, В. В. Приваленко, Е. С. Поляков // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. – № 1. – С. 47–54.

3 Природообустройство: территория бассейновых геосистем: учеб. пособие / В. Л. Бондаренко [и др.]; под общ. ред. И. С. Румянцева. – Ростов н/Д.: Март, 2010. – 528 с.

4 Экологическая безопасность в природообустройстве и строительстве: экологическая инфраструктура бассейновых геосистем / В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, Г. М. Скибин, В. Н. Азаров. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 308 с.

5 Оценка экологической устойчивости природно-технических систем на оросительных системах / В. Л. Бодаренко, Г. Л. Лобанов, А. Е. Козарезова, М. С. Васильев, А. Р. Триполева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 3(31). – С. 70–85. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec561-field6.pdf.

6 Fundamentals of Methodology of Development of the Technical Theory of Natural and Technical Systems in Use of Water Resources / I. V. Stefanenko, E. A. Semenova, O. V. Klimenko, V. A. Bondarenko // Applied Mechanics and Materials: the 2nd International Conference Material Engineering and Application. – 2018. – Vol. 875. – P. 141–144.

7 Бондаренко, В. Л. Основы создания природоподобных технических систем в области использования водных ресурсов / В. Л. Бондаренко, Е. В. Комлев // Современное научное знание: теория, методология, практика: сб. науч. ст. по материалам V Междунар. науч.-практ. конф., г. Смоленск, 31 янв. 2018 г. – Смоленск: Новаленсо, 2018. – Ч. 2. – С. 20–23.

8 Бондаренко, В. Л. Природно-технические системы «природная среда – объект деятельности – население» по использованию водных ресурсов в АПК / В. Л. Бондаренко, Е. В. Комлев // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской ГАУ». – 2017. – С. 112–120.

9 Бондаренко, В. Л. Современные технологии в использовании водных ресурсов в сельскохозяйственном производстве / В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов, А. В. Алиферов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 1(25). – С. 231–243. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec474-field6.pdf.

10 Бондаренко, В. Л. Инженерно-экологические изыскания под мелиоративное строительство: учеб. пособие / В. Л. Бондаренко, А. В. Лещенко, А. В. Алиферов; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. – Новочеркасск, 2017. – 160 с.

11 Бондаренко, В. Л. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем: учеб. пособие / В. Л. Бондаренко, А. В. Лещенко, А. В. Алиферов; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. – Новочеркасск, 2017. – 140 с.

УДК 631.3:631.6

В. С. Пунинский
Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

СИСТЕМА МАШИН КАК ПРОГРАММА РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ НОВЫХ РАЗРАБОТОК МАШИН И ОБНОВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ИХ ПАРКА ДЛЯ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Обновление парка мелиоративных машин и расширение площадей земель в ходе коренного улучшения богарной пашни, малопродуктивных лугов и деградированных пастбищ могут быть реализованы в ходе внедрения научно обоснованной современной системы машин для комплексной механизации мелиоративных работ. Рассмотрели актуальность реализации системы машин в период с 1955 г. до настоящего времени. Установили, что реализация «Методических положений по разработке федеральных регистров базовых технологий и технических средств для производства мелиоративных работ в современных условиях» обеспечивает систематизацию технологических модулей выполнения основных категорий работ и выбор рациональных комплексов машин для производства видов работ под заданные объемы. Показано, что формирование системы машин основывается на новых принципах: цифровой базе данных, роботизации рабочих процессов, замене двигателей внутреннего сгорания электроприводом рабочих органов, автоматизации технологических процессов, учитывающих закономерности взаимодействия ресурсных составляющих. В результате исследований определены основные прогнозные показатели дреноукладчиков и обоснована область их использования с обработкой горизонтов без выноса продуктов химических реакций в водоемы и реки.

Ключевые слова: система технологий и машин, деградированные земли, комбинированные орудия, дреноукладчики, регистр технологий, сводный перечень технических средств.

****

V. S. Puninskiy
All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

MACHINE SYSTEM AS A PROGRAM FOR ADVANCED SCIENTIFIC AND TECHNICAL POLICY IMPLEMENTATION IN THE FIELD OF NEW MACHINE DEVELOPMENT AND UPDATING THEIR PARK STRUCTURE FOR LAND RECLAMATION

The renewal of the reclamation machinery park and the expansion of land areas during the fundamental improvement of rainfed arable land, unproductive meadows and degraded pasture sites can be realized during the implementation of a scientifically based modern machine system for the complex mechanization of land reclamation works. The relevance of

the machine system implementation in the period from 1955 to the present was considered. It was found that the implementation of the "Methodological provisions for the development of federal registers of basic technologies and technical means for performance of reclamation works under modern conditions" provides for the systematization of technological modules for main categories of work performance and the selection of rational machines complexes for works for given capacities. It is shown that the formation of a machine system is based on new principles: a digital database, the robotization of working processes, the replacement of internal combustion engines with electric drive of operating parts, the automation of technological processes taking into account the regularities of interaction of resource components. As a result of the research, the main ditching machines estimates were determined and the area of their use with the horizon processing without the removal of chemical reaction products into reservoirs and rivers was substantiated.

Key words: system of technologies and machines, degraded lands, combined tools, ditching machines, technology register, consolidated list of technical means.

Введение. Занимая ведущее положение среди природных ресурсов, сельскохозяйственные угодья являются исходной базой благосостояния людей. Земли сельскохозяйственного назначения России составляют 402,6 млн га, из них 43,6 млн га находятся в фонде перераспределения и не используются для сельскохозяйственного производства [1, 2]. Прирост деградированных земель достигает 1,5 млн га/год [3].

Функционирование этих земель на мелиоративных системах обуславливается работоспособностью открытых каналов, трубчатого дренажа и исправностью оросительных трубопроводов, гидротехнических сооружений, насосных станций. Для своевременного восстановления мелиоративного клина земель с реконструкцией и строительством новых систем на площади до 10 млн га необходимо пополнение парка приоритетных специальных мелиоративных машин в количестве 18090 шт. Для обновления парка машин при выполнении первоочередных текущих мероприятий на мелиоративных системах требуется, по данным ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 6116 шт. В распоряжении Департамента мелиорации Минсельхоза России для ремонтных работ имелось 1963 шт. мелиоративных машин. Из 74 ФГБУ – управлений мелиорации и четырех управлений эксплуатации 77,20 % не обладают ресурсами для ремонтно-эксплуатационных работ на мелиоративных системах. Обеспеченность мелиоративными машинами составляет 10,85 % от потребности.

Цель исследований – обоснование разработки методических положений по созданию основы федеральных регистров базовых технологий и технических средств для восстановления и реконструкции мелиоративных систем в современных условиях.

Материалы и методы. Изучены базовые типизированные технологии и технические средства для выполнения мелиоративных работ на деградированных и залежных землях. Анализ технологий и методов освоения и коренного улучшения земель показал, что для соблюдения интересов жителей России требуется восстановление продуктивности сельскохозяйственных угодий, что тесно связано не только с технологическим обеспечением, но и с пополнением парка технических средств современными машинами с рабочими органами новейших конструкций. В процессе исследований были использованы: «Методические указания по эксплуатации автоматизированной системы сбора данных о наличии парка машин и механизмов, находящихся на балансе региональных мелиоративных организаций» (В. Н. Басс, В. С. Пунинский, 2002), стандартные методики научного анализа для оценки технологий восстановления и реконструкции мелиорированных земель, способов и методов восстановления плодородия почв с помощью комплекса мелиоративных мероприятий [4–20].

Выбор основных параметров ведущих машин при формировании федеральных регистров системы машин рекомендовано проводить по авторской методике (В. С. Пунинский, 2017) с использованием имитационного моделирования.

Для осуществления разработки новых технологий обработки деградированных сельхозугодий и строительства дренажа применяется целевая функция минимизации затрат (руб./га):

$$У = f(Ce) \rightarrow \min,$$

где *Ce* – удельные затраты, руб./га.

Определение удельных затрат базируется на использовании прогнозных основных параметров новых ведущих машин. Выбор основных параметров ведущих машин предусмотрен методом имитационного моделирования, в котором сложная система является взаимосвязанной совокупностью математических моделей (критериев), набора переменных, варьирование которых позволяет подбирать рациональный параметр. В качестве целевой установки необходимо определить *V* – прогнозные параметры новых ведущих машин. Для исследований применен выборочный метод по объектам-представителям, т. е. по ранее разработанным машинам и присутствующим на рынке. Предусмотрен цикл предварительной настройки математических описаний корреляционных зависимостей: мощности от удельной материалоемкости, расхода топлива от удельных трудозатрат, массы ТС от удельных затрат. На каждом этапе значения критерия ранжируются в порядке возрастания и при значении R^2 меньше 0,55 экстремальные значения в квантах отсекаются, а после достижения R^2 значения 0,89 переходят к следующему этапу. Реализация выполняемого этапа позволяет перейти к последующему этапу. В качестве критерия 1 принята удельная материалоемкость, отнесенная к выработке 1 м ширины захвата или глубины обработки, критерия 2 – удельные трудозатраты, отнесенные к выработке 1 м ширины захвата или глубины обработки, критерия 3 – удельные затраты на единицу производительности. При завершении цикла настройки переходят к циклу варьирования переменных с определением прогнозных параметров новых ведущих машин, используя полученные корреляционные зависимости.

Результаты и обсуждение. Для своевременного технического обеспечения строительных организаций и сельских товаропроизводителей в настоящее время стал актуален вопрос разработки информационно-регламентирующего документа, который обеспечит соблюдение интересов жителей России в качественном продовольствии за счет повышения продуктивности кормовых угодий, отвода избыточных поверхностных вод с деградированной пашни и лугов, водосбережения на пастбищах, снижения кислотности и рассоления земель.

Традиционно повышение потребности в объемах продовольствия связано с вопросами защиты трудовых ресурсов, площадей «кормления», а их разделение вызывает катастрофические последствия (голод, кровопролитие, прямое или косвенное внешнее правление, потерю целостности страны). Для соблюдения баланса при решении этих вопросов требуется проведение организационных мероприятий, например объединение коммун и артелей в колхозы, организация механизированных отрядов в машинно-тракторных станциях (ВО «Трактороцентр»), слияние мелких колхозов с частичным преобразованием в совхозы. Для повышения производства сельскохозяйственной продукции и продажи технических средств сельским товаропроизводителям были намечены мероприятия Постановлением Совета Министров СССР № 1002 от 11 апреля 1953 г., и Минсельхоз СССР ускорил разработку «Системы земледелия», которая была громоздкой, не содержала марок машин и программ их создания, серийного выпуска. Всесоюзный центр машинно-тракторных станций при участии специалистов машиностроительных комитетов при Госплане и Госстрое разработал «Систему машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства», которая содержала перечень машин, сгруппированный в последовательности по категориям работ, включающим виды работ с размещением в каждом из них технических средств по величине одного характерного показателя или параметра (мощность, емкость ковша, ширина или глубина обработки, расход воды). Такая структура перечня машин с 1955 г. сохранена до настоящего времени.

В первой системе машин в двух категориях работ было 36 наименований мелиоративных машин, из них четыре новых. Постановлением Совета Министров СССР № 861 от 4 мая 1955 г. был установлен порядок ликвидации МТС и до марта 1958 г. они преобразовывались в ремонтно-тракторные станции (РТС), так как у сельских товаропроизводителей недоставало средств на покупку машин механизированных отрядов МТС.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 20 февраля 1961 г. был принят закон об изменении и дополнении ст. 70 Конституции СССР, где закреплялось образование Всесоюзного объединения Совета Министров СССР «Союзсельхозтехника», которая с 1962 г. продолжила формирование системы машин с привлечением специалистов машиностроительных комитетов при Госплане и Госстрое СССР, а также Госземводхоза, Лесхоза и управления механизации Минсельхоза СССР. Структура системы машин с 1965 по 1995 г. стала содержать четыре части: «Растениеводство», «Животноводство», «Мелиорация» и «Лесное хозяйство». Количество мелиоративных машин составило 339 наименований, из них 150 новых. На ВО «Союзсельхозтехника» с торговыми предприятиями и механизированными отрядами возлагалось осуществление продаж техники, запасных частей сельским товаропроизводителям (В. Н. Басс, 1999) и оказание агросервисных услуг [21]. Снижение риска избыточно завезенной в регион техники либо ее недостатка требовало выявления регионального и на его основе общегосударственного спроса и централизованного заказа объемов производства техники машиностроителям, которым нужно было знать заблаговременно номенклатуру и объемы производства техники, а сельским товаропроизводителям важен был срок начала поступления в продажу техники нового поколения. Председателями государственных комитетов «Автосельмаш» при Госплане СССР и «Стройдормаш» при Госстрое СССР в августе 1964 г. был утвержден «Разделительный перечень по ирригационным и мелиоративным машинам». За первым было закреплено 15 наименований видов машин для мелиоративных категорий работ, за вторым – 23 наименования видов машин для ирригационного строительства. После реорганизации госкомитетов в министерства новым разделительным перечнем за Минсельхозмашем было закреплено 12 наименований видов машин, а за Минстройдормашем осталось 23. К этому времени возникла потребность повышать крайне низкую надежность машин, выпускаемых заводами Минстройдормаша, из-за отсутствия при испытаниях заводами-изготовителями лабораторных исследований и учета поломок деталей, узлов, на МИС не было строительного производственного потенциала и технологических материалов для водохозяйственного строительства.

Противоречие было разрешено Распоряжением Совета Министров СССР от 17 мая 1968 г. № 1008р, согласно которому девять категорий машин из 23, закрепленных за Минстройдормашем, должны проходить испытания на МИС. Приемочные и периодические испытания оставшихся 14 категорий машин в производственных условиях должен был проводить Минводхоз СССР. В дальнейшем этот порядок сохранялся при разных реорганизациях, ликвидации Совмина СССР и Минстройдормаша.

Система машин в 1976 г. включала 587 наименований технических средств для мелиоративных работ и водохозяйственного строительства, в т. ч. 189 новых машин для постановки на производство до 1980 г. [22–24]. С 2001 г. система машин формируется как самостоятельный документ с отражением в федеральных регистрах технических средств их состояния, с разработкой и производством новых и серийных машин на момент формирования, через 5 и 10 лет (В. Н. Басс, 2005).

Проведенный в ФГБНУ «ВНИИГиМ» анализ показал, что в настоящее время существующие методы формирования базовых регистров технологий и машин не обеспечивают их адаптации к современным экономическим условиям и требуют усовершенствования и разработки структуры регистров на новых принципах. В ходе исследований в 2018 г. подготовлены «Методические положения по разработке федеральных

регистров базовых технологий и технических средств для производства мелиоративных работ в современных условиях». Для них установлены выявленные приоритеты механизации мелиоративных работ и этапы прогноза категорий и видов работ с порядком определения приоритетов производимой на мелиорированных землях продукции, требуемого парка технических средств для мелиоративной обработки земель, обеспечивающей рост объемов сельскохозяйственной продукции. Новизна методических положений заключается: в формировании Федеральной системы машин на базе сводного перечня машин, учитывающего интересы машиностроителей, торговых организаций, потребность сельских товаропроизводителей, строительных организаций; применении усовершенствованных методик разработки регистров машин и их комплексов с учетом дополнения регистров базовыми технологиями, разработанных на основе новых способов, защищенных рядом патентов на изобретения; расчете наращиваемых и обновляемых объемов парков машин на текущий период, прогнозных объемов машин в краткосрочной, среднесрочной и дальнесрочной перспективе для всех категорий и видов работ.

В результате анализа предыдущих методик и реализации предшествовавших систем машин [8–14] разработана структура шести регистров по категориям и видам работ, которые включают 45 модулей машин, и базовый регистр с типовыми наименованиями машин М.РТС-1. Структура сводного перечня технических средств представляется в виде совокупности регистров следующим образом.

Регистр реализации категорий, видов работ с закрепленными типовыми базовыми наименованиями машин М.РТС-1, включающий модули наименований машин в трех частях:

- машины для приоритетных в настоящее время мелиоративных работ;
- машины для перспективных категорий и видов мелиоративных работ;
- машины для приоритетных категорий и видов ирригационных и гидромелиоративных работ, водохозяйственного строительства, очистки водозаборов и природных водоводов.

Регистр М.РТС-2 технических средств для производства ремонтно-эксплуатационных работ, включающий модули машин:

1 Каналоочистительные машины.

2 Машины для скашивания, срезки, измельчения и удаления растительности.

3 Машины для промывки и ремонта закрытого дренажа.

4 Машины для производства эксплуатационных и ремонтно-строительных работ способом гидромеханизации.

5 Машины для ремонта и содержания гидротехнических сооружений.

6 Машины для глубокого рыхления деградированных земель.

Регистр М.РТС-3 технических средств для улучшения земель мелиоративных систем, включающий модули машин:

1 Машины для культуртехнических работ, освоения залежных и новых земель с первичной обработкой и окультуриванием почв.

1.1 Машины для поверхностного улучшения лугов, пашни и пастбищ.

1.2 Машины для коренного улучшения лугов, пашни и пастбищ.

1.2.1 Машины для обработки дернины и почвы лугов на минеральных грунтах осушительных систем.

1.2.2 Машины для обработки дернины и почвы лугов на болотных и торфяных землях осушительных систем.

1.2.3 Машины для обработки дернины и почвы пастбищ и пашни на землях осушительных систем.

1.2.4 Машины для обработки дернины и почвы на землях оросительных систем.

1.2.5 Машины для первичной обработки освоенных земель и окультуривания почв.

Регистр М.РТС-4 технических средств для уборки камней с земель мелиоративных систем, включающий модули машин:

1 Машины для подготовки почвы к уборке камней.

2 Машины для уборки крупных и средних камней.

3 Машины для уборки мелких камней.

4 Машины для вывозки камней с земель для их подготовки к утилизации.

5 Машины для подготовки (дробления) камней к утилизации.

Регистр М.РТС-5 технических средств для строительства и реконструкции оросительных, осушительных и обводнительных систем, включающий модули машин:

1 Экскаваторы-каналокопатели, каналокопатели и заравниватели.

2 Машины для строительства закрытого дренажа.

3 Машины для строительства трубопроводов закрытых оросительных систем.

4 Планировщики и выравниватели.

5 Машины для устройства бетонных покрытий.

6 Бороздо- и валикоделатели.

7 Машины для крепления откосов осушительных каналов и коллекторов.

8 Машины для строительства дорог и ухода за ними.

9 Машины для строительства ирригационных и судоходных каналов.

10 Машины для укрепления береговой линии от размыва, удаления русловых образований, камыша и руслоуглубления природных водоводов.

11 Машины для спрямления русла рек и удаления с утилизацией илистых наносов, растительной массы, ремонта проводящей и ограждающей сети.

12 Машины для строительства на малых реках плотин с водосбросами, плотин отдельно стоящих ГТС.

13 Машины для очистки водозаборов из природных водоводов, отстойников взвесей и ремонта регулирующей сети с сооружениями на ней.

14 Машины для разработки грунтов в котлованах с отсыпкой, намывом дамб малых и крупных водохранилищ, добычей инертных материалов.

Регистр М.РТС-6 технических средств для полива, включающий модули машин:

1 Дождевальные машины и установки.

1.1 Широкозахватные дождевальные машины и экраны дисперсного дождевания.

1.2 Двухконсольные дождевальные агрегаты.

1.3 Дождеватели дальнеструйные, импульсные, шлейфовые и шланговые.

2 Технические средства для поверхностного полива.

3 Вспомогательное оборудование для орошения.

4 Передвижные насосные станции.

Регистр М.РТС-7 вспомогательно-подготовительных технических средств для землеройного, погрузочного, складского, транспортного и энергетического обеспечения мелиоративных и водохозяйственных работ, включающий модули машин:

1 Землеройные машины и агрегаты.

2 Погрузочные машины и установки.

3 Транспортные машины, прицепы, легковые автомашины и тягачи.

4 Мобильные технические средства для изыскательных и диагностических работ.

5 Оборудование для производства буровых работ.

6 Энергетические средства и установки.

6.1 Электрические и компрессорные станции.

6.2 Ветроэнергетические установки и агрегаты.

6.3 Тракторы.

Разработаны в 2018 г. «Структура и новые принципы формирования Федеральной системы машин» на основе обоснования приоритетных площадей и объектов для восстановления, реконструкции и эксплуатации мелиоративных систем.

Новые принципы включают: приоритетность работ, закономерность взаимодействия ресурсных составляющих, конкурентоспособность, энергосбережение, равнопрочность узлов и механизмов в течение срока службы.

Базовые основы включают: цифровые базы данных, роботизацию рабочих процессов, замену ДВС с переходом на электропривод рабочих органов, автоматизацию технологических процессов управления рабочими органами машин, модульность создания и унификацию перспективных комбинированных агрегатов.

На основе анализа исходных материалов получена классификация степеней деградации, видов работ и периодов их исполнения. Установлено шесть групп контрастности почвенных ареалов с агропроизводственными особенностями, взаимосвязанных с периодом работ: краткосрочным, среднесрочным и дальнесрочным, показывающих возможность проведения всех категорий и видов мелиоративных, землеройных, строительных работ.

В отличие от существующей методологии, основанной на единичном выборе технологий и машин (в основном из имеющегося ряда), формирование новой системы машин проводится на основе комплекса целевых индикаторов, определяющих эффективность производства мелиоративных работ. Установлены граничные значения целевых индикаторов, учитывающих площади деградации, виды и объемы работ, гидрогеологические и климатические условия, для подбора машин, обеспечивающих высокую производительность труда и ускоренное возвращение в сельскохозяйственный оборот ранее мелиорированных и не используемых земель с различной степенью деградации.

Разработаны «Структура и принцип выбора методик формирования регистра технических средств» на основе новых вариантов комплексов машин, параметрических рядов ведущих средств механизации и вспомогательных машин для ресурсосберегающих технологий. Для уточняемых методик установлена номенклатура наименований индикаторных показателей и разработана ее классификация, совмещающая 40 наименований индикаторных показателей, пять степеней деградации, виды работ и четыре периода их исполнения, объединенная в пять групп. В этих группах для каждого индикаторного показателя представлен диапазон цифровых допустимых значений. Формируемая с использованием индикаторных показателей и предварительно определенных объемов и периодов мелиорации земель, категорий и видов работ Федеральная система машин, содержащая типичные для основных экономических районов технологии, включает разработанный регистр М.РТС-1 с наименованиями 492 типовых базовых технических средств без указания их марок. Перечень машин в модулях с конкретными марками и показателями будет определяться по поступающим предложениям в ходе последующей разработки системы.

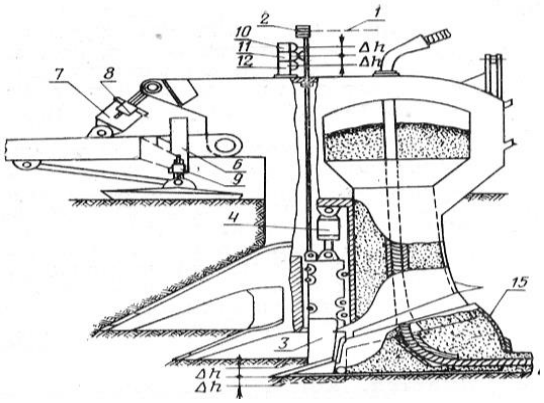
Усовершенствованная структура регистров технологий, включающих технологические модули, разработана на основе исследований новых технологических процессов очистки каналов, укладки дренажа и производства культуртехнических работ на деградированных землях [23–29]. Методическими положениями предусмотрены следующие пять регистров технологий: базовые типизированные технологии для строительства оросительных, обводнительных и осушительных систем, базовые типизированные технологии производства культуртехнических работ, базовые типизированные технологии для производства ремонтно-эксплуатационных работ на мелиоративных системах, базовые типизированные технологии для ускоренного окультуривания и биомелиорации земель, базовые типизированные технологии для полива на мелиорированных сельскохозяйственных угодьях.

Разработанные основы федеральных регистров базовых технологий и технических средств позволяют систематизировать опыт производства мелиоративных работ в новых экономических условиях [30, 31] и на их основе осуществлять наиболее обоснованный выбор средств механизации и рациональных технологий, обеспечивающих повышение производительности труда, снижение использования материальных ресурсов и сроков возвращения земель в сельскохозяйственный оборот. При этом обосновано, что снижение потребности в объемах использования специальных мелиоративных

машин возможно путем совершенствования технологий работ на базе новых комбинированных агрегатов, обеспечивающих ресурсосбережение за счет сокращения многопроходности ведущих машин и уменьшения числа машин в комплексе, адресности применения технологических материалов, одновременной подготовки и утилизации продуктов обработки почвогрунта, растительно-грунтовой массы, мелкой щепы, солей натрия и магния, донного ила.

На основании исследований определены основные показатели комбинированных агрегатов, рекомендуемых к использованию в ресурсосберегающих технологиях в качестве ведущих машин. Предлагаемые технические средства в качестве ведущих машин в новых технологиях позволяют сократить многопроходность, обеспечивают адресное внесение мелиоранта, производят подпокровную обработку и бинарный высев семян. Вспомогательные технические средства в рекомендуемых технологиях позволяют проводить диагностику состояния сельскохозяйственного угодья.

Совершенствование технических средств для строительства закрытой осушительной сети осуществляется путем устранения конструктивных и технологических недоработок существующих дреноукладчиков [32]. Строительство закрытого дренажа с отрывкой траншей цепным рабочим органом имеет высокую стоимость и снижает плодородие сельскохозяйственных угодий [33]. Исследования прокладки закрытого бестраншейного дренажа ВНИИГиМом проводились с 1961 г. в лабораторных и полевых условиях, были определены зоны резания со сколом и уплотнением, получены параметры пассивных рабочих органов для зоны осушения с глубиной дрены до 1,8 м [34]. Дальнейшее совершенствование бестраншейной технологии строительства дренажа возможно при изменении ярусного расположения ножей и разделения бункера на две части [35, 36], при закреплении верхней части жестко к стойке щелереза, нижней подвижной части с установленным ножом, формирующим дно для укладки трубы, и системой вертикального его перемещения гидроприводом, связанной с механизмом выдерживания заданного уклона дрены (рисунок 1).



1 – луч лазера; *3* – подвижный нож; *4* – гидроцилиндр управления ножом, формирующим дно щели; *15* – подвижная нижняя часть бункера

Рисунок 1 – Схема двухъярусного рабочего органа дреноукладчика с подвижной нижней частью бункера

Для реализации технологии с двухъярусным расположением ножей на стойке щелереза и днообразующего ножа на подвижной части бункера был создан и изготовлен в ОКБ ВНИИГиМ дреноукладчик с рабочим органом РД-3,0 на базе шасси дреноукладчика МД-12. Верхняя часть бункера дреноукладчика с рабочим органом РД-3,0 имела шарнирное соединение со стойкой щелереза и через лыжи перераспределяла массу бункера на поверхность неразрыхленного почвогрунта вдоль трассы дрены, что сохраняло естественную фильтрацию через дно щели и устраняло основной недостаток дреноукладчиков для бестраншейного строительства (рисунок 2).

Рисунок 2 – Дреноукладчик с рабочим органом РД-3,0 (фото Е. И. Копьева)

Для совершенствования бестраншейной технологии строительства закрытого горизонтального дренажа разработана выборка технических средств. Обоснованы перспективные показатели и параметры новых дреноукладчиков с применением метода имитационного моделирования [37]. Прогнозные показатели новых машин и нормативные значения существующих технических средств, включенные в выборку для моделирования, представлены в таблице 1. По полученным эмпирическим зависимостям в ходе моделирования и варьирования переменных определены прогнозные показатели перспективной машины для бестраншейной технологии строительства дренажа на глубину до 2,3 м, обеспечивающей выполнение работ с почвосбережением и уменьшением затрат.

В ходе настройки моделирования обработки деградированных земель с высоким (1,6–3,0 м) уровнем грунтовых вод бестраншейными дреноукладчиками (этап 1) установлена взаимосвязь номинальной мощности с материалоемкостью машин. После отсечения экстремальных значений дреноукладчиков: Mastenbroek 3520V (Англия), ДБ-252 с тягачом, Tait 7-11 (США), по семи дреноукладчикам зависимость описывается уравнением:

$$y = -3{,}9167x^3 + 50{,}833x^2 - 138{,}32x + 304{,}71 \text{ при } R^2 = 0{,}9422,$$

где y – номинальная мощность No, кВт;

x – удельная материалоемкость Gm, т·ч/м^3.

По скорректированной выборке до семи марок дреноукладчиков эмпирическая зависимость массы ТС от удельных затрат (этап 2) после исключения экстремальных значений ТС: МД-12 и МД-13, описывается уравнением:

$$M = \hat{f}\,(Ce),\ y = 3{,}425x^3 - 43{,}404x^2 + 154{,}77x - 90{,}56,\ R^2 = 0{,}9907,$$

где y – масса дреноукладчика M, т;

x – удельные затраты Ce, руб./м.

Для выполнения работ по освоению деградированных земель и реконструкции мелиоративных сетей по результатам проведенных исследований рекомендуется новый бестраншейный дреноукладчик с предварительной маркой БДМ-2ЯС. Самоходный на базе колесного трактора ОТЗ-515, со схемой колес 8 × 8, тягового класса 195 кН, мощностью двигателя 205 кВт, с быстросменяемыми армированными резино-металлическими гусеницами и навесным рабочим оборудованием. БДМ-2ЯС содержит трехсекционную раму, ходовую часть с гидромеханическим приводом, многоярусный щелерез со ступенчатой стойкой и двухсекционным бункером с механизмом выдерживания заданного уклона ножом, закрепленным на нижней секции подвижного бункера. Масса – 24800 кг. Параметры щели: глубина до 2,3 м, ширина – до 0,14 м для укладки пластмассовых труб диаметром до 80 мм. Производительность за 1 ч основной работы – 2400 м/ч. Цена машины не более 26,7 млн руб.

Таблица 1 – Техническая характеристика бестраншейных дреноукладчиков с пассивным рабочим органом

Наименование показателя	Обозначение	Марка машины									
		Mastenbroek 3520V (Англия)	МД-4 с тягачом МД-5	МД-12	Inter-Drain 2030 (Нидерланды)	БДМ-2ЯС	ДБ-252 с тягачом	Tait 7-11 (США)	БДМ-300 с тягачом	БДМ-301А с тягачом	МД-13 с тягачом МД-14
Зона мелиорации		Осушение						Орошение			
Мощность двигателя, кВт	*N*	268	242	221	269	205	493	519	442	442	485
Глубина укладки, м	*H*	1,8	1,8	1,6–1,8	1,83	1,9–2,3	1,8–2,5	2,5–3,2	2,5–3,0	3,0	3,0
Ширина выемки грунта, м	*B*	0,35	0,2	0,12 и 0,2	0,2	0,14	0,28	0,31	0,28	0,25	0,27
Масса, т	*M*	25,0	51,0	33,5	26,9	24,8	57,5	57,6	70,5	79,0	70,0
Производительность, м/ч	*W*	2900	840	1077	301,2	2400	1700	2820	1500	1500	1000
Выработка, П = *W*/*HB*	П	4603,1	2333,3	2991	822,9	7453,4	2428,6	2842,7	2142,8	2000	1234,5
Удельная материалоемкость, т/м (*M*/П)	*Gm*	0,005	0,0218	0,011	0,032	0,004	0,024	0,020	0,033	0,0395	0,0567
Часовой расход топлива, кг/ч	*Qe*	43,992	35,59	33,23	65,905	27,593	71,21	87,58	65,01	65,01	78,02
Удельный расход, кг/кВт	*q*	0,250	0,224	0,229	0,245	0,205	0,220	0,257	0,224	0,224	0,245
Стоимость топлива, руб./ч	СТ	1649,71	1334,7	1246,1	2471,44	1034,76	2670,56	3284,22	2437,824	2437,82	2925,76
Стоимость машины, млн руб.	Смаш	25,0	40,2	34,1	27,0	26,7	43,5	45,2	38,0	42,4	48,6
Затраты на машино-час, руб./ч	*Co*	6466,22	8914,86	7717,2	7651,59	6160,37	10851,25	11773,46	9617,97	10418,0	12033,18
Удельные затраты, руб./м	*Ce*	2,23	10,61	7,17	25,4	2,56	6,38	4,17	6,412	6,945	12,033
Удельное давление на грунт, МПа	*P*	0,023	0,037	0,035	0,032	0,021	0,065	0,037	0,056	0,07	0,075

Заключение

1 Под системой машин для комплексной механизации мелиоративных работ в АПК изначально понимается совокупность различных машин и приспособлений, отражающих их жизненный цикл, взаимно увязанных в технологическом процессе по своим технико-экономическим, эксплуатационным показателям и обеспечивающих последовательность выполнения основных и дополнительных операций рабочих процессов.

2 Внедрение новой научно обоснованной современной системы машин для комплексной механизации мелиоративных работ актуально не только для машиностроителей, но и для сельских товаропроизводителей, строительно-мелиоративных организаций, торговых организаций, так как она наиболее полно отвечает задаче проведения мониторинга рынка, продаж техники и обновления парка землеройных, ирригационных, каналоочистительных машин и специальных мелиоративных средств.

3 Применение разработанных методических положений на основе перспективных технологий и внедрение системы машин для своевременного производства новых ведущих машин позволят освоить богарные деградированные земли с переводом в высокопродуктивные пастбища, а также обеспечить экономию воды за счет накопления запасов атмосферных осадков и создания в подпокровном слое прослойки, сокращающей транспирацию воды с поверхности почвы на лугах и пашне.

Список использованных источников

1 Михалёв, А. А. Мелиоративное состояние орошаемых и осушенных сельскохозяйственных угодий и техническое состояние оросительных и осушительных систем по состоянию на 01.01.2006 г. / А. А. Михалёв; Федер. агентство по сел. хоз-ву. – М.: Упр. мелиорации и техн. обеспечения, 2006. – 48 с.

2 Отчет о реализации I этапа (2014–2016 годы) Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». – М.: Росинформагротех, 2017. – 80 с.

3 Гордеев, А. В. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / А. В. Гордеев, Г. А. Романенко. – М.: Росинформагротех, 2008. – 67 с.

4 Басс, В. Н. Методические указания по эксплуатации автоматизированной системы сбора данных о наличии парка машин и механизмов, находящихся на балансе региональных мелиоративных организаций / В. Н. Басс, В. С. Пунинский. – М.: ВНИИГиМ, 2002. – 26 с.

5 Виноградова, Н. В. Разработка методов оценки состояния дренажных систем по аэрофотоснимкам с использованием спектральных характеристик почв / Н. В. Виноградова. – М.: ВНИИГиМ, 1995. – 30 с.

6 Зотова, Л. В. Совершенствование методов оптимизации технологических комплексов мелиоративных машин / Л. В. Зотова. – М.: ВНИИГиМ, 1994. – 25 с.

7 Системы технологий и машин для сельскохозяйственного производства России и малотоннажной переработки сельхозпродукции. Принципы построения, методика разработки и управления / А. Н. Каштанов [и др.]. – М.: ВИМ, 1994. – 264 с.

8 Кельнер, Н. А. Методика предпроектных прогнозных исследований системы машин для комплексной механизации растениеводства / Н. А. Кельнер; ВИСХОМ. – Ереван: Армсельхозмеханизация, 1986. – 19 с.

9 Соколов, Ю. А. Методика по совершенствованию системы машин для комплексной механизации мелиоративных работ на 1981–1985 гг. / Ю. А. Соколов, Е. Д. Томин. – М.: ВНИИГиМ, 1977. – 22 с.

10 Томин, Е. Д. Методика разработки системы машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1991–2000 годы. Ч. 3. Мелиорация / Е. Д. Томин, И. И. Марченко. – М.: ВНИИГиМ, 1988. – 16 с.

11 Методические рекомендации по разработке прогнозных нормативных показателей для планирования развития сельского хозяйства на долгосрочную перспективу / А. Ф. Поцкалев, В. И. Петранев, И. Д. Олисаева, Т. Н. Макарова. – М.: Изд-во НИИПиН, 1981. – 52 с.

12 Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / А. Н. Никифоров [и др.]. – М.: ВИМ, 1995. – 95 с.

13 Евграфов, В. А. Оптимизация парка мелиоративных и строительных машин и уровня их технической эксплуатации / В. А. Евграфов. – М.: МГАУ, 1995. – 33 с.

14 Федеральные регистры базовых и зональных технологий и технических средств для мелиоративных работ в сельскохозяйственном производстве России до 2010 г. / Б. М. Кизяев [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2003. – 112 с.

15 Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.

16 Рекомендации по оценке мелиоративного состояния осушенных земель и разработке мероприятий по их улучшению / Д. Б. Циприс [и др.]. – Л.: СевНИИГиМ, 1985. – 64 с.

17 Рекс, Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем / Л. М. Рекс. – М.: Аслан, 1995. – 192 с.

18 Суриков, В. В. Строительные машины для механизации гидромелиоративных работ / В. В. Суриков, Б. А. Васильев, В. Б. Гантман; под общ. ред. В. В. Сурикова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

19 Черненький, В. М. Имитационное моделирование / В. М. Черненький. – М.: Высш. шк., 1990. – 110 с.

20 Методы системного анализа в мелиорации и водном хозяйстве / Б. Г. Штепа [и др.]. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 261 с.

21 Басс, В. Н. Система технологий и машин для комплексной механизации мелиоративных работ в сельскохозяйственном производстве России / В. Н. Басс, В. С. Пунинский // Наукоемкие технологии в мелиорации: материалы междунар. науч. конф. (Костяковские чтения), 30 марта 2005 г. – М.: ВНИИА, 2005. – С. 486–491.

22 Басс, В. Н. Система технологий и машин – научно-техническая основа для развития мелиоративных работ / В. Н. Басс, В. С. Пунинский // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 56–58.

23 Пунинский, В. С. Система машин для комплексной механизации мелиоративных работ / В. С. Пунинский // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 2. – С. 43–48.

24 Пунинский, В. С. Система машин для комплексной механизации мелиоративных работ и техника для мелиорации деградированных кормовых угодий / В. С. Пунинский // Кормопроизводство. – 2018. – № 4. – С. 37–45.

25 Кизяев, Б. М. Развитие технологий строительства дренажа на мелиорируемых землях / Б. М. Кизяев, Г. Х. Бедретдинов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5–6. – С. 34–37.

26 Миронов, В. И. Технология и механизация дренажных работ в зоне орошения / В. И. Миронов. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 120 с.

27 Миронов, В. И. Комплексно-механизированные технологии строительства закрытого горизонтального дренажа в зоне орошения узкотраншейным способом: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Миронов Василий Иванович. – Новочеркасск, 2004. – 51 с.

28 Бедретдинов, Г. Х. Совершенствование технологии укладки дренажа узкотраншейным способом / Г. Х. Бедретдинов // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства России: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд-во ВНИИА, 2013. – С. 120–125.

29 Пунинский, В. С. Совершенствование каналоочистительных машин для восстановления функционирования мелиоративной сети / В. С. Пунинский // Сборник научных трудов ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2018. – С. 70–78.

30 Пунинский, В. С. Совершенствование технологий и машин для восстановления продуктивности деградированных почв с солонцом / В. С. Пунинский // Основные результаты научных исследований института за 2017 год: сб. науч. тр. – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2018. – С. 280–291.

31 Бедретдинов, Г. Х. Новая технология укладки дренажа при высоком уровне грунтовых вод / Г. Х. Бедретдинов // Инновационные технологии в мелиорации: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд-во ВНИИА, 2011. – С. 208–214.

32 Левчиков, А. А. Дренаж на орошаемых землях в XXI веке / А. А. Левчиков. – М.: МГУП, 2011. – 129 с.

33 Томин, Е. Д. Бестраншейное строительство закрытого дренажа / Е. Д. Томин. – М.: Колос, 1981. – 240 с.

34 Казаков, В. С. Исследование процесса резания минеральных грунтов при бестраншейном строительстве материального дренажа: автореф. дис. … канд. техн. наук / Казаков В. С. – М., 1965. – 16 с.

35 Spoor, G. Trenchless drainage pipe installation and its implications for subsequent drain performance / G. Spoor, R. K. Fry // Proc. Fourth National Drainage Symposium, ASAE. – St. Joseph, 1982. – P. 105–114.

36 Буравцев, В. Н. Опыт строительства дренажа бестраншейным способом / В. Н. Буравцев // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2017. – С. 337–348.

37 Пунинский, В. С. Тенденция развития технических средств для строительства дренажа / В. С. Пунинский // Вопросы мелиорации. – 2012. – № 5–6. – С. 67–76.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

УДК 627.83:631.67

О. В. Воеводин, В. В. Слабунов
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

О ТЕРМИНЕ «ВОДОЗАБОРНОЕ СООРУЖЕНИЕ» И ЕГО СИНОНИМАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ

Цель исследований – проанализировать понятийный аппарат, в частности определения термина «водозаборное сооружение» и его синонимов, которые применяются в области мелиорации и других областях деятельности, использующих гидротехнические сооружения, и на основании этого предложить собственное определение термина «водозаборное сооружение». В качестве методических подходов, применяемых при исследовании понятийного аппарата, использовались требования ГОСТ Р ИСО 704-2010, Р 50.1.075-2011, а также логические приемы образования понятий: анализ, синтез, сравнение, абстрагирование и обобщение. В результате проведенных исследований выполнен анализ понятийного аппарата, на основании методических подходов, изложенных в документации по стандартизации, сформулировано и предложено определение термина «водозаборное сооружение». Водозаборное сооружение – гидросооружение, производящее отбор воды определенного количества и качества для транспортировки.

Ключевые слова: водозаборное сооружение, водозабор, водозаборный узел, водозаборное устройство, термин, определение, понятийный аппарат.

****

O. V. Voevodin, V. V. Slabunov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

ON THE TERM “WATER-INTAKE WORKS” AND ITS SYNONYMS APPLIED IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION

The aim of the research is to analyze the conceptual apparatus, namely, the definitions of the term “water intake” and its synonyms that are used in land reclamation and other fields of activity applying hydraulic structures and to propose its own definition of the term “water intake” based on this research. The requirements of GOST R ISO 704-2010, R 50.1.075-2011, as well as the logical ways of concept formations: analysis, synthesis, comparison, abstraction and generalization were used as the methodological approaches used in the study of the conceptual apparatus. As a result of the conducted research, the analysis of the conceptual apparatus was carried out; the definition of the term “water intake” was formulated and proposed on the basis of the methodological approaches laid out in the standardization documentation. Water intake is a hydraulic structure performing water withdrawal of a certain quantity and quality for transportation.

Key words: water intake works, water intake, water intake facility, water intake, term, definition, conceptual apparatus.

Введение. Невозможно представить себе ни одной отрасли, существование которой обошлось бы без воды. В сельском хозяйстве (в частности, в орошаемом земледелии), в химической, электроэнергетической, целлюлозно-бумажной, металлургиче-

ской и других отраслях вода по своей массе является основным используемым ресурсом. Вода является компонентом практически всех технологических процессов, сырьем, растворителем, теплоносителем, транспортной системой [1].

Востребованность в водных ресурсах множества отраслей как в России, так и за рубежом выдвигает на первый план задачу бесперебойной подачи воды потребителям. Водозаборные сооружения являются практически первыми в цепочке сооружений, обеспечивающих передачу воды от водного источника к потребителю, и испытывают наибольшее влияние природных сил, что говорит об их несомненной важности.

Совершенствование гидротехнических сооружений систем водоподачи, в т. ч. водозаборных сооружений, началось с их зарождения и активно продолжается и по сей день [2, 3], что влияет на постоянное увеличение их количества и разнообразия, а также требует корректировки понятийного аппарата.

В СП 100.13330.2016 [4] приводится состав элементов оросительной системы, к числу которых относятся водозаборные сооружения на естественных или искусственных водоисточниках, в связи с чем в статье в качестве основного будет использоваться термин «водозаборное сооружение», а его синонимам дадим определенную смысловую нагрузку, чтобы избежать двоякого толкования.

Материалы и методы. В статье использовались научные работы российских и зарубежных ученых в области изучения водозаборных сооружений и актуальные базы документации в области стандартизации. В качестве методических подходов, применяемых при исследовании понятийного аппарата, использовались требования ГОСТ Р ИСО 704-2010 [5], Р 50.1.075-2011 [6], а также логические приемы образования понятий: анализ, синтез, сравнение, абстрагирование и обобщение.

Результаты и обсуждения. Воспользовавшись различными информационными источниками [7–9], можно поставить в ряд множество терминов, являющихся синонимами термина «водозаборное сооружение». Это водозабор, водозаборный узел и водозаборное устройство.

Рассмотрим, какие имеются в практике определения термина «водозабор» и какой смысл они несут. Анализ информационных источников показал, что термин «водозабор» несет несколько различных значений. Так, часть источников [7, 10] подразумевает, что водозабор является технологическим процессом или просто процессом. Другая часть источников [11, 12] расценивает «водозабор» как сооружение, устройство и даже комплекс или узел сооружений. Источник [2] считает, что «водозабор» является местом, где производится отбор воды из источника.

Методическими подходами в ГОСТ Р ИСО 704-2010 и Р 50.1.075-2011 установлено, что определение должно соответствовать требованиям формирования, а также содержать главное понятие и разграничивающие характеристики. Приведем термин «водозабор» согласно ГОСТ 19185-73: «забор воды из водоема, водотока или подземного водоисточника», и проведем анализ соответствия требованиям документации по стандартизации. Анализ термина с соответствующим определением показал:

- термин «водозабор» имеет несколько различающихся по смыслу определений, что в пределах одной области знаний можно считать некорректным;
- термин «водозабор» является сложносокращенным словом, а в определении приводится его исходная форма в виде словосочетания «забор воды», в результате чего данный принцип формулирования можно назвать закольцованным или с применением тавтологии (т. е. не зная, что такое «водозабор», едва ли мы разберемся с этим, прочитав словосочетание «забор воды»);
- приведенные слова «…из водоема, водотока…» и «…подземного…», относящиеся к водоисточникам, имеют разный уровень детализации классификации, более того, «…из водоема, водотока…» можно считать избыточной информацией, так как смысл определения не изменится, если использовать «поверхностного»;

- невозможно выделить главное понятие, т. е. непонятно, к чему относится термин: к технологическим процессам, сооружениям и т. п.;

- если принять определение как описание разграничивающих характеристик, то его можно считать слишком широким, так как характеристики, участвующие в описании, расширяют объем определения, позволяя допускать ненужные объекты, что относит определение к неточным (например, данное определение позволяет говорить о том, что забор воды можно производить с применением как гидросооружений, так и ведра).

В большинстве случаев в применяемых в практике определениях термина «водозабор» используется слово «забор», указывающее на действие, а действие в свою очередь есть технологический процесс или операция. По нашему мнению, наиболее близкое по смыслу к термину «водозабор» определение должно указывать его принадлежность к технологическим процессам. На основании вышесказанного попробуем сформулировать и представить определение, включающее главное понятие и разграничивающие характеристики. Водозабор – технологический процесс отбора воды гидросооружением из водоисточника.

Научные литературные источники, которые описывают водозаборные сооружения в составе оросительных систем, зачастую пользуются термином «водозаборный узел». Так, И. М. Волков, П. Ф. Кононенко, И. К. Федечкин дают пояснение, что [8] «головные сооружения обычно устраивают совместно с другими гидротехническими сооружениями, и общий комплекс этих сооружений называется водозаборным узлом». Найти определение в литературе, а также в документации по стандартизации не удалось, хотя термин используется в ряде источников [4, 13].

Причиной появления данного термина, по всей видимости, явилась необходимость обозначения группы сооружений, отличающихся при объединении своей компактностью, многофункциональностью и относительной дешевизной. В состав водозаборного узла могут входить: рыбозащитные, водозаборные, регулирующие сооружения, плотины, дамбы, отстойники, насосные станции и т. д. Определим, что будем считать главным понятием в определении «водозаборный узел». Согласно приведенному в монографии В. Н. Щедрина и др. [3] определению термина: «Узел – место соединения, скопления, увязываемое в целое, отдельностей», считаем «водозаборный узел» гидросооружением, так как он является использующим воду цельным объектом, состоящим из увязанных отдельностей в виде водозаборного (имеющего основное предназначение) и вспомогательных устройств. В данном случае устройств, а не сооружений, потому что необходимо выделить соподчиненность элементов объекта, а определение термина [3]: «Устройство – элемент сооружения, конструкция, механизм или прибор, обеспечивающий выполнение определенной функции или решение определенной задачи», подтверждает это.

При формировании в определении разграничивающих характеристик приступим к нахождению существенных признаков. Термин «водозаборный узел» является словосочетанием, которое первоначально указывает основную функцию узла – водозаборную, однако в состав узла на поверхностном водоисточнике включается рыбозащитное устройство (что в практике встречается часто), поэтому добавляется природоохранная функция. Функции оказывают прямое влияние на набор существенных характеристик в определении, которые являются основным отличием одного объекта от другого. Рассматривая водозаборный узел на подземном водоисточнике, мы никогда в его составе не увидим рыбозащитное устройство, что является противоположным рассматриваемому выше примеру и вносит неопределенность в состав разграничивающих характеристик определения. В связи с этим описание разграничивающих характеристик по принципу интеграции единичных функциональных признаков устройств, входящих в узел, считаем неудачным.

Повторно обратившись к вышепредставленному определению, которое указыва-

ет, что узел является определенным местом, рассмотрим, имеет ли водозаборный узел определенное место в оросительной системе. Проанализировав различные компоновки водозаборных узлов, установили, что местонахождение его имеет единственную закономерность – это размещение между водоисточником и водоводом. Так как узел – это «увязываемое в целое», то это целое состоит как минимум из двух частей, т. е. в разграничивающую характеристику возможно ввести и количественную характеристику. Объединив главное понятие и разграничивающие характеристики, получим определение термина: водозаборный узел – гидросооружение, состоящее из двух и более устройств, смежно расположенное с водоисточником и водоводом.

Проведя поиск определения термина «водозаборное устройство» в базах документации по стандартизации, получили отрицательный результат. Просмотрели около 70 литературных источников, в которых по тексту встречается искомое словосочетание, и только в одном приводится определение рассматриваемого термина. Так, В. В. Рычагов пишет [9]: «Водозаборное устройство – это гидротехническое сооружение в голове гидротехнического узла машинного водоподъема, через которое вода поступает из водоисточника в узел сооружений насосной станции. Оно должно обеспечивать забор воды из водоисточника в соответствии с графиком потребления и не допускать попадания в узел сооружений станции наносов (донных и взвешенных), плавающего мусора, льда и шуги». По нашему мнению, на составление приведенного определения повлияло несколько факторов: автор, являясь специалистом по насосным станциям, ставит их в главенствующее положение и в этом аспекте рассматривает взаимодействие с другими сооружениями; рассматривая узел, скомпонованный из нескольких сооружений, каждое из сооружений можно считать устройством, что не противоречит определению термина «устройство» [3]. Единственное, с чем не можем согласиться, это то, что водозаборное устройство должно не допускать попадания наносов, в частности взвешенных, так как в большинстве случаев оно предназначено для удаления донных наносов, а с взвешенными предполагается бороться отстойникам или гидроциклонам, что подтверждается [14] Н. П. Розановым, Я. В. Бочкаревым, В. С. Лапшенковым и др. В дальнейшем будем считать водозаборным устройством водозаборное сооружение, входящее в водозаборный узел.

Научная, справочная, учебная литература, а также документация по стандартизации, по нашему мнению, неоднозначно подходит к формулировке определений для понимания, чем же являются водозаборные сооружения.

Так, например, согласно ГОСТ 19185-73 [7] «водозаборное сооружение – гидротехническое сооружение для забора воды в водовод из водоема, водотока или подземного водоисточника». Исходя из определения, можно выделить признаки, которые определяют данное сооружение и отделяют его от других. Это принадлежность его к гидротехническим сооружениям, забор воды из источника, и еще (довольно обтекаемо) из слов «…для забора воды в водовод…» – передача воды в водовод. Однако если привести по СП 8.13130.2009 [15] определение термина: «Насосная станция – сооружение, предназначенное для забора воды из водоисточника и подачи ее в водопроводные сети», становится очевидным, что ключевые признаки данных сооружений существенно не отличаются и по приведенным определениям отличить сооружения друг от друга не представляется возможным. Более того, определение термина «водозаборное сооружение», приведенное в ГОСТ 19185-73, которое, на первый взгляд, предназначено для описания всех типов водозаборных сооружений, со своим предназначением «не справляется», так как, по нашему мнению, оно может быть применено только к поверхностным водозаборным сооружениям с самотечной подачей воды в водовод, а для подачи воды в напорные водоводы в большинстве случаев потребуется насосное оборудование, что уже совсем о других сооружениях, пусть даже о водозаборных узлах, о которых написано ранее.

На основе вышеприведенных исследований сформулируем определение термина: водозаборное сооружение – гидросооружение, производящее отбор воды определенного количества и качества для транспортировки. В данном случае под качественной подготовкой воды для поверхностных водозаборных сооружений подразумевается избавление воды от мусора, плавника, влекомых (донных) наносов, шуги (в зимний период) и т. п., а для подземных водозаборных сооружений – предотвращение вовлечения в поток воды частиц грунтов, слагающих водоносный горизонт.

Выводы

1 Синонимам термина «водозаборное сооружение» (к которым относятся «водозабор», «водозаборный узел» и «водозаборное устройство») дана определенная смысловая нагрузка в виде определений терминов и пояснений. Водозабор – технологический процесс отбора воды гидросооружением из водоисточников. Водозаборный узел – гидросооружение, состоящее из двух и более устройств, смежно расположенное с водоисточником и водоводом. Водозаборное устройство – водозаборное сооружение, входящее в водозаборный узел.

2 Для термина «водозаборное сооружение» сформулировано и предложено определение: водозаборное сооружение – гидросооружение, производящее отбор воды определенного количества и качества для транспортировки.

Список использованных источников

1 Копылова, В. Д. Вода в природе, значение и свойства / В. Д. Копылова, Е. В. Веницианов // Сорбционные и хроматографические процессы. – Воронеж: ВГУ, 2012. – Т. 12, вып. 5. – С. 828–838.

2 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 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 Мелиоративные системы и сооружения: СП 100.13330.2016: введ. в действие с 17.06.17 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

5 ГОСТ Р ИСО 704-2010. Терминологическая работа. Принципы и методы. – Введ. 2011-09-01 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

6 Разработка стандартов на термины и определения: Р 50.1.075-2011: введ. в действие с 01.03.12 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

7 ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1975-01-01 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

8 Волков, И. М. Гидротехнические сооружения / И. М. Волков, П. Ф. Кононенко, И. К. Федечкин. – М.: Колос, 1968. – 464 с.

9 Рычагов, В. В. Насосы и насосные станции / В. В. Рычагов, М. М. Флоренский. – Изд. 4-е. – М.: Колос, 1975. – 416 с.

10 Усовершенствованные методы прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ: Р 52.24.627-2007: введ. в действие с 01.01.08 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

11 СТО 70238424.27.010.001-2008. Электроэнергетика. Термины и определения. – Введ. 2008-07-30 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

12 Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных скважинах: введ. 25.07.00 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

13 Мелиоративные системы и сооружения. Речные плотинные водозаборы (Пособие к СНиП 2.06.03-85): введ. 01.01.87 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

14 Гидротехнические сооружения / Н. П. Розанов [и др.]; под ред. Н. П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.

15 Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности: СП 8.13130.2009: введ. в действие с 25.03.09 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

УДК 631.674.6

А. С. Штанько, М. В. Власов
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗОН УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ

Целью исследования является разработка способа определения объема единичного контура увлажнения почвенного пространства при капельном поливе. Расчет поливных норм капельного полива предусматривает определение объемов единичных контуров увлажнения подкапельного почвенного пространства, формируемых одним капельным микроводовыпуском. Объем увлажняемого одной капельницей почвенного пространства в общем случае зависит от почвенных условий и технологических параметров капельного полива. Общепринятый способ его определения до настоящего времени отсутствует при все возрастающей потребности в нем, что и предопределило актуальность и необходимость проведения настоящего исследования. В основу предложенного способа положена полученная зависимость для определения объема единичного контура увлажнения, которая базируется на экспериментальных исследованиях, выполненных для широкого спектра почвенных условий капельного орошения, и позволяет с приемлемой для практического использования точностью прогнозировать (рассчитывать) объем увлажняемого при капельном поливе почвенного пространства.

Ключевые слова: капельное орошение, капельный полив, контур увлажнения, очертание контура, объем контура, почвенные условия, технологические условия.

****

A. S. Shtanko, M. V. Vlasov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE ZONE SOIL SPACE MOISTURE VOLUMES DETERMINATION UNDER DRIP IRRIGATION

The purpose of the study is to develop a method for determining the volume of a single soil moisture contour during drip irrigation. The calculation of drip irrigation rates involves the determination of single moisture contours volume of subsurface soil space, formed by one drip micro outlet. The soil space volume moistened by one emitter generally depends on soil conditions and technological parameters of drip irrigation. In spite the ever-increasing demand the generally accepted method of its determination is still absent that predetermined the

relevance and necessity of the given research. The obtained dependence for determining the single moisture contour volume based on experimental studies carried out for a wide range of soil conditions under drip irrigation is the basis of the proposed method and allows to predict (calculate) the soil space volume moistened by drip irrigation.

Key words: drip irrigation, drip watering, moisture contour, contour outline, contour volume, soil conditions, technological conditions

Введение. В процессе капельного полива в подкапельном почвенном пространстве формируется зона, область или локальный контур искусственно увлажненной почвы [1, 2]. Линейные, площадные и объемные параметры контура капельного увлажнения в течение продолжительного времени являлись предметом научных исследований, в процессе которых специалисты в области капельного орошения пришли к выводу о необходимости определения объемов капельно увлажняемого пространства для последующего использования этих значений при определении поливных норм [3] и проектировании систем капельного орошения сельскохозяйственных культур [4]. При решении указанной задачи исследователи столкнулись с проблемой многофакторного влияния среды увлажнения и технологических условий капельного полива на форму (очертание) и размеры контуров увлажнения. Разнородность состава и структуры увлажняемой почвогрунтовой толщи, наличие в почве включений и пор приводило к трансформации форм и размеров контуров и значений показателей влажности почвы во внутриконтурном пространстве. Описывающие ограничивающие контуры условные поверхности имеют сложное очертание по глубине и в плане, что потребовало их аппроксимации и приведения к форме относительно простых геометрических фигур.

В наиболее ранних работах сложноформенностью локальных контуров капельного увлажнения почвогрунтового подкапельного пространства пренебрегали, а объем увлажняемой зоны определялся по объему параллелепипеда или куба по зависимостям:

$$W_{\text{кон}} = a \cdot b \cdot h_{\text{кон}} \text{ или при } a = b \;\; W_{\text{кон}} = b^2 \cdot h_{\text{кон}},$$

где $W_{\text{кон}}$ – объем локального (единичного) контура капельного увлажнения почвы, м^3;

a и b – линейные размеры контура увлажнения в плане (ширина и длина), м;

$h_{\text{кон}}$ – глубина зоны увлажнения (промачивания) почвы при капельном поливе, м.

Указанный подход в последующем использовался при расчетах объемов линейно расположенных контуров, формирующих полосу увлажнения почвы [5], и приводил к существенному (близкому к двукратному) завышению расчетных объемов увлажняемого почвенного пространства, а следовательно и поливных норм.

Известны предложения приведения формы единичных контуров капельного увлажнения почв к форме цилиндра. При такой аппроксимации их внешнего очертания объем контура $W_{\text{кон}}$, м^3, предполагалось определять по соотношению вида:

$$W_{\text{кон}} = 0{,}785 \cdot d_{\text{кон}}^2 \cdot h_{\text{кон}},$$

где $d_{\text{кон}}$ – диаметр локального (единичного) контура капельного увлажнения почвы, м.

При этом в ранних разработках [6] за значение диаметра контура принималась его наибольшая фиксируемая по глубине величина, а имеющее при таком подходе место превышение расчетных значений объемов над измеренными компенсировалось введением корректирующих коэффициентов. В последующем указанный подход был усовершенствован введением в расчетную зависимость вместо значения $d_{\text{кон}}$ величины $d_{\text{ср}}$ – среднего по вертикальному увлажняемому профилю почвы диаметра, м [7]. При таком подходе объем контура максимально приближался к реальному значению, но его широкое использование сдерживалось отсутствием рекомендаций и зависимостей для определения значений среднего диаметра контура, на величину которого значимое влияние оказывают почвенные и технологические условия капельного полива.

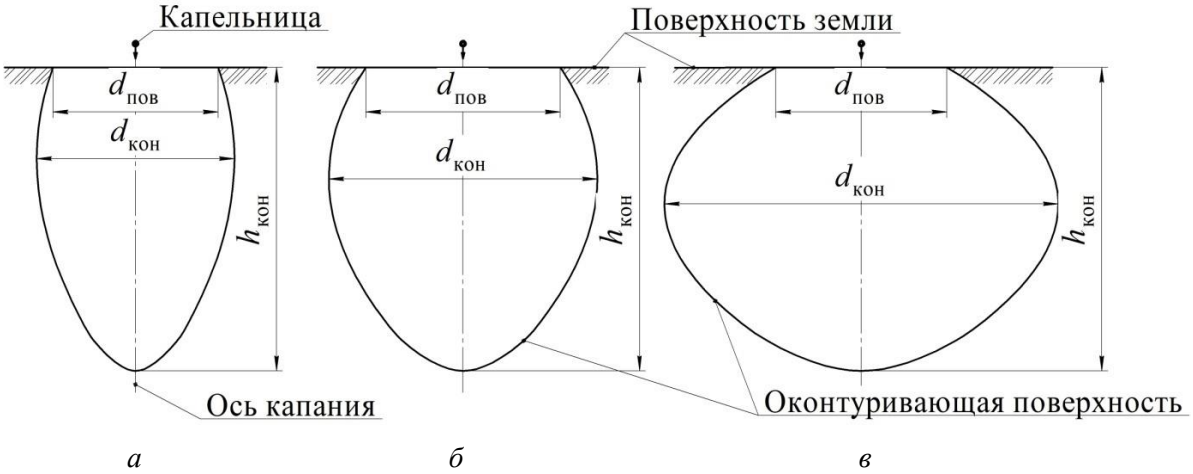
С учетом широкого разнообразия реально фиксируемых форм контуров и сложности их приведения к единой форме цилиндра М. Ю. Храбровым было предложено аппроксимировать контуры к форме усеченного шара для контуров, формирующихся в тяжелых типах почв, и к форме «цилиндро-конуса» для легких типов почв [8]. Предложенные М. Ю. Храбровым зависимости для определения объемов указанных форм контуров нашли реальных пользователей, но их широкое применение затруднялось по причине отсутствия зависимостей для определения линейных параметров указанных условно принятых форм контуров для всего спектра почвенных характеристик, и в частности для почв среднего гранулометрического состава.

Известны предложения по определению объемов увлажняемого пространства для контуров, условно аппроксимированных к форме эллипсоида [9] и параболоида [10]. Условность принятых форм очертания контуров при отсутствии должного объема рекомендаций по определению характерных линейных параметров указанных геометрических фигур ограничивает использование вышеприведенных предложений в реальной практике проектирования и эксплуатации систем капельного орошения.

В связи с вышеизложенным целью исследования определена разработка методики расчета объема единичного контура увлажнения почвенного пространства при капельном поливе, учитывающей почвенные и технологические условия его проведения.

Материалы и методы. К настоящему времени исследователями, пользователями и разработчиками систем капельного орошения растений собран значительный объем экспериментального материала по определению (измерению) геометрических параметров контуров увлажнения почвы, включая данные по их внешнему очертанию. Определенный объем экспериментальных данных, собранный авторами настоящего исследования, позволяет сформулировать авторское предложение по определению объема пространства (контура) промачивания почвы при капельном поливе.

В основу метода расчета положена зависимость для определения координат ограничивающей контур линии и ее математического описания [11]. Указанная зависимость получена для широкого спектра почвенных и технологических параметров и условий капельного полива и позволяет описать очертание оконтуривающей поверхности или ограничивающей вертикальный профиль контура увлажнения линии. Примеры профилей очертаний контуров, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве в различных почвенных условиях, приведены на рисунке 1.



а – для почв легкого гранулометрического состава; *б* – для почв среднего гранулометрического состава; *в* – для почв тяжелого гранулометрического состава; $d_{пов}$ – поверхностный диаметр контура капельного увлажнения, м

Рисунок 1 – Примеры очертаний (вертикальных профилей) локальных контуров увлажнения

Результаты и обсуждение. Увлажняемое при капельном поливе почвогрунтовое пространство (контур капельного увлажнения почвы) в описательно-математическом отношении представляет собой тело вращения, которое формируется вращением вокруг оси капания плоскости, ограниченной вертикальной осью капания, горизонтальной поверхностью земли и ограничивающей контур линией (рисунок 2).

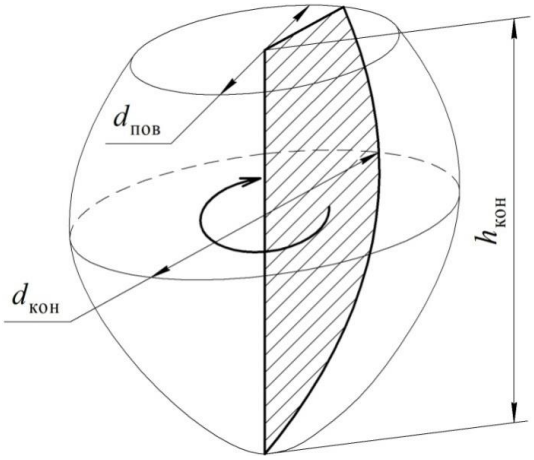


Рисунок 2 – Схема локального контура капельного увлажнения почвенного пространства

Зависимость, описывающая оконтуривающую локальную зону капельного увлажнения почвы в относительных координатах, имеет вид полинома [11]:

$$r_{h_j} / r_{кон} = k_0 + k_1 \cdot (h_j / h_{кон}) - k_2 \cdot (h_j / h_{кон})^2 + k_3 \cdot (h_j / h_{кон})^3 - k_4 \cdot (h_j / h_{кон})^{30}, \quad (1)$$

где r_{h_j} – радиус (удаленность от оси контура) точки на ограничивающей контур линии на глубине h_j или горизонтальная координата контурной линии на глубине h_j, м;

$r_{кон}$ – максимальный радиус (максимальное удаление граничной линии от оси контура) оконтуривающей зону (область) увлажнения почвы изоплеты;

k_0 – экспериментально установленный свободный член полинома (1):

$$k_0 = 0{,}5 \cdot [2 - 0{,}005 \cdot \overline{W}_{г/ч} \cdot \bar{\gamma}_{об} - 0{,}001 \cdot (10{,}47 \cdot \ln \overline{W}_{г/ч} - 13{,}60)^{1{,}84} -$$
$$- 0{,}002 \cdot (10{,}47 \cdot \ln \overline{W}_{г/ч} - 13{,}60)^{0{,}45}],$$

где $\bar{\gamma}_{об}$ – средняя по глубине увлажняемого слоя $h_{кон}$ плотность сложения почвы, т/м^3;

$\overline{W}_{г/ч}$ – среднее по глубине слоя увлажнения (контура увлажнения) содержание физической глины в почве, определяемое в процентах от массы сухой почвы (% МСП);

k_1 – коэффициент при члене полинома (1) со значением переменной $(h_j / h_{кон})$:

$$k_1 = 1{,}03 / k_0^{1{,}2};$$

k_2 – коэффициент при члене полинома (1) со значением переменной $(h_j / h_{кон})^2$:

$$k_2 = k_0 + k_1;$$

k_3, k_4 – эмпирические коэффициенты при членах полинома со значениями соотношений $(h_j / h_{кон})^3$ и $(h_j / h_{кон})^{30}$ соответственно, определяемые по зависимости вида:

$$k_3 = k_4 = 0{,}255 \cdot k_0^{0{,}01}.$$

Объем пространства (контура капельного увлажнения почвы), образованного

вращением вокруг оси контура представленной на рисунке 2 фигуры, может быть определен как объем тела, которое ограничено поверхностью, полученной вращением вокруг оси ординат линии, описываемой полиномом (1), по зависимости вида:

$$W_{\text{кон}} = \pi \cdot \int_a^b \varphi^2(y)dy, \qquad (2)$$

где π – математическая константа, $\pi = 3{,}14$;

a – нижний предел интегрирования, принимаемый равным 0;

b – верхний предел интегрирования, равный глубине контура увлажнения $h_{\text{кон}}$, м;

$\varphi(y)$ – функция переменной, представляющая собой зависимость вида:

$$r_{h_j} = r_{\text{кон}} \cdot \left[k_0 + k_1 \cdot (h_j / h_{\text{кон}}) - k_2 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^2 + k_3 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^3 - k_4 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^{30}\right].$$

Применительно к рассматриваемому случаю выражение (2) приобретает вид:

$$W_{\text{кон}} = \pi \cdot \int_0^{h_{\text{кон}}} \left[r_{h_j}\left(\frac{h_j}{h_{\text{кон}}}\right)\right]^2 d\left(\frac{h_j}{h_{\text{кон}}}\right).$$

В результате интегрирования получено выражение для определения объема контура увлажнения почвенного пространства при капельном поливе в виде:

$$W_{\text{кон}} = \pi \cdot r_{\text{кон}}^2 \cdot \left(k_0^2 \cdot h_j + \frac{k_0 \cdot k_1}{h_{\text{кон}}} \cdot h_j^2 + \frac{k_1^2}{3 \cdot h_{\text{кон}}^2} \cdot h_j^3 - \frac{2 \cdot k_0 \cdot k_2}{3 \cdot h_{\text{кон}}^2} \cdot h_j^3 - \frac{k_1 \cdot k_2}{2 \cdot h_{\text{кон}}^3} \cdot h_j^4 + \right.$$

$$+ \frac{k_2^2}{5 \cdot h_{\text{кон}}^4} \cdot h_j^5 + \frac{k_0 \cdot k_3}{2 \cdot h_{\text{кон}}^3} \cdot h_j^4 + \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_3}{5 \cdot h_{\text{кон}}^4} \cdot h_j^5 - \frac{k_2 \cdot k_3}{3 \cdot h_{\text{кон}}^5} \cdot h_j^6 + \frac{k_3^2}{7 \cdot h_{\text{кон}}^6} \cdot h_j^7 - \frac{2 \cdot k_0 \cdot k_4}{31 \cdot h_{\text{кон}}^{30}} \cdot h_j^{31} -$$

$$\left. - \frac{k_1 \cdot k_4}{16 \cdot h_{\text{кон}}^{31}} \cdot h_j^{32} + \frac{2 \cdot k_2 \cdot k_4}{33 \cdot h_{\text{кон}}^{32}} \cdot h_j^{33} - \frac{k_3 \cdot k_4}{17 \cdot h_{\text{кон}}^{33}} \cdot h_j^{34} + \frac{k_4^2}{61 \cdot h_{\text{кон}}^{60}} \cdot h_j^{61} \right) \Bigg|_0^{h_{\text{кон}}} =$$

$$= \pi \cdot r_{\text{кон}}^2 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (k_0^2 + k_0 \cdot k_1 + \frac{k_1^2}{3} - \frac{2 \cdot k_0 \cdot k_2}{3} - \frac{k_1 \cdot k_2}{2} + \frac{k_2^2}{5} + \frac{k_0 \cdot k_3}{2} +$$

$$+ \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_3}{5} - \frac{k_2 \cdot k_3}{3} + \frac{k_3^2}{7} - \frac{2 \cdot k_0 \cdot k_4}{31} - \frac{k_1 \cdot k_4}{16} + \frac{2 \cdot k_2 \cdot k_4}{33} - \frac{k_3 \cdot k_4}{17} + \frac{k_4^2}{61}).$$

Выводы

1 Таким образом, предлагаемый способ определения объема локального контура увлажнения заключается в определении его как объема тела, которое ограничено поверхностью, полученной вращением вокруг оси ординат линии, описываемой предложенной авторами ранее и имеющей вид полинома зависимостью.

2 В результате исследований получена зависимость для расчета объема локального контура увлажнения, формирующегося в подкапельном почвенном пространстве при капельном поливе, позволяющая с точностью ±12 % прогнозировать данный параметр для широкого спектра типов почв (при изменении содержания в них физической глины от 15 до 70 % МСП).

Список использованных источников

1 Анохин, А. М. Основы мелиорации вод и водных объектов: курс лекций / А. М. Анохин, М. М. Мордвинцев, В. Н. Шкура; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2001. – 290 с.

2 Шкура, В. Н. Природообустройство: терминологический словарь / В. Н. Шкура; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2009. – 768 с.

3 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

4 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 197 с.

5 Пат. 2204241 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/02. Способ определения поливных норм при капельном орошении томатов / Кружилин И. П., Салдаев А. М., Кружилин Ю. И., Ходяков Е. А., Галда А. В.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т орошаемого земледелия. – № 2001128337/13; заявл. 18.10.01; опубл. 20.05.03, Бюл. № 14. – 5 с.

6 Олейник, А. М. Характер формирования контуров увлажнения почвы при капельном орошении / А. М. Олейник, М. К. Гаджиев // Режимы орошения и водопотребление сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1984. – С. 129–133.

7 Штанько, А. С. Расчет среднего диаметра и объема контура капельного увлажнения почв / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 3(31). – С. 39–57. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=559. – DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-39-57.

8 Храбров, М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении / М. Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34–35.

9 Мелихова, Е. В. Математическое моделирование и оптимизация режима орошения корнеплодов на светло-каштановых почвах Волгоградской области / Е. В. Мелихова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 1. – С. 126–132.

10 Жатканбаева, А. О. Математическое моделирование линейного параметра контуров увлажнения при капельном орошении / А. О. Жатканбаева, А. Т. Козыкеева, Ж. С. Мустафаев // Журнал КазНАУ «Исследования и результаты». – 2016. – № 2. – С. 120–127.

11 Рыжаков, А. Н. О форме локального контура капельного орошения / А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура, А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 94–100.

УДК 631.347:631.58

А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация
Р. В. Скиданов, В. В. Подлипнов
Институт систем обработки изображений Российской академии наук – филиал федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, Самара, Российская Федерация;
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, Самара, Российская Федерация

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ОРОШЕНИЯ

В статье приводится способ решения проблемы равномерного увлажнения сельскохозяйственных культур при поливе дождеванием, который заключается в использовании гиперспектрометра. Полученные с его помощью гиперспектральные изображения посредством системы управления обрабатываются, определяются сегмен-

ты участка, на которых растения испытывают стресс из-за недостатка или избытка влаги, и через дождеватели выдается необходимая оросительная норма.

Ключевые слова: широкозахватная дождевальная машина, прецизионное орошение, гиперспектрометр, система управления, влажность почвы, орошение.

****

A. N. Babichev, V. A. Monastyrskiy, V. Ig. Olgarenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation
R. V. Skidanov, V. V. Podlipnov
Image Processing Systems Institute of the RAS – Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russian Federation;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation

OPERATING SYSTEM OF A WIDE-CUT CENTRE PIVOT SPRINKLING MACHINE FOR PRECISION IRRIGATION

The problem solving technique of uniform wetting of agricultural crops during irrigation by sprinkler which consists in using a hyperspectrometer is provided. The hyperspectral images obtained with its help are processed by means of the control system, the segments of the site where the plants experience stress due to the lack or excess of moisture are determined, and the required irrigation rate is given through sprinklers.

Key words: wide sprinkler machine, precision irrigation, hyperspectrometer, control system, soil moisture, irrigation.

Введение. Для повышения продукционного потенциала мелиорируемых земель и эффективного использования природных ресурсов необходимо решение ряда задач по увеличению объема производства основных видов продукции растениеводства за счет гарантированного обеспечения урожайности сельскохозяйственных культур и сохранения ресурсного потенциала орошаемых земель [1–4].

Применение прецизионных (точных) технологий орошения – это стратегическое будущее конкурентоспособного орошаемого сектора сельского хозяйства России. Дождевальные машины (ДМ) для этих технологий должны обеспечивать точное управление продукционными процессами орошения сельскохозяйственных культур. Как правило, они должны реализовать самоконтроль качества выполняемых технологических операций в увязке с изменяющимися природно-климатическими условиями [5–10].

С учетом индивидуальных особенностей растений на разных почвах и в разных климатических условиях совершенно ясно, что никаких абсолютно точных показателей для определения влажности почвы получить нельзя. Поэтому целью наших исследований является разработка метода, который позволил бы определять, испытывают ли растения стресс от недостатка влажности или нет, на каждом сегменте поля [11–14].

Результаты и обсуждения. Для решения данной проблемы нами предлагается использовать гиперспектральные изображения, обрабатывать их в режиме реального времени и выдавать команды системе управления ДМ для реализации принципов прецизионного орошения [15].

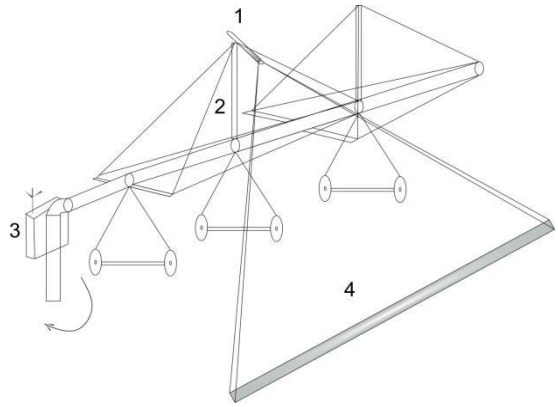
Для получения гиперспектрального изображения планируется использовать гиперспектрометры, которые представляют собой датчики для регулярного сбора и предварительной обработки спектральных данных о каждом пикселе анализируемого изображения [16].

Гиперспектрометр для использования в такой системе полива должен удовлетворять нескольким основным требованиям:

- спектральное разрешение не хуже 10 нм;
- пространственное разрешение не хуже 1 м;

- поле зрения не менее 30°;
- стоимость прибора не должна превышать стоимость стандартной системы технического зрения сельхозназначения.

Предлагаемая схема установки камеры на ДМ представлена на рисунке 1.

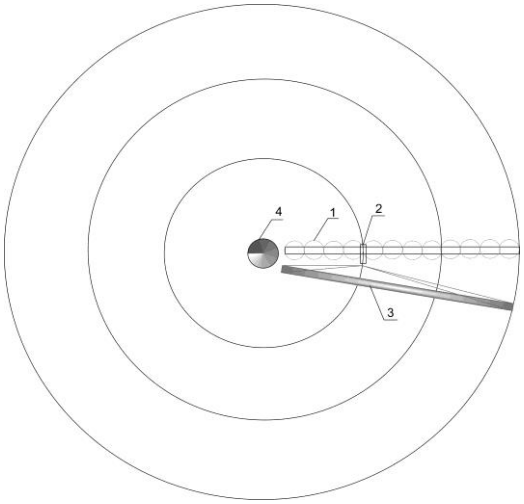


1 – камера, установленная на ДМ; *2* – штанга вантовой конструкции ДМ; *3* – предлагаемое место установки обрабатывающего компьютера и блока управления для регулирования режимов работы ДМ; *4* – осматриваемая зона перед ДМ

Рисунок 1 – Схема установки гиперспектральной камеры на ДМ

Алгоритм функционирования системы управления такой ДМ выглядит следующим образом. Гиперспектральная камера осуществляет съемку растительности в заданном секторе по мере перемещения ДМ. Затем получаемые данные в процессе съемки обрабатываются в режиме онлайн, для чего осуществляется сборка гиперспектральных изображений, по которым определяются вегетационные индексы, полученные изображения разбиваются на участки, за полив которых ответственны отдельно взятые дождеватели, оснащенные управляемыми электромагнитными клапанами. По каждому отдельно взятому участку происходит вычисление вегетационных индексов и выдача команд на управление электромагнитными клапанами для регулирования подачи воды на дождеватели. При необходимости дополнительной обработки растений и почвы от вредителей, сорняков или подачи удобрений существует возможность включения в систему трубопровода воды соответствующего активного вносимого вещества путем подачи сигнала управления на электроуправляемые шаровые краны. Для осуществления правильного управления гиперспектральная камера выполняет обзор с достаточной высоты под некоторым углом таким образом, чтобы распыляемая вода и реактивы не попадали в кадр, при этом, имея данные о скорости движения машины и расстоянии от точек съемки, в программу выдачи команд на систему управления вносят статическую задержку. Таким образом, к моменту перемещения машины в район, отснятый гиперспектральной камерой ранее, выдаваемые команды управления будут точно соответствовать вегетационным индексам отснятого изображения местности, расположенной точно под ДМ.

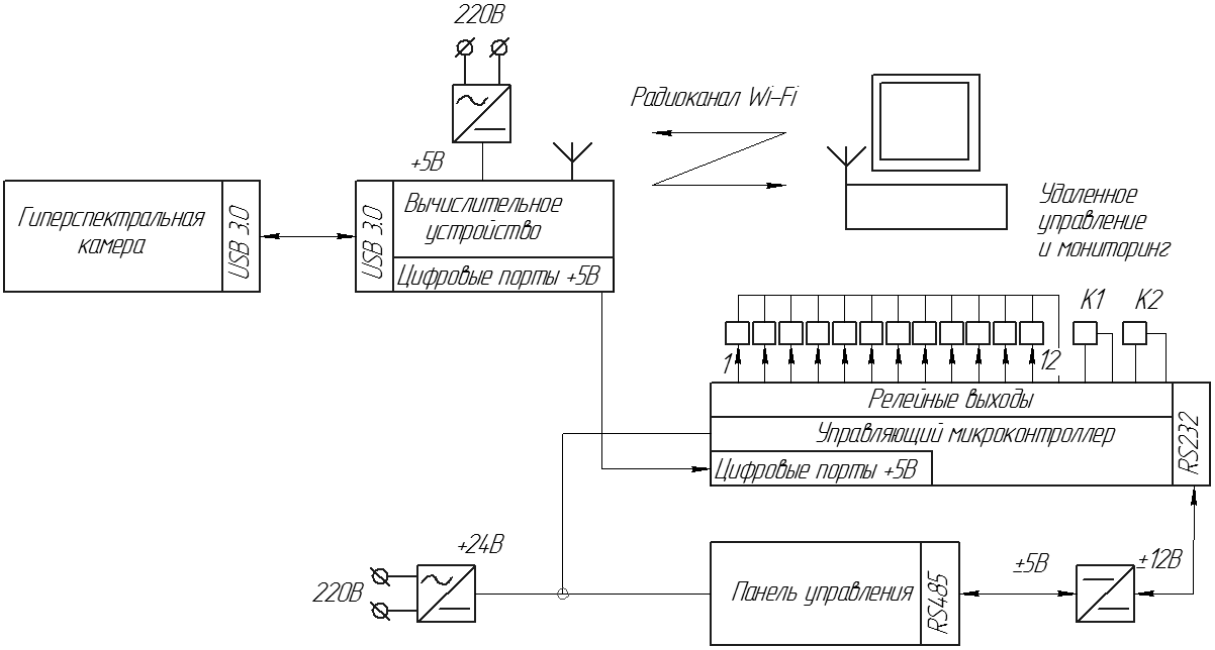
Вид сверху и схема работы ДМ представлены на рисунке 2.



1 – зона распыления дождевателей; *2* – гиперспектральная камера; *3* – осматриваемая зона перед ДМ; *4* – мертвая зона, где отсутствует воздействие ДМ

Рисунок 2 – Схема работы ДМ, оснащенной гиперспектральной камерой (вид сверху)

Согласно описанному ранее алгоритму для реализации управления ДМ была разработана следующая схема управления (рисунок 3).



1 – 12 – электромагнитные клапаны, управляющие подачей воды к дождевателям;
К1 – К2 – электроуправляемые шаровые краны, позволяющие подключать к трубопроводной сети необходимые реактивы и др.

Рисунок 3 – Схема управления прецизионным орошением

Выводы. Таким образом, предложенную систему управления можно использовать в составе дождевальных машин. Полученные данные дистанционного зондирования влажности растений по сегментам поля и позиционирования положения дождевальной машины на поле позволяют вычислительному устройству, установленному на машине, обрабатывать данные и осуществлять технологию прецизионного орошения, при которой на каждый сегмент поля подается дозированный объем воды с расчетом выравнивания влажности почвы на всем поле при каждом поливе.

Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Состояние и перспективы развития мелиорации земель на юге России / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2014. – № 3(15). – С. 1–15. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec274-field6.pdf.

2 Васильев, С. М. Циклическое орошение и технические средства для его осуществления / С. М. Васильев, Т. П. Андреева, А. В. Акопян // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 34–36.

3 Васильев, С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Васильев Сергей Михайлович. – Волгоград, 2006. – 36 с.

4 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – В 2 ч. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.

5 Васильев, С. М. Мониторинг орошаемого агроландшафта с учетом калибровки данных дистанционного зондирования в рамках геоинформационных технологий / С. М. Васильев, Л. А. Митяева // Политематический сетевой электронный научный

журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2017. – № 131. – С. 216–231. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/23.pdf.

6 Бабичев, А. Н. Роль точного земледелия в программированном выращивании урожая сельскохозяйственных культур / А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 50–53.

7 Пат. 2631896 Российская Федерация, МПК A 01 G 25/09. Многоопорная дождевальная машина для прецизионного орошения / Щедрин В. Н., Васильев С. М., Чураев А. А., Снипич Ю. Ф., Куприянов А. А., Завалюев В. Э.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2016104019; заявл. 08.02.16; опубл. 28.09.17, Бюл. № 28. – 9 с.: ил.

8 Щедрин, В. Н. Оптимизация состава приборного обеспечения контроля агрометеопараметров как этап разработки технологии прецизионного орошения / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, А. А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 3(23). – С. 1–18. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec425-field6.pdf.

9 Балакай, Г. Т. Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения / Г. Т. Балакай, С. М. Васильев, А. Н. Бабичев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 2(26). – С. 1–18. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477field6.pdf.

10 Корсак, В. В. Применение ГИС-анализа для оценки природных условий поливного земледелия / В. В. Корсак, Н. А. Пронько, Н. Н. Насыров // Научная жизнь. – 2014. – № 2. – С. 18–24.

11 Бабичев, А. Н. Оперативное управление режимом орошения при программировании урожайности сельскохозяйственных культур / А. Н. Бабичев, Г. Т. Балакай, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 83–96. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=491&id=498.

12 Снипич, Ю. Ф. Оценка эффективности низкоэнергоемких оросительных систем / Ю. Ф. Снипич, А. Н. Бабичев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2014. – № 55. – С. 109–118.

13 Бабичев, А. Н. Технологические подходы к нормированию орошения и аппарат прогнозирования водопотребления картофеля в условиях поймы Нижнего Дона / А. Н. Бабичев, В. И. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 2(22). – С. 148–165. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec416-field6.pdf.

14 Ольгаренко, В. И. К вопросу о модели определения эвапотранспирации с учетом изменчивости гидрометеорологических факторов / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. Иг. Ольгаренко // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2017. – № 4. – С. 9–14.

15 Формирование изображений дифракционной многоуровневой линзой / Н. Л. Казанский, С. Н. Хонина, Р. В. Скиданов, А. А. Морозов, С. И. Харитонов, С. Г. Волотовский // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 425–434.

16 Экспериментальное определение влажности почвы по гиперспектральным изображениям / В. В. Подлипнов, В. Н. Щедрин, А. Н. Бабичев, С. М. Васильев, В. А. Бланк // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 5. – С. 877–884. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-42-5-877-884.

УДК 631.674.6

В. Н. Шкура, А. С. Штанько
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ В КОНТУРАХ КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ

Цель исследования – получение экспериментальных данных и зависимости, позволяющей прогнозировать распределение влажности почвы в локальных контурах увлажнения, которые формируются в подкапельном почвенном пространстве при капельном орошении. Объект исследования – локальные контуры капельного увлажнения почв. Предмет исследования – распределение разновлажностных зон в капельно увлажняемом внутриконтурном пространстве при капельных поливах. Результат исследования – экспериментальная зависимость, позволяющая с приемлемой для практического использования точностью рассчитать распределение уровней увлажненности почвы в единичных контурах капельного увлажнения по глубине ее промачивания.

Ключевые слова: капельное орошение, капельный полив, локальный контур увлажнения, влажность почвы, изолинии влажности.

****

V. N. Shkura, A. S. Shtanko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

STUDY OF SOIL MOISTURE DISTRIBUTION IN DRIP IRRIGATION CONTOURS

The purpose of the study is to obtain experimental data and dependencies, which make it possible to predict the soil moisture distribution in local moisture contours, which are formed in the subsurface soil space during drop irrigation. The object of the tudy is the local contours of soil drip moistening. The subject of the study is the distribution of different moisture zones in drip-watered internal contour space at drip irrigation. The result of the study is the experimental dependence that allows calculating the distribution of soil moisture levels in single drip moisture contours according to the depth of wetting with acceptable accuracy for practical use.

Key words: drip irrigation, drip watering, local irrigation contour, soil moisture, moisture isolines.

Введение. При капельном орошении растений в подкапельном почвенном пространстве формируются контуры увлажнения почвы. При этом имеет место значительная неравномерность распределения влажности почвы в пределах единичных контуров увлажнения – от уровня, соответствующего полной влагоемкости, до влажности почвы, достигающей ее естественного состояния. Отметим, что состояние увлажненности почвы влияет на протекание почвенных процессов и на условия роста и развития корневых систем растений. При этом в разновлажностных зонах контуров капельного увлажнения могут проявляться как позитивные, так и негативные процессы в почвообразовании, а также формироваться как благоприятные, так и неприемлемые для функционирования корней растений области. Влажностные показатели почвы в пределах единичных контуров увлажнения в значительной степени определяют продуктивность растений, а также конструктивные решения систем капельного орошения [1]. В связи с указанными обстоятельствами при разработке способа и технологии капельного полива изучению указанного явления уделялось определенное внимание.

В разные периоды становления и развития капельной технологии орошения с разным уровнем и глубиной вопросы исследования контуров и внутриконтурного распределения влажности почвы рассматривались в публикациях ряда отечественных специалистов в области капельного орошения [2–6]. Аналитический обзор известных разработок в этой области [7, 8] позволил заключить, что общепринятая зависимость для определения глубинного распределения влажности почвы по локальному контуру капельного увлажнения отсутствует при все возрастающей потребности в ней. Отсутствие такой зависимости сдерживает разработку методики расчета внутриконтурного распределения уровней влажности почвы и прогнозирования распределения линий влажности в пределах локальных контуров капельного увлажнения почвенной толщи, что в свою очередь сдерживает разработку методологии оптимального управления капельными поливами растений. На ликвидацию дефицита информации и рекомендаций по этому вопросу направлено настоящее исследование, целью которого поставлено получение экспериментально обоснованной зависимости для описания функциональной связи $(h_{\text{из/п}})_{\beta_i} = f(\beta_i)$, где $(h_{\text{из/п}})_{\beta_i}$ – заглубленность под поверхность земли изоплеты с определенным уровнем влажности почвы β_i, % массы сухой почвы (% МСП), во внутриконтурном капельно увлажняемом почвенном пространстве, м.

Материалы и методы. Первооснову для получения расчетной зависимости составляют единичные капельные контуры, для получения которых было запланировано проведение натурных исследований на четырех экспериментальных площадках, отличающихся почвенными условиями формирования контуров увлажнения. Характеристики почв на опытных площадках капельного полива приведены в таблице 1.

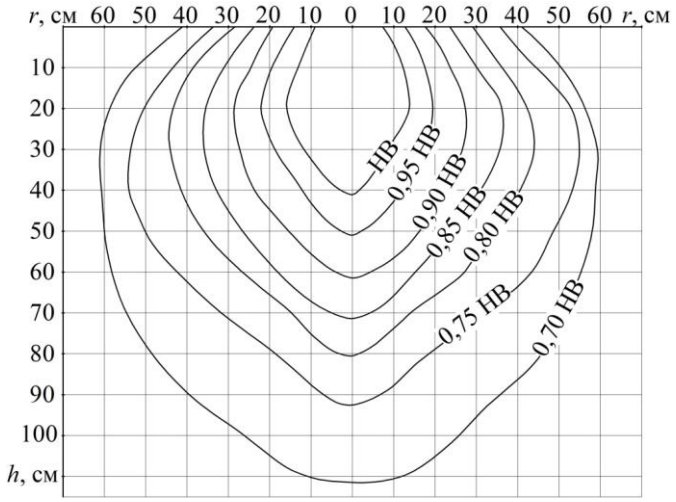
Таблица 1 – Данные о почвенных параметрах экспериментальных площадок

Почвенная характеристика	Значение характеристики по площадкам			
	1	2	3	4
Средняя плотность сложения метрового слоя почвы $\bar{\gamma}_{\text{об}}$, т/м^3	1,29 ± 0,08	1,26 ± 0,06	1,28 ± 0,07	1,32 ± 0,08
Среднее содержание глинистых частиц в метровом почвенном слое $\overline{W}_{\text{г/ч}}$, % МСП	29,8 ± 1,9	44,8 ± 2,2	56,0 ± 1,8	71,3 ± 2,8
Средняя по метровому слою наименьшая влагоемкость (НВ) почвы $\overline{W}_{\text{НВ}}$, % МСП	21,9 ± 2,0	25,8 ± 2,1	26,4 ± 1,8	31,1 ± 2,4

Полив осуществлялся капельницами производительностью $q_{\text{кап}} = (2{,}50 \pm 0{,}09)$ л/ч.

Почвенные параметры ($\overline{W}_{\text{г/ч}}$, $\overline{W}_{\text{НВ}}$ и $\bar{\gamma}_{\text{об}}$) определялись по общепринятым методикам, а отбор проб почвы на влажность в соответствии с методическими рекомендациями [6, 7]. В процессе камеральной обработки проб и измерений контуров определялась влажность образцов, строилась матрица влажностных показателей почвы в абсолютных значениях – β_i, % МСП. На последующем этапе обработки матрицы устанавливались относительные характеристики $\beta_i / \beta_{\text{НВ}}$ (где $\beta_{\text{НВ}}$ – влажность почвы, соответствующая НВ, % МСП) и составлялась матрица влажности почвенного пространства в относительных ее значениях. Данная матрица использовалась для построения изоплет в подкапельном почвенном профиле. Пример контура, зафиксированного на площадке № 3, приведен на рисунке 1.

Геометрические образы сечений контуров вертикальной плоскостью, проходящей через вертикаль капания, построенных для различных почвенных условий их формирования, использовались для определения значений заглубленности разновлажностных изоплет $(h_{\text{из/п}})_{\beta_i}$ и последующего дисперсионно-корреляционного анализа.



Подписи на изоплетах – их влажность в долях от НВ

Рисунок 1 – Вертикальный профиль капельного увлажнения почвы

Результаты и обсуждение. При анализе рассматривались различные варианты функциональной связи между величиной заглубленности изоплет с разным уровнем их влажности и факторами влияния $(h_{из/п})_{\beta_i} = f(\overline{W}_{г/ч}, \overline{W}_{НВ}, \overline{\gamma}_{об}, \beta_i, \beta_{НВ})$. В результате анализа установлено наличие корреляционной связи в функциональных зависимостях:

$$(h_{из/п})_{\beta_i} / (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}} = f_1(\overline{W}_{г/ч},\ \beta_i / \beta_{0,7НВ}),$$

$$(h_{из/п})_{\beta_i} / (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}} = f_2(\overline{W}_{НВ},\ \beta_i / \beta_{0,7НВ}), \qquad (1)$$

где $(h_{из/п})_{\beta_i}$ – заглубленность изоплеты, м, с определенным уровнем влажности β_i;

β_i – влажность изоплеты в долях от $\beta_{НВ}$ (от 0,6 до 1,0 $\beta_{НВ}$), % МСП;

$(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ – заглубленность изоплеты с влажностью $\beta_i = 0,7\beta_{НВ}$, м;

$\beta_{НВ}$ – влажность, соответствующая уровню НВ, % МСП;

$\beta_{0,7НВ}$ – величина влажности изоплеты, соответствующей $0,7\beta_{НВ}$, % МСП.

Значения соотношений $(h_{из/п})_{\beta_i} / (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ для соответствующих значений $\beta_i / \beta_{0,7НВ}$ по исследованным контурам приведены в таблице 2.

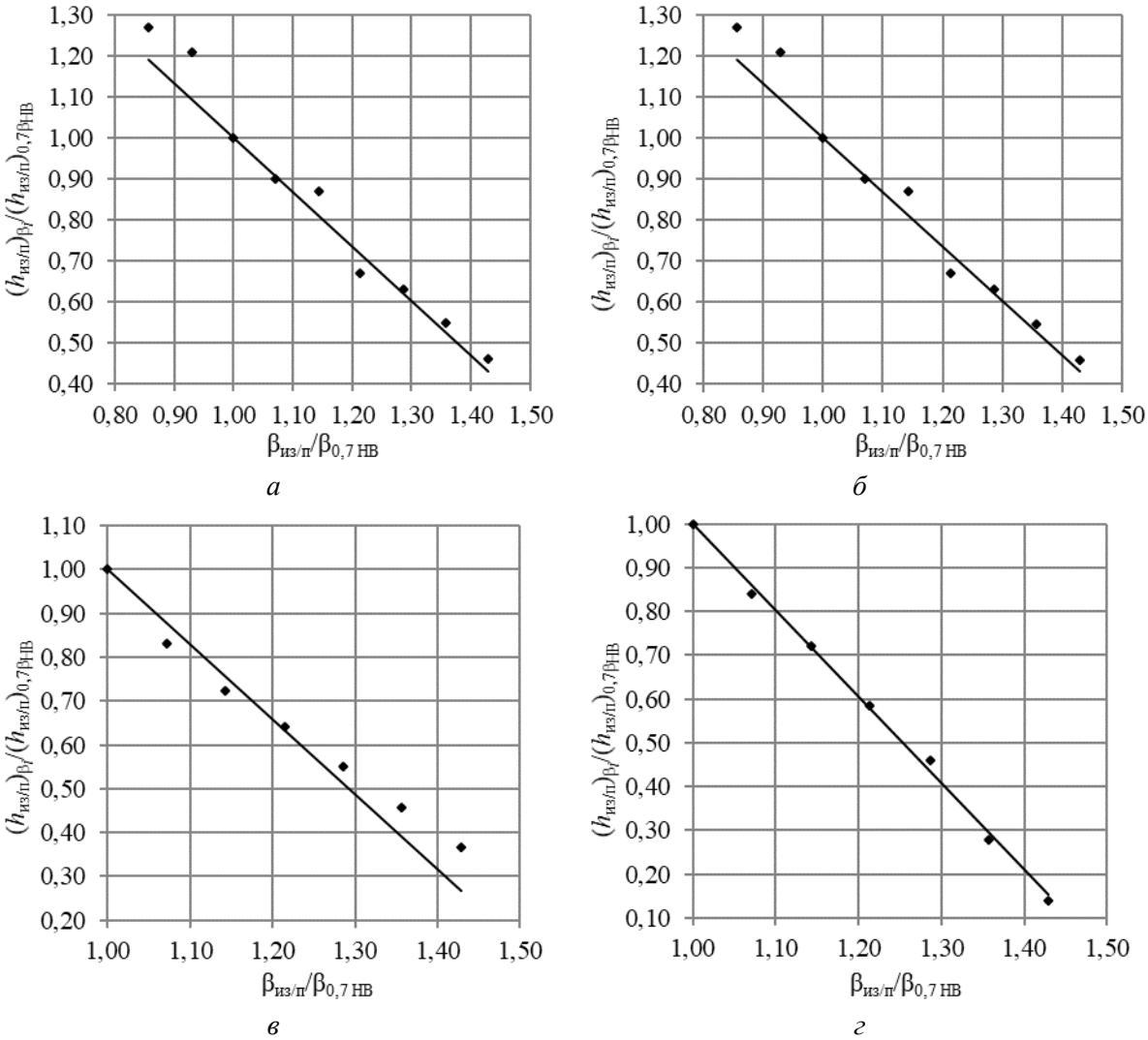
Таблица 2 – Опытные данные об относительных значениях заглубленности изоплет

Параметр	Значение параметра								
Влажность изоплеты β_i, в долях от НВ	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
$\beta_i / \beta_{0,7НВ}$	0,857	0,929	1,000	1,071	1,143	1,214	1,286	1,357	1,429
$(h_{из/п})_{\beta_i} / (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ для контура № 1	1,270	1,210	1,000	0,900	0,870	0,670	0,630	0,548	0,460
$(h_{из/п})_{\beta_i} / (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ для контура № 2	–	1,100	1,000	0,880	0,780	0,660	0,514	0,423	0,296
$(h_{из/п})_{\beta_i} / (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ для контура № 3	–	–	1,000	0,832	0,723	0,642	0,551	0,456	0,365
$(h_{из/п})_{\beta_i} / (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ для контура № 4	–	–	1,000	0,840	0,720	0,586	0,460	0,278	0,190

Приведенные в таблице 2 данные аппроксимируются зависимостью:

$$(h_{\text{из/п}})_{\beta_i} / (h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}} = 1{,}0 - 1{,}1^{0,1 \cdot W_{\text{г/ч}}} \cdot (\beta_i / \beta_{0,7\text{НВ}} - 1). \quad (2)$$

Соответствие опытных и расчетных значений проиллюстрировано рисунком 2.



а – при $\overline{W}_{\text{г/ч}}$ = 29,8 % МСП; *б* – при $\overline{W}_{\text{г/ч}}$ = 44,8 % МСП;
в – при $\overline{W}_{\text{г/ч}}$ = 56,0 % МСП; *г* – при $\overline{W}_{\text{г/ч}}$ = 71,3 % МСП

Рисунок 2 – Графическое представление опытных и расчетных значений функциональной связи $(h_{\text{из/п}})_{\beta_i} / (h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}} = f_1(\overline{W}_{\text{г/ч}},\ \beta_i / \beta_{0,7\text{НВ}})$

Функциональная связь (1) описывается экспериментальной зависимостью:

$$(h_{\text{из/п}})_{\beta_i} / (h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}} = 1{,}0 - 1{,}2^{0,1 \cdot W_{\text{НВ}}} \cdot (\beta_i / \beta_{0,7\text{НВ}} - 1). \quad (3)$$

Расчетные и опытные значения $(h_{\text{из/п}})_{\beta_i} / (h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}}$ приведены в таблице 3.

Учитывая имеющие место разнознаковые и разновеликие отличия в отношениях опытных и расчетных значений $(h_{\text{из/п}})_{\beta_i} / (h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}}$, определенных по зависимостям (2) и (3), предлагаем окончательное их значение принимать по зависимости вида:

$$\frac{(h_{\text{из/п}})_{\beta_i}}{(h_{\text{из/п}})_{0,7\beta_{\text{НВ}}}} = 0{,}5 \cdot \left[1{,}0 - 1{,}1^{0,1 \cdot W_{\text{г/ч}}} \cdot \left(\frac{\beta_i}{\beta_{0,7\text{НВ}}} - 1 \right) + 1{,}0 - 1{,}2^{0,1 \cdot W_{\text{НВ}}} \cdot \left(\frac{\beta_i}{\beta_{0,7\text{НВ}}} - 1 \right) \right].$$

Таблица 3 – Расчетные по зависимости (2) и опытные значения параметра $(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$

Параметр	Значение параметра								
Влажность изоплеты β_i, в долях от НВ	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
$\beta_i/\beta_{0,7НВ}$	0,857	0,929	1,000	1,071	1,143	1,214	1,286	1,357	1,429
По контуру № 1 (при $\overline{W}_{НВ}$ = 21,9 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	1,270	1,210	1,000	0,900	0,870	0,670	0,630	0,548	0,460
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	1,213	1,106	1,000	0,894	0,787	0,681	0,574	0,468	0,350
Отклонение, %	4,5	8,6	0,0	0,7	9,5	1,6	8,9	14,6	23,9
По контуру № 2 (при $\overline{W}_{НВ}$ = 25,8 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	–	1,100	1,000	0,880	0,780	0,660	0,514	0,423	0,296
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	–	1,106	1,000	0,894	0,787	0,681	0,574	0,468	0,350
Отклонение, %	–	0,5	0,0	1,6	0,9	3,2	11,7	10,6	18,2
По контуру № 3 (при $\overline{W}_{НВ}$ = 26,4 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	–	–	1,000	0,832	0,723	0,642	0,551	0,456	0,365
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	–	–	1,000	0,885	0,769	0,654	0,537	0,422	0,306
Отклонение, %	–	–	0,0	6,2	6,4	1,9	2,5	7,5	16,2
По контуру № 4 (при $\overline{W}_{НВ}$ = 31,1 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	–	–	1,000	0,840	0,720	0,586	0,460	0,278	0,190
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	–	–	1,000	0,875	0,748	0,623	0,496	0,371	0,244
Отклонение, %	–	–	0,0	4,2	3,9	6,3	7,8	33,4	28,4

Апробация полученной экспериментальной зависимости проведена сопоставлением расчетных значений $(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ при соответствующих значениях $\beta_i/\beta_{0,7НВ}$ с опытными значениями этого параметра, которые рассчитаны по локальным контурам капельного увлажнения почвы, зафиксированным в различных условиях капельного полива В. С. Бочарниковым, М. К. Гаджиевым, А. М. Олейником, И. К. Кулиничем и Ю. С. Уржумовой. Результат авторской обработки первичных опытных данных контуров [5, 9–12] в сопоставлении их с расчетными значениями приведен в таблице 4.

Судя по приведенным в таблице данным, результаты расчета с приемлемой для практических расчетов точностью согласуются с известными опытными данными.

Таблица 4 – Сопоставление расчетных значений $(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$ с опытными

Параметр	Значение параметра								
Влажность изоплеты β_i, в долях от НВ	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
$\beta_i/\beta_{0,7НВ}$	0,857	0,929	1,000	1,071	1,143	1,214	1,286	1,357	1,429
По данным М. К. Гаджиева (при $\overline{W}_{г/ч}$ = 48,3 % МСП, $\overline{W}_{НВ}$ = 22,5 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	–	1,100	1,000	0,934	0,823	0,720	0,573	0,485	0,404
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	1,220	1,110	1,000	0,891	0,778	0,670	0,558	0,448	0,332
Отклонение, %	–	0,9	0,0	4,6	5,5	6,9	2,6	7,6	17,8
По данным А. М. Олейника (при $\overline{W}_{г/ч}$ = 47,5 % МСП, $\overline{W}_{НВ}$ = 25,0 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	–	–	1,000	0,890	0,790	0,690	0,590	0,480	0,370
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	1,125	1,111	1,000	0,889	0,775	0,663	0,551	0,438	0,324
Отклонение, %	–	–	0,0	0,1	1,9	5,4	8,3	8,8	12,4
По данным И. К. Кулинича (при $\overline{W}_{г/ч}$ = 51,2 % МСП, $\overline{W}_{НВ}$ = 27,0 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	–	–	1,000	0,880	0,760	0,640	0,525	0,396	0,300
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	1,233	1,116	1,000	0,884	0,766	0,650	0,533	0,417	0,299
Отклонение, %	–	–	0,0	0,4	0,8	1,6	1,5	5,6	0,3
По данным В. С. Бочарникова (при $\overline{W}_{г/ч}$ = 21,2 % МСП, $\overline{W}_{НВ}$ = 16,5 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	–	–	1,000	0,905	0,804	0,740	0,650	0,550	0,460
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	–	–	1,000	0,908	0,816	0,724	0,632	0,541	0,442
Отклонение, %	–	–	0,0	0,3	1,5	2,2	2,8	1,6	3,9
По данным Ю. С. Уржумовой (при $\overline{W}_{г/ч}$ = 58,0 % МСП, $\overline{W}_{НВ}$ = 25,8 % МСП)									
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, опыт	1,170	1,080	1,000	0,830	0,792	0,633	0,467	0,360	0,248
$(h_{из/п})_{\beta_i}/(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, расчет	1,240	1,190	1,000	0,882	0,762	0,640	0,481	0,404	0,282
Отклонение, %	6,0	10,2	0,0	6,3	3,8	1,1	3,0	12,2	14,5

Вывод. В результате проведенных экспериментальных и аналитических исследований получена зависимость, позволяющая с приемлемой для практических расчетов точностью прогнозировать величину заглубленности разновлажностных изоплет в почвогрунтовую толщу в контурах капельного увлажнения почвенного пространства.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 197 с.

2 Алексашенко, А. А. Теоретические вопросы капельного орошения / А. А. Алексашенко, Н. И. Вдовин // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1977. – № 8. – С. 10–14.

3 Ахмедов, А. Д. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении / А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3. – С. 183–188.

4 Ахмедов, А. Д. Расчет основных параметров влагопереноса при капельном орошении / А. Д. Ахмедов, А. Н. Темерев, Е. Ю. Галиуллина // Социально-экологические проблемы сельского и водного хозяйства. Ч. 1. Комплексное обустройство ландшафта: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: МГУП, 2010. – С. 11–22.

5 Овчинников, А. С. Методика расчета и обоснование параметров контура увлажнения в условиях открытого и закрытого грунта / А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, М. П. Мещеряков // Природообустройство. – 2012. – № 4. – С. 10–14.

6 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: монография / О. Е. Ясониди; НГМА. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

7 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

8 Рыжаков, А. Н. О форме локального контура капельного орошения / А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура, А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 94–100.

9 Гаджиев, М. К. Особенности капельного орошения виноградников в условиях Дагестанской АССР: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Гаджиев Магомед Кебедович. – Новочеркасск, 1984. – 24 с.

10 Олейник, А. М. Характер формирования контуров увлажнения почвы при капельном орошении / А. М. Олейник, М. К. Гаджиев // Режимы орошения и водопотребление сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1984. – С. 129–133.

11 Кулинич, И. К. Капельное орошение виноградников на горных склонах в условиях Краснодарского края: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Кулинич Иван Константинович. – Волгоград, 1982. – 22 с.

12 Уржумова, Ю. С. Технологические и конструктивные элементы локального низконапорного орошения садов для условий южных черноземов Ростовской области: автореф. дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Уржумова Юлия Сергеевна. – Новочеркасск, 2004. – 24 с.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 626.88

О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОБОСНОВАНИЕ СРЕДООТКРЫТОЙ БАССЕЙНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ РЫБОВОДСТВА

Целью исследований являлась разработка обоснования создания и использования средооткрытых бассейновых рыбоводных комплексов, устраиваемых при каналах оросительных и оросительно-обводнительных систем. Предлагается способ культивирования рыб в рыбоводных бассейнах, которые устраиваются в открытой природной среде, позволяющей реализовывать рыбоводный процесс в реально складывающихся природно-климатических условиях. Предлагаемая технология базируется на анализе используемых способов искусственного разведения рыб и учитывает достоинства и в определенной мере нейтрализует недостатки заводского и прудового рыбоводного производства.

Ключевые слова: рыбоводство, способы рыбоводства, технологии рыбоводства, рыбоводные комплексы, рыбоводные бассейны.

****

O. A. Baev, A. Yu. Garbuz
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

JUSTIFICATION OF ENVIRONMENT OPEN RESERVOIR TECHNOLOGY OF FISH FARMING

The aim of the research was to develop substantiation of creation and use of the environment open basin fish-breeding complexes, built at the canals of irrigation and irrigation-watering systems. The method of fish breeding in fish reservoirs, arranged in an open natural environment allows implementing the fish breeding process under actually evolving natural climatic conditions. The proposed technology is based on the analyses of applied methods of artificial fish breeding and takes into account the advantages and neutralizes to some extent the shortcomings of factory and pond fish farming.

Key words: fish farming, fish farming methods, fish farming technologies, fish-breeding complexes, fish-breeding reservoirs.

Введение. Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации предусмотрено дальнейшее развитие рыбоводства во внутренних водных объектах страны. При этом законодательством России предусмотрена возможность и целесообразность использования в рыбоводном производстве водных объектов различного назначения, включая водоемы и каналы гидромелиоративных систем, что отвечает требованиям повышения комплексности и эффективности использования вод и водных объектов [1]. При решении проблемы комплексного и рыбоводного использования водных ресурсов предлагалось устройство пригидроузловых рыбоводных комплексов [2, 3]. В известных предложениях по созданию и использованию пригидроузловых рыбоводных комплексов в качестве основных рыбохозяйственных объектов используются различные рыбопропускные сооружения [4–6] и искусственные нерестилища. В последующем для реализа-

ции поставленных проблем природопользования была выдвинута идея о возможности создания и использования рыбоводных (рыбоводно-мелиоративных) комплексов различного назначения, устраиваемых при оросительных и оросительно-обводнительных каналах [7–9]. В развитие идеи были предложены способ и технология ведения рыбоводства в приканальных средооткрытых рыбоводных бассейнах [10], обоснование технологии ведения рыбоводства в которых определено целью настоящей работы.

Материал и методы. В качестве исходного материала для аналитического исследования использованы известная информация в области искусственного рыборазведения и результаты авторских обследований и исследований, выполненных на действующих рыбоводных объектах Ростовской области. В основу методологии обоснования положены результаты анализа применяемых технологий рыбоводства, оценки условий их применения, достоинств и недостатков и последующего синтеза информации при выработке обобщений и разработке предлагаемого(ой) способа (технологии) рыборазведения (культивирования рыб) в приканальных средооткрытых рыбоводных комплексах.

Результаты и обсуждение. В настоящее время в отечественной рыбоводной практике наиболее широкое применение нашли такие индустриальные технологии рыборазведения, как заводское (закрытосредовое) и прудовое (открытосредовое) рыбоводство. Каждый из указанных видов рыбоводства имеет определенные достоинства и недостатки.

Так, заводская технология рыбоводства предусматривает выращивание различных видов рыб в малоразмерных рыбоводных (рыборазводных) бассейнах, размещаемых в специальных строениях в заводских рыбоводных цехах различного функционального назначения. Технология искусственного заводского рыборазведения предусматривает достаточно точное регулирование качества и показателей водной среды в рыбоводных бассейнах и микроклимата в пределах околобассейнового пространства, строгое соблюдение режимов и параметров всех технологических рыбоводных операций по нересту, росту и развитию рыб (получению и оплодотворению репродукционного материала, межбассейновому перемещению рыб («зарыблению бассейнов»), кормлению рыб, проведению рыбоводного мониторинга и выпуску рыбоводческой продукции). Очевидными достоинствами заводского («индустриального») рыбоводства являются: его высокая рыбопродуктивность в расчете на 1 м^2 площади рыбоводных бассейнов; малая площадь изымаемой под рыбоводный объект территории; малый расход воды, особенно при использовании водооборотных систем водоснабжения; возможность круглогодичного ведения (функционирования) рыбоводного процесса и культивирования различных видов рыб; рациональность и эффективность использования кормов; круглогодичность получения товарной рыбы высокого качества; возможность ведения как частичного, так и полносистемного рыбоводства; комфортность условий труда рыбоводов; возможность полной или частичной автоматизации производственных процессов. При очевидных достоинствах заводское («закрытобассейновое» или «закрытосредовое») рыбоводство имеет свои недостатки, среди которых: высокая стоимость разработки и строительства рыбоводных заводов, значительные затраты на эксплуатацию рыбоводного объекта, потребность в разнопрофильных специалистах высокой квалификации, ориентированность на выращивание в них особо ценных в продукционном отношении рыб и относительно небольшие объемы выхода рыбоводческой продукции.

Массовое производство рыбной продукции обеспечивает прудовое рыбоводство. Данная технология рыборазведения реализуется в открытосредовых неглубоких (со средней глубиной 1,2–2,0 м) копаных или копано-обвалованных пойменных и русловых прудах различных размеров (площадью от 0,1 до 100 га), различного функционального назначения и может обеспечивать полносистемный цикл выращивания рыб и получение рыбной продукции от нереста до рыбопосадочного материала (на различных стадиях развития рыб – сеголетков, годовиков и двухгодовиков) и товарной рыбы. Оче-

видными достоинствами прудового рыбоводства являются: простота конструктивно-компоновочных решений прудовых рыбоводных комплексов, многолетний опыт ведения прудового рыбоводства в различных природных условиях по культивированию широкого спектра видов рыб, относительная дешевизна строительства и эксплуатации объектов, наличие достаточно апробированной технологии рыборазведения, возможность использования естественной кормовой базы (фито- и зоопланктона), формирующейся в рыбоводных прудах, и приближенность жизнедеятельности рыб к естественным условиям их обитания. Указанные достоинства прудового рыбоводства позволяют получать значительные объемы рыбоводческой продукции; они же предопределили широкое распространение данной полуиндустриальной (частично индустриальной) технологии в реальной практике в рыбовоспроизводственном («рыбовосстановительном»), рыботоварном («товарном»), тепловодном и холодноводном рыбоводстве. Прудовое рыбоводство относят к экстенсивным видам (технологиям) рыборазведения, характеризуемым значительными объемами использования земельных, водных и трудовых ресурсов. Недостатками прудового рыбоводства определяют: высокую потребность в земельных и водных ресурсах; относительно низкую рыбопродуктивность; сложность (а иногда и невозможность) реализации процессов регулирования параметров водной среды (условий обитания культивируемых рыб), которая определяет зависимость процесса и продуктивности ведения рыбоводства от погодных условий, влияющих на состояние и параметры водной среды; некомфортность условий труда рыбоводов и низкую производительность их труда; достаточно жесткие требования к качеству условий для размещения рыбоводных прудов; техническую сложность формирования разноглубинных участков в прудах; заиляемость и зарастаемость прудов и сложность их ежегодной подготовки к очередному рыбоводному сезону; проблемность механизации и автоматизации рыбоводного процесса; высокий уровень потерь рыбы от перегрева воды в тепловодных прудах при практической невозможности его нейтрализации; биогенное загрязнение водной среды; однообразие условий среды обитания рыб, что не способствует развитию у молоди рефлексов выживаемости рыб в реальных условиях пастбищного рыбоводства; заболачиваемость и закисаемость почвогрунтов, формирующих ложе прудов; оползание откосов и дамб обвалования, заиление ложа и рыбосборных каналов; значительные потери рыб при перемещении их из одного функционального пруда в другой и другие недостатки. Прудовое («низкоиндустриальное») рыбоводство уступает заводскому («средозакрытому» или «средоуправляемому») высокоиндустриальному в расчете на 1 м^2 «рыбоводной площади» в соотношении от 1:400 и более.

В определенной степени недостатки макроплощадного сложно регулируемого прудового рыбоводства снижены в форелевых рыбоводных объектах, где культивирование рыб осуществляется в относительно небольших по размерам бассейнах («канальных бассейнах»). Уменьшение размеров бассейнов и закрепление их ложа каменно-бетонным покрытием существенно повышают возможность регулирования состояния водной среды в них и снижают его зависимость от погодных условий, что в свою очередь приводит к повышению продуктивности рыбоводческого процесса. С повышением регулируемости среды обитания и рыбоводного процесса в значительной степени нейтрализуется и ряд других недостатков прудового крупномасштабного рыбоводства.

Сопоставление очевидных достоинств и явных недостатков вышерассмотренных высоко- и низкоиндустриальных технологий (способов) искусственного культивирования рыб привело к созданию (разработке) «среднеиндустриальной» технологии рыбоводства, т. е. способа «средооткрытого бассейнового рыборазведения».

Существо предлагаемой(го) бассейновой средооткрытой («полуиндустриальной») технологии (способа) ведения рыбоводного производства заключается в нижеследующем.

1 Рыбоводный (рыборазводный) процесс реализуется в рыбоводных ложезакреп-

ленных, устраиваемых на открытых ландшафтах бассейнах площадью от 0,1 до 5,0 га, что значительно превышает площади заводских рыбоводных бассейнов, но значительно уступает площадям грунтовых (копаных или копано-обвалованных) незакрепленных рыбоводных прудов. Указанное обстоятельство существенно улучшает условия и возможность регулирования состояния водной среды (среды обитания рыб) и значительно снижает ее зависимость от негативных природно-климатических воздействий при полном использовании преимуществ ряда естественных природных факторов влияния.

2 Улучшение условий управления водной средой обитания (жизнедеятельности, роста и развития) рыб, а следовательно, повышение ее качества, расширение возможностей для управления рыборазведением (искусственным кормлением, аэрированием, терморегулированием, улучшением проточности и водообмена, регулированием физико-химических и микробиологических характеристик воды и др.) позволит увеличить плотность посадки («зарыбления бассейнов»), уменьшить отсев рыб и значимо повысить рыбопродуктивность открытобассейнового вида (способа) рыбоводства.

3 Технология средооткрытого бассейнового рыбоводства базируется на искусственном вскармливании рыб, а естественно формирующийся в водной среде фито- и зоопланктон является лишь дополнительным видом корма для культивируемых рыб.

Открытобассейновое рыбоводство занимает промежуточное(ую) положение (нишу) между прудовым рыбоводством с одной стороны и полноиндустриальным (заводским или закрытобассейновым) рыбоводством с другой. При этом в предлагаемой технологии в определенной мере учитываются очевидные достоинства как «прудовой» – «открытосредовой», так и «закрытобассейновой» – «заводской» технологии рыбоводства и в разной степени нейтрализуются недостатки вышеуказанных способов (видов) культивирования (разведения и выращивания) рыб – рыбоводного производства.

По виду выпускаемой рыбной продукции предлагается устраивать нижеследующие виды средооткрытых («бассейново-открытых») рыбоводных комплексов.

1 Нерестово-выростные (рыбопитомные) рыбоводные комплексы, предназначенные для выращивания рыбопосадочного материала преимущественно (сеголетков) от естественно нерестующих рыб, устраиваемые в составе нерестовых, мальковых и выростных рыбоводных бассейнов и комплекса обеспечивающих их функционирование гидротехнических сооружений, устройств и соответствующего технологического оборудования.

2 Выростные рыбоводные (рыбовоспроизводственные) комплексы, обеспечивающие культивирование рыбопосадочного материала – сеголетков (чаще) и годовиков (реже). Основным рыбоводным элементом их является выростной(ые) бассейн(ы), зарыбление которого(ых) осуществляется рыбопосадочным материалом (мальком или подращенными личинками), полученным из внешних рыборазводных источников (рыбоводного завода, нерестовых или из мальковых рыбоводных прудов-бассейнов).

3 Выростные («выростно-зимовальные» или «сеголетко-годовиковые») рыбоводные комплексы, предназначенные для выращивания рыбопосадочного материала в виде годовиков («однолеток») из сеголеток культивируемых рыб. Основными рыбоводными объектами таких комплексов являются выростной(ые) и зимовальный(е) бассейны.

4 Рыбовоспроизводственные («нерестово-выростно-зимовальные») полноцикловые (полносистемные) комплексы, предназначенные для выращивания рыбопосадочного материала в виде годовиков, включающие в свой состав нерестовые, мальковые, выростные и зимовальные бассейны, с соответствующей инфраструктурой.

В состав всех вышеприведенных рыбоводных комплексов в качестве одного из промежуточных рыбоводных элементов могут включаться мальковые бассейны, предназначенные для кратковременного подращивания личинок рыб до жизнестойких стадий мальков рыб с последующим перемещением их в выростные бассейны.

При бассейновом («бассейново-открытом») ведении рыбоводства по сравнению

с традиционным («туземным») прудовым рыбоводством достигается нижеследующее:

- рационализация использования водных, земельных ресурсов и более эффективное использование других природно-климатических ресурсов территорий;
- более высокая(ий) рыбопродуктивная отдача (выход рыбоводческой продукции) на единицу используемых водных, земельных, кормовых, трудовых и иных ресурсов;
- повышение производительности, культуры и условий труда рыбоводов.

Технология искусственного (управляемого) рыборазведения (рыбоводного производства) должна предусматривать создание необходимых (максимально приближенных (в реально складывающихся природно-климатических условиях) к оптимальным) условий для жизнедеятельности, роста и развития гидробионтов, что обеспечивается в предлагаемом(ой) способе (технологии) бассейнового средооткрытого рыбоводства.

Небольшие по размерам средооткрытые рыбоводные бассейны (в отличие от крупноразмерных прудов) позволяют обеспечить достаточно точное (тонкое) управление гидрохимическим, гидробиологическим, газовым и температурным режимами (физико-химическими параметрами) водной среды как среды обитания гидробионтов.

Наиболее близким аналогом предлагаемой(го) технологии (способа) открытобассейнового тепловодного рыбоводства является известная «канально-бассейновая» технология форелеводства, учитывающая ее позитивные особенности.

При устройстве открытобассейновых комплексов возможно использование неудобий, засоленных, заболоченных и низкоплодородных земель, склоновых и подтапливаемых территорий. Стоимость строительства таких комплексов значительно меньше стоимости устройства рыбоводных заводов, а объемы затрат на их эксплуатацию значительно меньше затрат на реализацию заводской и прудовой технологий. Указанные обстоятельства и обоснования предопределяют целесообразность разработки научно-технической проблемы создания и использования открытобассейновых рыбоводных комплексов и технологии ведения открытобассейнового рыбоводства.

Заключение

1 Предложена технология средооткрытого бассейнового рыбоводства, учитывающая положительные особенности заводской и прудовой технологии и канально-бассейновой открытосредовой технологии форелеводства, позволяющая осуществлять высокоэффективный, высокопродуктивный рыбоводный процесс в рыбоводных бассейнах, питающихся водой из каналов оросительных и (или) оросительно-обводнительных систем.

2 Дано научно-техническое обоснование создания приканальных открытосредовых рыбоводно-мелиоративных комплексов, устраиваемых на базе оросительных и оросительно-обводнительных каналов.

3 Устройство и использование приканальных рыбоводных комплексов позволит повысить эффективность неиспользуемого в настоящее время в полном объеме водно-ресурсного потенциала оросительных и (или) оросительно-обводнительных каналов и тем самым улучшить их технико-экономические показатели.

Список использованных источников

1 Анохин, А. М. Основы мелиорации вод и водных объектов: курс лекций / А. М. Анохин, М. М. Мордвинцев, В. Н. Шкура; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2001. – 290 с.

2 Шкура, В. Н. Рыбопропускные шлюзы и рыбоподъемники / В. Н. Шкура. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 136 с. – (Б-ка гидротехника и гидроэнергетика. Вып. 98).

3 Шкура, В. Н. Природообустройство: терминологический словарь / В. Н. Шкура; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2009. – 768 с.

4 Пат. 1599468 СССР, МПК Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / Шкура В. Н., Чистяков А. А., Фоменко В. А., Анискин А. М.; заявитель и патентообладатель

Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова. – № 4393333; заявл. 16.03.88; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38. – 7 с.

5 Пат. 1703782 СССР, МПК Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / Шкура В. Н., Чистяков А. А., Шелестова Н. А.; заявитель и патентообладатель Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова. – № 4654820; заявл. 16.01.89; опубл. 07.01.92, Бюл. № 1. – 6 с.

6 Пат. 1544879 СССР, МПК Е 02 В 8/08. Рыбоход / Сукало Г. М., Шкура В. Н., Гуюмджибашян А. Г., Анискин В. С.; заявитель и патентообладатель Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова. – № 4447105; заявл. 23.05.88; опубл. 23.02.90, Бюл. № 7. – 4 с.

7 Конструктивные схемы и методики гидравлического расчета элементов рыбоводных комплексов на базе оросительно-обводнительных каналов / В. Н. Шкура [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018. – 43 с.

8 Баев, О. А. Рыбоводный комплекс на базе оросительно-обводнительного канала и малой реки / О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 151–156.

9 Щедрин, В. Н. Рыбоводный комплекс на базе оросительного канала и малой реки / В. Н. Щедрин, В. Н. Шкура, О. А. Баев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 38–43.

10 Баев, О. А. Компоновочно-конструктивные решения приканальных рыбоводных бассейнов / О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 13–18.

УДК 626.823

Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, В. Ф. Сильченко, Е. А. Козарезова
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ПРИ ЧАСТИЧНОМ ЗАРАСТАНИИ РУСЛА

Целью исследований является разработка методики гидравлического расчета магистрального канала трапецеидального сечения с учетом частичного зарастания русла растительностью на примере Бурлинского магистрального канала в Алтайском крае. Данный канал находился длительное время в недостроенном состоянии и поэтому сильно зарос растительностью. После окончания строительства канал стал эксплуатироваться со сниженным расходом при условии частичного зарастания русла. Для проведения гидравлического расчета использовались данные натурных обследований по коэффициентам шероховатости однородных участков канала. В результате расчетов установлено, что для пропуска по каналу проектного расхода $Q = 10$ *м*^{3}*/с потребуется дальнейшая расчистка русла с коэффициентами шероховатости, близкими к проектным (n = 0,027…0,030), при незначительном заглублении русла на 0,20–0,40 м.*

Ключевые слова: гидравлический расчет, магистральный канал, частичное зарастание русла, коэффициенты шероховатости.

****

Yu. M. Kosichenko, A. V. Kolganov, V. F. Silchenko, E. A. Kozarezova
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE HYDRAULIC CALCULATION OF THE MAIN CANAL AT WATER COURSE PARTIAL OVERGROWTH

The aim of the research is to develop a method of hydraulic calculation of the main canal' trapezoidal section taking into account the c partial overgrowth of water course with vegetation by the example of Burlinsky main canal in Altai Territory. This canal has stayed half constructed for a long time and therefore was heavily overgrown with vegetation. After the completion of the construction, the canal began to be exploited at the reduced rate under condition of canal partial overgrowing. The data of field surveys on roughness coefficients of homogeneous reaches were used for the hydraulic calculation. As a result of the calculations it was found that to pass the designed flow rate $Q = 10\ m^3$ *per second through the canal, the further clearing of the canal with roughness coefficients close to the design (n = 0.027...0.030) will be required, with a slight lowering of the canal by 0.20–0.40 m.*

Key words: hydraulic calculation, main canal, partial overgrowth of water course, roughness coefficients.

Введение. Актуальность изучения вопросов гидравлического расчета заключается в том, что при длительной эксплуатации крупных каналов происходит снижение их гидравлической эффективности за счет зарастания водной растительностью, приводящего к снижению пропускной способности канала, отклонению основных параметров живого сечения канала от проектных значений, увеличению потерь воды на фильтрацию, значительному уменьшению КПД каналов. Важно разработать методику расчета и использовать ее для оценки снижения пропускной способности.

Строительство Бурлинского магистрального канала (МК) было начато еще в 1983 г. и проводилось вплоть до 1991 г., в этот период была выполнена часть земляных работ на канале (первый и второй бьефы) и бетонных работ (НС-1 и НС-2). С 1991 г. строительство канала было приостановлено и возобновлено только с 2003 г. К 2010 г. весь комплекс оставшихся работ по строительству канала (третий и четвертый бьефы) и сооружений (НС-3 и НС-4) был полностью выполнен, и магистральный канал был принят в эксплуатацию [1, 2].

Таким образом, возраст первого и второго бьефов канала к 2010 г. составил 27 лет, а третьего и четвертого бьефов – 8–14 лет. Поскольку в этот период канал еще не работал, то на нем не проводились эксплуатационные работы по уходу, а также не осуществлялся текущий ремонт. В результате состояние русла канала ухудшалось, вначале наблюдалось его зарастание травой и мелким кустарником, а затем крупным кустарником и деревьями. Вследствие этого существенно изменилась шероховатость русла по сравнению с проектным значением коэффициента шероховатости (0,020–0,0225). Коэффициенты шероховатости русла канала до расчистки, по данным Е. Д. Кошелевой, К. Б. Кошелева [2], достигли n = 0,10–0,15.

Расчетами заросших русел каналов занимались В. Т. Чоу [3], Э. Л. Беновицкий [4], В. С. Боровков [5], А. Д. Альтшуль и Нгуен Тай [6], В. Ю. Ляпин [7], Ю. М. Косиченко [8], S. Petryk, G. Bosmajian [9] и др.

Материалы и методы. Оценка шероховатости русла канала при его зарастании проводилась в 2007 г., а после расчистки русла в 2009 г. При этом коэффициенты шероховатости русла второго бьефа после расчистки, по данным Е. Д. Кошелевой, К. Б. Кошелева [2], на 27.07.2009 составили от 0,025 до 0,10.

В таблице 1 приведены исходные данные о шероховатости русла по участкам Бурлинского МК после его расчистки в 2009 г., составленные по картам шероховатости, для I–IV бьефов [2] (схема бьефов приведена в работе Ю. М. Косиченко, Д. В. Баклановой, В. Ф. Сильченко [1]). Коэффициенты шероховатости задавались по данным натурных обследований по участкам канала с однородной шероховатостью [2] по длине трассы в соответствии с таблицей шероховатости В. Т. Чоу [3] и экспертной оценки характера зарастания канала.

Методика гидравлического расчета канала базируется на использовании основного уравнения равномерного движения воды в открытом русле (формула Шези) [1]:

$$Q = \omega \cdot C\sqrt{R \cdot i}\ ,$$

где Q – расход воды, м^3/с;

ω – площадь живого сечения канала, м^2;

C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с;

R – гидравлический радиус, м;

i – уклон дна канала.

Таблица 1 – Исходные данные о шероховатости русла по участкам Бурлинского МК (по данным обследований Е. Д. Кошелевой, К. Б. Кошелева [2])

Параметр на участке канала	Характеристика участка шероховатости канала						
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)							
l_i, м	100		600		200		
n_i, м	0,025		0,03		0,025		
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)							
l_i, м	600	2000	2000	650	750	500	250
n_i, м	0,035	0,03	0,025	0,05	0,10	0,03	0,05
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)							
l_i, м	1629		1044		1890		
n_i, м	0,02*		0,03		0,15		
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)							
l_i, м	300	350	1200	1500	2200	1400	1300
n_i, м	0,03	0,10	0,03	0,025	0,06	0,07	0,10
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)							
l_i, м	5400		2000		1800		
n_i, м	0,10		0,07		0,06		
* – новый участок (2007 г.) с n = 0,02.							

Результаты и обсуждение. Коэффициент шероховатости русла магистрального канала при частичном его зарастании определим как средневзвешенное значение по длине каждого бьефа, используя данные таблицы 1.

Средневзвешенное значение коэффициента шероховатости участка (бьефа) канала найдем по формуле:

$$n_{\text{ср.взв.}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = \frac{n_1 l_1 + n_2 l_2 + n_3 l_3 + \ldots + n_k l_k}{l_1 + l_2 + l_3 + \ldots + l_k}, \quad (1)$$

где n_1, n_2, n_3,…, n_k – коэффициенты шероховатости однородных по шероховатости участков канала в пределах каждого бьефа;

l_1, l_2, l_3,…, l_k – длина однородных по шероховатости участков канала, м (км).

Рассмотрим определение средневзвешенного значения коэффициента шероховатости для каждого бьефа канала согласно зависимости (1) по данным значений n_i однородных участков русла, представленным в таблице 1:

- для первого бьефа:

$$n_{\text{ср.взв.1}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = \frac{0{,}025 \cdot 100 + 0{,}03 \cdot 600 + 0{,}025 \cdot 200}{100 + 600 + 200} = 0{,}0283;$$

- для второго бьефа:

$$n_{\text{ср.взв.2}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = 0{,}035 \cdot 600 + 0{,}03 \cdot 2000 + 0{,}025 \cdot 2000 + 0{,}05 \cdot 650 + 0{,}10 \cdot 750 +$$

$$+ 0{,}03 \cdot 500 + 0{,}05 \cdot 250 / 600 + 2000 + 2000 + 650 + 750 + 500 + 250 = 0{,}0394;$$

- для третьего бьефа:

$$n_{\text{ср.взв.3}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = \frac{0{,}02 \cdot 1629 + 0{,}03 \cdot 1044 + 0{,}15 \cdot 1890}{1629 + 1044 + 1890} = 0{,}0761;$$

- для четвертого бьефа (участок ПК 130 – ПК 210):

$$n_{\text{ср.взв.4(1)}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = 0{,}03 \cdot 300 + 0{,}10 \cdot 350 + 0{,}03 \cdot 1200 + 0{,}03 \cdot 1500 + 0{,}06 \cdot 2200 +$$

$$+ 0{,}07 \cdot 1400 + 0{,}10 \cdot 1300 / 300 + 350 + 1200 + 1500 + 2200 + 1400 + 1300 = 0{,}057;$$

- для четвертого бьефа (участок ПК 210 – ПК 304):

$$n_{\text{ср.взв.4(2)}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = \frac{0{,}1 \cdot 5400 + 0{,}07 \cdot 2000 + 0{,}06 \cdot 1800}{5400 + 2000 + 1800} = 0{,}0856.$$

В соответствии с проведенными расчетами средневзвешенные значения коэффициентов шероховатости участков (бьефов) Бурлинского МК составили: $n_{\text{ср.взв.1}}$ = = 0,0283, $n_{\text{ср.взв.2}}$ = 0,0394, $n_{\text{ср.взв.3}}$ = 0,0761, $n_{\text{ср.взв.4(1)}}$ = 0,057, $n_{\text{ср.взв.4(2)}}$ = 0,0856.

Результаты гидравлического расчета Бурлинского МК по уточнению параметров при проектных режимах работы канала с нормальным расходом $Q_{\text{н}} = 36{,}5$ м^3/с и $Q_{\text{н}} = 10{,}0$ м^3/с при частичном зарастании русла по участкам (бьефам) представлены в таблице 2.

Проведенные расчеты показывают, что после частичного зарастания русла канала при $Q_{\text{н}} = 36{,}5$ м^3/с расчетные гидравлические параметры значительно изменились. Увеличение коэффициента шероховатости русла, особенно для третьего и четвертого бьефов, привело к увеличению нормальной глубины канала почти в два раза. Так, для третьего бьефа при зарастании русла нормальная глубина составила $h_{\text{н}} = 6{,}35$ м против глубины для проектного русла с $n = 0{,}020$ $h_{\text{н}} = 3{,}63$ м [1], а для четвертого бьефа на втором участке $h_{\text{н}} = 5{,}87$ м против $h_{\text{н}} = 2{,}89$ м. Изменение шероховатости русла также привело к существенному увеличению площади живого сечения соответственно в 2,65 раза (третий бьеф) и в 3,14 раза (четвертый бьеф).

При этом средние скорости течения в русле канала снизились в первом – втором бьефах в 1,26–1,57 раза, в третьем – четвертом бьефах в 2,68–3,13 раза. При этом последние значения скоростей в третьем – четвертом бьефах оказались существенно меньше допустимой незаиляющей.

Аналогичные результаты были получены при нормальном расходе $Q_{\text{н}}$ = 10,0 м^3/с. Нормальные глубины при частичном зарастании русла увеличились по сравнению с проектным руслом [1]: в первом – втором бьефах в 1,09–1,27 раза, в третьем – четвертом бьефах в 1,62–1,75 раза; соответственно средние скорости при зарастании русла снизились в 1,15–1,46 и 2,25–2,30 раза.

На основании проведенных гидравлических расчетов Бурлинского МК при частичном зарастании русла можно заключить, что при проектном расходе $Q_{\text{н}}$ = 36,5 м^3/с потребуется углубить русло канала в первом – втором бьефах более чем на 0,5–1,0 м, а в третьем – четвертом бьефах – на 2,5–3,0 м.

Таблица 2 – Результаты гидравлического расчета Бурлинского МК по уточнению параметров при проектных режимах работы канала по участкам (бьефам) при частичном зарастании русла (по данным на 2009 г.)

Участок канала (бьеф)	Задаваемый параметр по проекту				Расчетный гидравлический параметр							
	b, м	m	i	n	h, м	ω, м^2	χ, м	R, м	C, м^{0,5}/с	Q, м^3/с	v, м/с	$v_{нез}$, м/с
$Q_н = 36,5$ м^3/с												
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)	5,0	2,5	0,0001	0,0283	3,93	58,14	26,14	2,12	42,10	36,47	0,627	0,366
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)	5,0	3,0	0,00006	0,0394	4,72	89,77	34,73	2,59	32,43	36,29	0,404	0,381
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)	5,0	3,0	0,00004	0,0761	6,35	152,72	45,16	3,38	20,35	36,14	0,236	0,406
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)	5,0	3,0	0,00003	0,0570	6,16	144,64	43,35	3,29	25,38	36,47	0,252	0,404
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)	10,0	4,0	0,00003	0,0856	5,87	196,53	58,41	3,36	18,53	36,58	0,186	0,406
$Q_н = 10,0$ м^3/с												
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)	5,0	2,5	0,0001	0,0283	2,17	22,62	16,68	1,35	37,76	9,95	0,439	0,323
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)	5,0	3,0	0,00006	0,0394	2,71	35,58	22,14	1,61	28,68	10,02	0,281	0,337
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)	5,0	3,0	0,00004	0,0761	3,80	62,32	29,03	2,14	17,28	9,98	0,160	0,363
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)	5,0	3,0	0,00003	0,0570	3,63	57,68	27,96	2,06	21,96	9,97	0,172	0,359
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)	10,0	4,0	0,00003	0,0856	3,41	80,61	38,12	2,11	15,53	9,97	0,123	0,361

Примечание – Закрашенные области значений скоростей движения характеризуют недопустимые режимы работы канала, когда скорости в канале будут меньше допускаемых незаиляемых ($v < v_{нез}$).

Такой вариант реконструкции Бурлинского МК со значительным заглублением русла, особенно по длине третьего и четвертого бьефов с протяженностью этого участка более 22,0 км, приведет к большому объему земляных работ, связанных одновременно с углублением и расширением русла. Помимо этого, при его реализации потребуется реконструкция всех четырех насосных станций с дополнительной установкой на каждой из них пяти насосных агрегатов (каждый расходом 5,0 м^3/с). В связи с этим данный вариант реконструкции магистрального канала окажется неприемлемым как с экономической точки зрения (по причине больших затрат), так и с технической точки зрения (по причине дополнительной установки 20 насосных агрегатов и, соответственно, строительства четырех дополнительных зданий насосных станций).

При проектном (эксплуатационном) расходе канала $Q_н = 10{,}0$ м^3/с и частичном зарастании русла также потребуется некоторое его заглубление, хотя и значительно меньшее, чем при $Q_н =$ 36,5 м^3/с. Заглубление русла составит: в первом бьефе – 0,18 м, втором бьефе – 0,58 м, третьем бьефе – 1,67 м, четвертом бьефе – 1,13–1,47 м.

Второй вариант реконструкции канала при его проектном (эксплуатационном) расходе $Q_н = 10{,}0$ м^3/с является наиболее реальным и не потребует дополнительных значительных затрат. По данному варианту достаточно провести очистку поверхности русла от кустарников и их корней на глубину 20–40 см с тем, чтобы обеспечить коэффициент шероховатости поверхности русла, близкий к проектному ($n =$ 0,027…0,030).

В этом случае, как показывают расчеты (таблица 2), пропускная способность будет достаточной ($Q_н = 10{,}0$ м^3/с) при незначительном заглублении русла. При этом средние скорости течения возрастут до значений 0,40–0,45 м/с, превышающих допускаемые незаиляющие ($v > v_{нез}$), что обеспечит нормальный режим канала без заиления его русла.

По результатам выполнения гидравлического расчета каналов с частично заросшим руслом разработана программа для ЭВМ, зарегистрированная Роспатентом [10].

Наряду с проблемами, которые возникают при зарастании русел каналов, целесообразно учесть требования к экологической безопасности [11] и особенности управления водораспределением оросительных каналов [12].

Выводы

1 Так как строительство Бурлинского МК происходило в течение длительного периода, русло канала до ввода в эксплуатацию сильно заросло кустарником и деревьями, и поэтому в 2007–2009 гг. была проведена его расчистка от крупных деревьев и кустарников. С целью уточнения параметров канала были рассчитаны гидравлические характеристики с учетом натурных данных о коэффициентах шероховатости русла.

2 Выполненные расчеты показывают, что после расчистки русла Бурлинского МК при расходе $Q_н = 36{,}5$ м^3/с гидравлические параметры при частичном зарастании русла значительно изменились, и особенно для третьего и четвертого бьефов. При этом средние скорости на этих участках значительно снизились (в 2,5–2,3 раза) и стали меньше допускаемых незаиляющих, что приведет к заилению русла и свидетельствует о недопустимости такого режима работы канала.

3 На основании проведенных расчетов при расходе $Q_н = 36{,}5$ м^3/с потребуется углубить русло на этих участках на 2,5–3,0 м, что приведет к большому объему земляных работ. Кроме того, при таком варианте реконструкции потребуется дополнительная установка 20 насосных агрегатов и строительство дополнительных зданий насосных станций. В связи с этим данный вариант реконструкции магистрального канала окажется неприемлемым как с экономической, так и с технической точки зрения.

4 Наиболее реальным является вариант реконструкции канала, предусматривающий его эксплуатацию при проектном расходе $Q_н = 10{,}0$ м^3/с. Он потребует незначи-

тельных затрат, связанных с очисткой поверхности русла от кустарников и их корней, с тем чтобы обеспечить коэффициент шероховатости русла, близкий к проектному ($n =$ 0,027…0,030).

Список использованных источников

1 Косиченко, Ю. М. Уточнение гидравлических параметров магистрального канала трапецеидального сечения / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, В. Ф. Сильченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 80–86.

2 Кошелева, Е. Д. Компьютерное моделирование взаимодействия грунтовых и поверхностных вод в зоне Бурлинского магистрального канала / Е. Д. Кошелева, К. Б. Кошелев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 238 с.

3 Чоу, В. Т. Гидравлика открытых каналов / В. Т. Чоу: [пер. с англ.]. – М.: Стройиздат, 1969. – 464 с.

4 Беновицкий, Э. Л. Вывод расчетных зависимостей для коэффициента шероховатости частично заросшего русла / Э. Л. Беновицкий // Водные ресурсы. – 1988. – № 1. – С. 68–74.

5 Боровков, В. С. Русловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях / В. С. Боровков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 286 с.

6 Альтшуль, А. Д. Гидравлические сопротивления при фильтрации воды в растительном слое почвы / А. Д. Альтшуль, Нгуен Тай // Метеорология и гидрология. – 1973. – № 12. – С. 77–80.

7 Ляпин, В. Ю. Гидравлические сопротивления в открытых руслах: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.23.16 / Ляпин Валерий Юрьевич. – М., 1994. – 42 с.

8 Косиченко, Ю. М. Расчет коэффициентов шероховатости заросших русел каналов / Ю. М. Косиченко // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 1997. – № 2. – С. 75–80.

9 Petryk, S. Analysis of flow through vegetation / S. Petryk, G. Bosmajian // J. Hydraulics Division. – 1975. – Vol. 101, iss. 7. – P. 871–884.

10 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018665666. Методика гидравлического расчета параметров каналов с частично заросшим руслом / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Ф. Сильченко; заявитель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2018662709, заявл. 13.11.18.

11 Васильев, С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Васильев Сергей Михайлович. – Волгоград, 2006. – 35 с.

12 Щедрин, В. Н. Повышение эффективности управления водораспределением и совершенствование конструкций открытых оросительных систем: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Щедрин Вячеслав Николаевич. – Новочеркасск, 1995. – 56 с.

УДК 626.88

А. Ю. Гарбуз, О. А. Баев
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПАРАМЕТРЫ РЫБОВОДНЫХ БАССЕЙНОВ

Целью исследований являлась разработка рыбоводно-технического обоснования конструирования и установления параметров открытосредовых бассейнов, используемых для культивирования рыб. Объектом исследования являются открытосредовые приканальные рыбоводные бассейны различного функционального назначения, питаю-

щиеся водой из крупных каналов оросительных и (или) оросительно-обводнительных систем. Предмет исследования – рекомендации по проектированию приканальных бассейнов, используемых в рыбоводном производстве. В результате исследования сформулированы предложения по назначению геометрических параметров и разработке компоновочно-конструктивных решений рыбоводных бассейнов, устраиваемых в составе приканальных рыбоводно-мелиоративных комплексов.

Ключевые слова: рыбоводство, рыбоводно-мелиоративные комплексы, рыбоводные бассейны, конструктивные решения, обоснование конструкций бассейнов.

****

A. Yu. Garbuz, O. A. Baev
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

FISH BREEDING RESERVOIRS DESIGN FEATURES AND PARAMETERS

The aim of the research was to develop a fish-breeding and technical substantiation for designing and determining the parameters of open-environment pools used for fish cultivation. The object of the study is open environmental canalside fish-breeding reservoirs for various functional purposes supplying water from irrigation canals and (or) irrigation watering systems. The subject of research is canalside reservoir design recommendations used in fish breeding. The proposals on geometrical parameters designation and layout-constructive solution development of fish pools arranged as part of canalside fish breeding reclamation complexes were formulated.

Key words: fish farming, fish-breeding and reclamation complexes, fish-breeding reservoirs, constructive solutions, reservoir designs substantiation.

Введение. Современные требования природопользования предусматривают повышение комплексности и эффективности использования ресурсного потенциала природных и техногенных водных объектов [1]. Одним из направлений, реализующих указанные требования, является использование водно-ресурсного потенциала каналов и водоемов оросительных и оросительно-обводнительных систем для ведения рыбоводства. Реализация предложения по устройству и использованию приканальных рыбоводных комплексов позволит получать продукцию от рыбоводного производства и повысить технико-экономические показатели гидромелиоративных систем и объектов [2].

Основным рыбоводческим компонентом рыбоводных комплексов являются рыбоводные бассейны, устраиваемые в приканальных зонах и питающиеся водой из ирригационных каналов. Отметим, что средооткрытые рыбоводные бассейны, устраиваемые на природных ландшафтах («под открытым небом»), до настоящего времени не получили широкого распространения и не имеют должного научно-технического обоснования. Отдельные предложения по их описанию [3, 4] не покрывают имеющегося дефицита информации, необходимой для разработки их компоновочно-конструктивных решений. Все возрастающая актуальность создания и использования рыбоводных бассейнов в составе рыбоводно-мелиоративных комплексов [5–7] определяет необходимость обоснования рыбоводно-технических требований и разработки рекомендаций по их проектированию, что и было определено задачей проведенного исследования.

Материал и методы. Материалами аналитического исследования являлись данные обследований и исследований рыбоводных прудов и бассейнов различного функционального назначения, принятых в качестве аналогов при разработке средооткрытых рыбоводных бассейнов. Методология исследования предусматривала анализ условий функционирования объектов-аналогов и последующий синтез оценок при разработке обоснований и предложений по определению параметров и созданию конструктивных решений предлагаемых рыбоводных бассейнов, устраиваемых в составе приканальных рыбоводно-мелиоративных комплексов.

Результаты и обсуждение. В наиболее простом толковании под рыбоводным бассейном понимается бассейн, используемый в рыбоводных целях. Более полно и точно данный термин предлагается определять как малый искусственный мелководный бассейн (со средней глубиной, не превышающей 2,0 м) с площадью водного зеркала до 50 тыс. м^2 и объемом (водоемкостью) до 100 тыс. м^3, с инженерно закрепленным ложем, инженерно оборудованный для ведения рыбоводства. По совокупности отличительных признаков в квалификационном отношении различают нижеследующие виды рыбоводных бассейнов.

Заводские («закрытосредовые» или «искусственносредовые») и ландшафтные («открытосредовые» или «естественносредовые») рыбоводные бассейны. Под заводскими понимаются бассейны, размещаемые в специально оборудованных строениях с регулируемым микроклиматом и освещенностью, с глубоким управлением физико-химическими показателями водной среды обитания гидробионтов. Ландшафтные или средооткрытые («природоприближенные») рыбоводные бассейны размещаются и функционируют в открытом природном ландшафте («под открытым небом») и подвержены воздействию климатических процессов и явлений. В таких рыбоводных бассейнах практически не регулируется (а если регулируется, то в незначительной степени) температурный, газовый, химический, скоростной, микробиологический, световой и другие режимы среды обитания гидробионтов.

Рассматриваются и устраиваются непроточные, периодически или постоянно проточные рыбоводные бассейны.

В общей классификации бассейнов рассматриваются моно- и разноглубинные, разноплощадные и разнообъемные, единичные и системные, тепло- и холодноводные и другие виды рыбоводных бассейнов.

По рыбоводно-функциональному предназначению различают: маточные, нерестовые, мальковые, выростные, нагульные, ремонтные, зимовальные, карантинные, изоляторные, моно- и полифункциональные виды рыбоводных бассейнов. Нерестовые рыбоводные бассейны определяются как специально обустроенные бассейны, обеспечивающие условия для нереста рыб (оплодотворения репродукционного продукта и подращивания личинок до стадии малька), или как бассейны, используемые для естественного нереста высаженных в них производителей рыб и развития репродукционного продукта. Под мальковыми бассейнами понимаются рыбоводные бассейны, специально обустроенные для роста и развития личинок и малька до стадии жизнестойкой молоди. Выростные или «сеголетковые» рыбоводные бассейны устраиваются для культивирования («подращивания») сеголетков из помещаемых в них мальков. К зимовальным относят специально обустроенные рыбоводные бассейны для зимнего содержания сеголетков, годовиков и двухгодовиков (двухлетков) или производителей рыб. Нагульные («рыбовыростные») бассейны определяются как рыбоводные бассейны, предназначенные для выращивания товарной рыбы (из сеголетков (годовиков) при двухлетнем рыбовыростном цикле и (или) из двухгодовиков при трехлетнем цикле выращивания товарной рыбы). Используются рыбоводные бассейны, имеющие два предназначения и более (для выращивания рыб на двух стадиях развития и более), среди которых «нерестово-мальковые», «мальково-выростные» и «полноцикловые» рыбоводные бассейны (в которых рыбоводное производство осуществляется в полном цикле от получения репродукционного материала или зарыбления их мальком до получения товарной рыбы, включая перезимовку рыбопосадочного материала).

Термин «приканальные рыбоводные бассейны» определяется как естественносредовые («открытосредовые») рыбоводные бассейны, устраиваемые в приканальной зоне и питающиеся водой из оросительного и (или) оросительно-обводнительного канала.

Рыбоводные бассейны характеризуются конфигурацией (плановым очертанием), линейными, площадными и объемными размерами, температурным и скоростным ре-

жимами, функциональным рыбоводным предназначением и другими признаками и особенностями. При разработке конструктивных решений рыбоводных бассейнов различного функционального предназначения необходимо обеспечить выполнение приведенных ниже рыбоводно-технических требований и ограничений.

Нагульные приканальные бассейны («нагульники») предназначены для культивирования товарной рыбы и предусматривают их весеннее зарыбление рыбопосадочным материалом. Подращивание рыбы (от годовиков до товарного размера и веса) в нагульных бассейнах осуществляется в течение весенне-летнего и раннеосеннего временного периода и увязывается с периодом функционирования питающего их водой оросительного канала.

Нагульные бассейны размещаются в пределах приканальной территории с учетом рельефных, инженерно-геологических и других условий местности и хозяйственно-экономических соображений. Средняя глубина этих бассейнов (в зависимости от природно-рыбоводной зоны и вида культивируемых рыб) может составлять 1,5–1,8 м. В чаше бассейнов рекомендуется устраивать разноглубинные зоны, при этом: площадь зон с глубинами 0,5 м $\omega_{0,5}$ не должна превышать 10 % от площади зеркала воды $\omega_{бас}$; $\omega_{0,5–1,0}$ может составлять 15–35 % от $\omega_{бас}$; с глубиной 1,0–1,5 м рекомендуется устраивать площадь в пределах 25–45 % от $\omega_{бас}$; для $h = 1,5…2,0$ м $\omega_{1,5–2,0}$ = 15…45 % $\omega_{бас}$ и площадь зон глубиной более 2,0 м $\omega_{>2,0}$ не должна превышать 15 % площади бассейна.

В ложе нагульных бассейнов рекомендуется устраивать рыбосборные канавы с размерами по глубине и ширине от 0,5 × 0,5 м до 0,8 × 0,8 м, предназначенные для ската в них рыб при опорожнении бассейна. Для улучшения условий ската рыб к рыбоспускным (рыбовыпускным) устройствам дно бассейнов рекомендуется устраивать с уклоном в сторону водорыбоспуска. В плановом отношении нагульные бассейны рекомендуется устраивать прямоугольными с соотношением ширины к длине от 1:2 до 1:10. Конструктивные решения и параметры нагульных бассейнов определяются с учетом рыбоводно-биологических требований культивируемых в них видов рыб. В нагульных бассейнах система водного питания обеспечивает регулируемую подачу воды, компенсирующую ее потери и создающую необходимую(ый) проточность и полный водообмен.

Нерестовые бассейны относятся к специально-функциональному виду рыбоводных бассейнов, предназначенных для создания нерестовых условий и обеспечения естественного нереста производителей рыб и постнерестового развития оплодотворенного репродукционного материала (личинки и малька). Размеры и технологические параметры нерестовых бассейнов могут быть приняты в нижеследующих пределах. Площадь нерестовых бассейнов $\omega_{б/н} = 0,1...0,3$ га. Средняя глубина воды $\bar{h}_{б/н} = 0,8…1,1$ м при плавном увеличении максимальных глубин от верховой (головной) части бассейнов к низовой (концевой) от 0,5 до 1,25 м. Рекомендуется устройство разноглубинных участков, при этом площадь зоны с глубиной воды до 0,5 м $(\omega_{б/н})_{0,5}$ должна составлять 50–70 % от $\omega_{б/н}$. Продолжительность наполнения нерестового бассейна $t_{нап}$ = 0,1…0,2 сут. Величина «текущего» расхода должна обеспечивать необходимый водообмен и компенсацию потерь воды. В конструкции бассейна предусматривается устройство водовпускного и водоспускного сооружений и системы водо- и рыбоотводящих («водорыбосборных») канав. В нерестовых бассейнах предусматривается устройство нерестовых элементов – нерестового субстрата. Конструктивные решения, размеры, расположение и количество фитонерестовых элементов («гнезд») определяются видом рыб. Так, для нереста карпа рекомендуются нижеприведенные параметры нерестового бассейна площадью 0,1 га. Количество «гнезд» на один нерестовый бассейн – 2; соотношение

самок и самцов на одно гнездо – 1:2; выход мальков из одного гнезда – 70–120 тыс. шт. со средней массой ≥ 10 мг; продолжительность выдерживания молоди в нерестовом бассейне не более 10 сут. Параметры нерестовых бассейнов должны адаптироваться к виду нерестующих рыб и учитывать природно-климатические условия местности их устройства и использования. Их рекомендуется располагать на хорошо естественно освещаемых и солнцепрогреваемых участках местности вдали от источников шума, в непосредственной близости от маточных бассейнов и рядом с мальковыми и (или) выростными бассейнами при наличии конструктивной и гидравлической связи между смежными разнофункциональными бассейнами.

Мальковые рыбоводные бассейны предназначены для развития репродукционного материала (личинок и малька) до стадии молоди и последующей ее пересадки в выростные бассейны (подращивания пострепродукционного (изначально развившегося) материала, пересаживаемого в них из нерестовых бассейнов или из инкубационно-личиночных цехов рыбоводных заводов). Рекомендуются нижеприведенные параметры мальковых бассейнов: площадь бассейна – 0,5–1,5 га; средняя глубина наполнения водой – 1,0 м с наличием участков глубиной 60–70 см площадью, составляющей 60–70 % от общей площади «зеркала» малькового бассейна. Плотность посадки трехсуточных заводских личинок для V–VI рыбоводно-климатических зон принимается равной 3,5–4,0 млн шт./га. Продолжительность подращивания личинок составляет 10–15 сут. Средняя масса подращенных личинок должна составлять 20–30 мг.

При подращивании личинок и малька в мальковых бассейнах они обеспечиваются живым и искусственным кормом. Выпуск мальков из бассейна осуществляют в сумеречное и ночное время через мальковый рыбоуловитель, устраиваемый на водорыбоспуске.

Выростные пруды предназначены для выращивания сеголетков и зарыбляются мальком, изымаемым из мальковых бассейнов. Общая площадь выростных бассейнов $\omega_{бас/выр}$ принимается в пределах 4–5 га при средней глубине воды от 1,0 до 2,0 м, а в V–VI зонах рыбоводства $h_{ср} = 1{,}4\ldots1{,}5$ м. При этом зоны с глубинами воды 0,5–1,0 м должны составлять 50–60 % от $\omega_{бас}$; $\omega_{1{,}0-1{,}5}$ = 15…25 %; $\omega_{>1{,}5}$ ≤ 15 % общей площади. Выростные бассейны рекомендуется размещать вблизи и ниже мальковых. На одной площадке могут устраиваться два и более выростных бассейна, при этом рекомендуется автономная подача воды в каждый бассейн и ее автономный выпуск в водоприемник. Выростные бассейны оборудуются системой рыбовыводных (водорыбоотводящих) канав, донными водорыбоспусками, а на выходе из них устраиваются рыбоуловительные устройства (рыбоуловители-рыбосборники). В выростных бассейнах рекомендуется выдерживать водообмен не более 10–15 сут. Опорожнение выростных бассейнов осуществляется в пределах 3 сут.

При разработке конструктивно-компоновочных решений приканальных рыбоводных бассейнов необходимо учитывать нижеследующие требования и рекомендации.

1 Конструктивные решения бассейнов различного функционального назначения должны соответствовать требованиям технологии выращивания различных видов рыб на определенных стадиях их роста и развития. Наряду с монофункциональными требованиями необходимо рассматривать возможности использования бассейнов для культивирования в них рыб, как в моно-, так и в поликультуре, а также на двух и трех стадиях их развития. В связи с этим рассматриваются конструктивные решения нерестово-мальковых, мальково-выростных и (или) нерестово-выростных рыбоводных бассейнов.

2 В конструктивно-компоновочных решениях рыбоводных бассейнов необходимо предусмотреть возможность реализации в них технологических операций по содержанию рыб и созданию благоприятных условий для их жизнедеятельности, функционированию бассейнов как гидротехнических сооружений, обеспечению возможности

ведения уходных и ремонтных работ. Конструктивно-компоновочные решения бассейнов должны предусматривать возможности для заполнения их изымаемой из оросительного канала водой и последующего регулирования водного режима в них (создание проточности и водообмена, хемо-, газо- и терморегулирования среды) и опорожнения бассейнов.

3 Конструкции рыбоводных бассейнов должны учитывать выполнение таких основных рыбоводно-технологических операций, как их зарыбление рыбопосадочным материалом (личинкой, мальком, годовиками или двухгодовиками, а нерестовых бассейнов – производителями рыб), кормление рыб живым и искусственным кормом, выпуск из бассейнов рыбопосадочного материала или товарной рыбы. При этом в среде обитания гидробионтов должны быть созданы регламентные условия для нереста рыб, жизнедеятельности личинок и мальков, роста и развития молоди рыб до стадии жизнестойкого рыбопосадочного материала или выращивания товарной рыбы. Обязательным требованием является создание условий для свободного перемещения рыб в водном пространстве бассейна и доступного выбора ими наиболее благоприятных для них условий жизнедеятельности по химизму водной среды, скоростному режиму потока, по глубинам воды, газовым и температурным параметрам и другим условиям обитания.

4 Конструкции рыбоводных бассейнов должны предусматривать: их подготовку к заполнению водой и зарыблению; предотвращение попадания в бассейны антиподов культивируемых видов рыб (например, хищников в карповые бассейны); отлов отнерестившихся производителей из нерестовых бассейнов; защиту молоди от хищных («рыбоядных») птиц; бестравматический выпуск рыб из бассейнов; предотвращение нежелательного попадания рыб в водосбросные отверстия сооружений; предотвращение травмирования рыб при проведении уходных работ; предотвращение загрязнения водной среды вредоносными водорослями и зарастания бассейнов растительностью.

5 При гидротехническом конструировании рыбоводных бассейнов рекомендуется рассматривать вопросы: регулирования объемов и расходов водоподачи с учетом «микроклиматических» условий использования бассейнов и биологических потребностей культивируемых в них видов рыб; подачи в бассейны естественно аэрированной воды или ее искусственного насыщения воздухом посредством применения аэрационных установок; подачи корма в различные зоны обитания рыб кормораздатчиками или вместе с подаваемой в бассейны водой; обеспечения регулирования водообмена во избежание загрязнения среды обитания рыб как внутренними, так и внешними загрязнителями.

6 Гидротехническая инфраструктура рыбоводных бассейнов предназначена для их водообеспечения и регулирования водного режима. В состав гидротехнических сооружений и устройств, обеспечивающих техническое функционирование рыбоводных бассейнов, включают водозаборные, водораспределительные, водовпускные, аэрационные и водоспускные гидротехнические сооружения и устройства. Водозаборные сооружения обеспечивают забор воды из оросительного канала и подачу ее в водопроводящие сооружения, подводящие воду к рыбоводному(ым) бассейну(ам). В качестве водозаборных сооружений из каналов могут рассматриваться конструктивные решения открытых и закрытых (трубчатых и сифонных) водовыпусков. При привязке известных конструктивных решений и разработке новых конструкций водозаборов из каналов исходят из учета топографических условий местности и гидравлических условий водоотбора и водоподачи (по расходам воды, перепадам уровней между водоисточником-каналом и водоприемником – рыбоводным бассейном). Рассматриваются варианты с непосредственной подачей воды водозаборным сооружением в рыбоводный бассейн или подачей ее посредством водотранспортирующих водоводов в водовпускные устройства бассейнов. Отдельные конструкции водозаборов, водоводов (водопроводов) и водовпусков составляют систему водного питания приканальных рыбоводных бассейнов. При этом применяются сосредоточенные и рассредоточенные системы водного

питания рыбоводных бассейнов, которые должны удовлетворять нижеследующим основным требованиям: обеспечить регулируемый забор воды из оросительного канала и подачу расчетных расходов воды в бассейн; создать в нем соответствующий требованиям рыбоводства гидравлический режим в части проточности, водообмена и поддержания в бассейне определенного уровенного режима. Система водного питания (водообеспечения-водоснабжения) бассейна должна обеспечивать регулируемую подачу воды в определенные зоны акватории и может быть адаптирована к возможности подачи корма с водой. Водовпускные элементы системы питания (при наличии соответствующих напоров) могут быть оборудованы средствами для естественного аэрирования воды, а конструкции водовпусков должны исключать заход в них рыб.

Конструктивные решения средооткрытых рыбоводных бассейнов, устраиваемых в естественных условиях местности, предусматривают возможность принудительного аэрирования воды с применением технического, биологического или химического способа его реализации. Применяется разовое, периодическое и постоянное аэрирование водной среды в бассейнах. Необходимость в аэрировании определяется по содержанию кислорода в воде (от минимума – 2 $м^2$/л до благоприятного уровня 6–8 $м^2$/л).

Рыбоводные бассейны оборудуются водоспускными и рыбоспускными сооружениями (рыбоводоспусками), предусматривающими выпуск с водой рыб (молоди или товарной рыбы) по завершении планово-временного цикла их культивирования. Водоспуски обеспечивают проточность в рыбоводных прудах в процессе их функционирования, размещаются в наиболее низких местах бассейнов и в обязательном порядке оборудуются рыбозаградительными устройствами, размещаемыми перед их входными отверстиями (например, как в изобретениях В. Н. Шкуры, Г. М. Германа и др. [8, 9]). Водоспуски оборудуются регулирующими устройствами, а в их концевой части устраиваются рыбоуловители. Учет количества выпускаемых из рыбоводных бассейнов рыб осуществляется рыбосчетным устройством.

Вывод. Предложены и сформулированы компоновочно-конструктивные решения и рыбоводно-технические требования аквакультурных бассейнов, устраиваемых в составе приканальных рыбоводно-мелиоративных комплексов, и рекомендации по их устройству в составе оросительно-обводнительных каналов гидромелиоративных систем.

Список использованных источников

1 Анохин, А. М. Основы мелиорации вод и водных объектов: курс лекций / А. М. Анохин, М. М. Мордвинцев, В. Н. Шкура; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2001. – 290 с.

2 Конструктивные схемы и методики гидравлического расчета элементов рыбоводных комплексов на базе оросительно-обводнительных каналов / В. Н. Шкура [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018. – 43 с.

3 Шкура, В. Н. Рыбопропускные шлюзы и рыбоподъемники / В. Н. Шкура. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 136 с. – (Библиотека гидротехника и гидроэнергетика; Вып. 98).

4 Шкура, В. Н. Природообустройство: терминологический словарь / В. Н. Шкура; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2009. – 768 с.

5 Баев, О. А. Компоновочно-конструктивные решения приканальных рыбоводных бассейнов / О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 13–18.

6 Баев, О. А. Рыбоводный комплекс на базе оросительно-обводнительного канала и малой реки / О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 151–156.

7 Щедрин, В. Н. Рыбоводный комплекс на базе оросительного канала и малой реки / В. Н. Щедрин, В. Н. Шкура, О. А. Баев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 38–43.

8 Пат. 1712531 СССР, МПК Е 02 В 8/08. Рыбозащитное устройство / Шкура В. Н., Михеев П. А., Гулянский А. Ш., Анискин В. С., Азоян В. З.; заявитель и патентообладатель Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова. – № 4746517; заявл. 27.07.89; опубл. 15.02.92, Бюл. № 6. – 4 с.

9 Пат. 1629384 СССР, МПК Е 02 В 8/08. Устройство для промывки сетчатого полотна рыбозащитного сооружения / Герман Г. М., Чистяков А. А., Шкура В. Н., Реусов М. П., Волошков В. М.; заявитель и патентообладатель Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова. – № 4654844; заявл. 10.01.89; опубл. 23.02.91, Бюл. № 7. – 3 с.

УДК 626.88

В. Ф. Сильченко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ОТХОДОВ

В статье автором рассматривается проблема фильтрации на накопителях промышленных и бытовых отходов. Кратко представлены основные мероприятия, направленные на борьбу с фильтрационными потерями. Приведено конструктивное решение противофильтрационно-дренажного экрана с использованием водонепроницаемого элемента из геомембраны и защитных покрытий из геотекстилей. Рассмотрены требования и пример расчета толщины противофильтрационного элемента при создании конструкции экрана из геомембраны на накопителе отходов. По результатам расчета для заданного случая подобран противофильтрационный элемент из геомембраны толщиной 0,3 мм.

Ключевые слова: накопитель отходов, противофильтрационный экран, фильтрация, загрязнение, геомембрана, геотекстиль.

****

V. F. Sil’chenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

IMPROVING FILTRATION PROOF EFFICIENCY OF WASTE STABILIZATION PONDS

The problem of filtration in industrial and household waste stabilization ponds is considered. The main events aimed at filtration losses control are briefly presented. A constructive solution of the impermeable-drainage membrane using a geomembrane and protective geotextile coatings is presented. Requirements and an example of calculating the thickness of the impervious element when creating a geomembrane in stabilization pond are considered. According to the calculation results for the given case, an anti-filtration element from a geomembrane 0.3 mm thick was selected.

Key words: waste pond, anti-filtration screen, filtration, pollution, geomembrane, geotextile.

Ежегодное увеличение производства непосредственно связано с возрастанием объемов твердых бытовых и промышленных отходов. Проблема складирования и утилизации твердых бытовых, промышленных и особо опасных отходов в последние годы является особо актуальной в нашей стране. Нехватка необходимой инфраструктуры и заводов по переработке отходов в некоторых случаях приводит к несанкционированному их складированию, а многие из эксплуатируемых в настоящее время накопителей

морально устарели, их конструктивные элементы не соответствуют требованиям многих нормативных документов, требуется срочная консервация порядка 30–35 % таких сооружений с устройством должной гидроизоляции [1]. При этом многие из существующих методов утилизации отходов оказывают негативное влияние на окружающую природную среду, и в частности на грунтовые и подземные воды.

Под полигоном твердых бытовых и промышленных отходов следует понимать комплекс природозащитных сооружений, предназначенный для безопасного сбора, обезвреживания и захоронения отходов [1].

Исследования показывают, что загрязненный фильтрат из накопителей распространяется на десятки километров и попадает в открытые водоисточники, в т. ч. питьевого и рекреационного назначения [2–5]. Поступление загрязненного фильтрата в подземные воды зависит от их естественной защищенности. Для предотвращения проникновения фильтрата в грунтовые воды и почвогрунты, в соответствии с требованиями нормативных документов [1], необходимо предусматривать следующие мероприятия:

- устройство противофильтрационных и защитных экранов в основании полигонов с применением современных гидроизоляционных материалов;
- создание дренажной системы для отвода фильтрата;
- организация системы очистки фильтрата;
- устройство наблюдательных скважин;
- устройство гидроизоляционного поверхностного экрана при консервации полигона;
- создание культивационного слоя на накопителях.

В состав основных конструктивных элементов современного полигона входят противофильтрационный и защитный экраны – это конструктивные элементы, обеспечивающие природоохранные функции [5]. Основное функциональное назначение противофильтрационной защиты основания полигона – создание искусственного барьера, препятствующего проникновению жидкости в подстилающие грунты и грунтовые воды. В целях обеспечения экологической безопасности экраны должны включать противофильтрационные и дренажные элементы, позволяющие производить сбор и отвод загрязненного фильтрата [6].

Вопросам противофильтрационной защиты прудов – накопителей отходов, а также разработке их конструктивно-технических решений и расчетам фильтрации посвящен ряд работ академии им. Памфилова [6], ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева [4], а также ряд работ других учреждений [5, 7]. Вопросы гидроизоляции каналов гидромелиоративных систем и водоемов рассмотрены в некоторых работах ФГБНУ «РосНИИПМ» [5, 8, 9].

Ниже рассмотрим основные преимущества противофильтрационного экрана полигона, выполненного из геосинтетических материалов, перед «традиционными» покрытиями из грунта, бетона или полиэтиленовой пленки, применяемыми ранее при создании накопителей отходов различного назначения [9].

Геосинтетические материалы изолируют почву от вредных веществ, обеспечивая экологическую безопасность окружающей среды, они обладают устойчивостью к различным химическим веществам, а также механическим воздействиям, что увеличивает период их эксплуатации по сравнению с другими изоляционными материалами [10].

При строительстве накопителей отходов используются следующие материалы: геомембраны, геотекстили, бентонитовые маты и многие другие [11]. Выбор типа и класса геосинтетика, а также конструкции противофильтрационного экрана в целом должен производиться на основании изучения и исследования инженерно-геологических, гидрологических условий ложа накопителя с учетом технико-экономических обоснований, условий эксплуатации и требований к надежности сооружения.

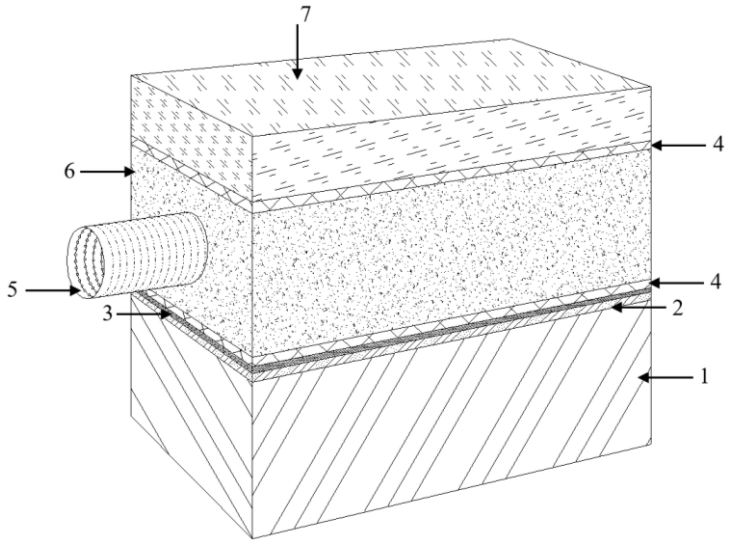
В последние годы при гидроизоляции накопителей отходов все чаще используются полимерные материалы повышенной толщины в виде геомембран. Геомембрана –

рулонный (или листовой) полимерный изолирующий материал. Исходным материалом для производства геомембран является полиэтилен высокого и низкого давления, поливинилхлорид, антиокислители и стабилизаторы высокой температуры [5]. Геомембраны используются для строительства накопителей жидких бытовых и промышленных отходов, полигонов твердых бытовых отходов.

Гидроизоляционные работы начинаются с укладки геомембраны на заранее подготовленное и уплотненное основание. Без подготовки основания и удаления острых и крупных включений экран из геомембраны может легко повреждаться фракциями грунта [11]. Для этих целей применяется тканый или нетканый геотекстиль, который способен выдерживать максимальные нагрузки, или выполняется подготовка подушки под экран из песка толщиной 0,2–0,3 м.

Для обеспечения надежности и безопасности многих сооружений [12], входящих в комплекс накопителя, в т. ч. для гидроизоляции особо опасных сооружений, могут использоваться комбинированные конструкции противофильтрационных экранов с применением бентонита [5, 9, 13].

Система противофильтрационного экрана с использованием геомембраны включает следующие основные элементы (рисунок 1, снизу вверх): подготовленное грунтовое и уплотненное основание, уложенное поверх него полотнище нетканого геотекстиля, противофильтрационный элемент из полимерной геомембраны толщиной от 0,2 до 0,5 мм, защитное покрытие из тканого геотекстиля с плотностью ≥ 250 г/м^2, дренажный элемент в виде перфорированной трубы, уложенной в песчаную подушку, фильтрующий элемент (например, дренажные маты), отходы различного назначения.



1 – подготовленное основание; *2* – нетканый геотекстиль; *3* – геомембрана; *4* – геотекстиль; *5* – перфорированная труба; *6* – дренажный слой; *7* – отходы

Рисунок 1 – Конструктивное решение противофильтрационного экрана с использованием геосинтетических материалов

При выполнении таких конструкций геомембранных экранов необходимо соблюдать следующие требования [12]:

1 Грунты в основании или подстилающем слое должны быть практически несуффозионными, т. е. при наличии отверстий в полимерном полотнище допускается вынос фильтрационным потоком частиц в количестве не более 3 % по весу.

2 Проектирование в подпорных сооружениях последующих грунтовых слоев, сопрягающих связные или несвязные грунтовые защитные (подстилающие) слои с грунтом тела сооружения, следует проводить в соответствии с требованиями СП 39.13330.2012 к проектированию плотин из грунтовых материалов [14].

3 Применение естественных крупнозернистых неокатанной формы грунтовых материалов в подстилающем и защитных слоях не допускается. При создании защитных и подстилающих слоев из бетона и железобетона следует принимать меры, исключающие возможность прокола полимерного полотнища по краям бетонных или железобетонных плит или на неровностях бетонной поверхности. С этой целью следует использовать дополнительную прокладку из геотекстильных материалов, обеспечивающих значительное снижение повреждаемости полимерного элемента.

4 Конструкция крепления верхового откоса в зоне воздействия на него волн, льда, плавающих предметов и т. п. должна исключать повреждение защитного покрытия.

5 Толщина полимерного противофильтрационного элемента определяется расчетом на прочность при действии растягивающих напряжений от гидростатического напора в период эксплуатации и на неповреждаемость в строительный и эксплуатационный период.

Приведенные ниже расчетные формулы справедливы для полиэтилена. При использовании другого материала может потребоваться дополнительное обоснование конструкции.

6 Толщину геомембранного противофильтрационного элемента ($\delta_{гм}$), исходя из условия обеспечения сплошности (неповреждаемости), определяем по следующей формуле, мм [5, 6]:

$$\delta_{гм} = \frac{16 q d_{ф} K_{ф} K_{д}}{E K_{п}}, \qquad (1)$$

где q – нагрузка, принимаемая как большее из двух значений: в строительный или эксплуатационный период;

E – модуль упругости полимера, МПа;

$d_{ф}$ – минимальный размер максимальной фракции грунта, мм;

$K_{ф}$ – коэффициент формы грунтовых частиц: при хорошей окатанности $K_{ф} = 1$, при наличии остроугольных зерен $K_{ф} = 2$;

$K_{д}$ – динамический коэффициент, принимаемый в зависимости от характера воздействия и типа применяемого механизма при отсыпке грунтового защитного слоя: для автомобиля $K_{д} = 1{,}1$, бульдозера – $K_{д} = 2{,}0$, катков статического действия – $K_{д} = 1{,}0$, виброкатков – $K_{д} = 1{,}3$;

$K_{п}$ – коэффициент эффективности защитных прокладок (при их отсутствии $K_{п} = 1$).

7 При расчете на прочность от действия гидростатического напора в зависимости от соотношения толщины полотнища ($\delta_{гм}$) и диаметра пор грунта ($d_{п}$) выбирается следующая схема:

- элемент работает как плита на сплошном основании, если $\delta_{гм} > 1/3 d_{п}$;
- элемент работает как безбалочная плита на дискретном основании при $1/5 d_{п} < \delta_{гм} \le 1/3 d_{п}$;
- элемент работает как мембрана при $\delta_{гм} \le d_{п}$.

Окончательную толщину противофильтрационного элемента из полимерной геомембраны рекомендуется принимать не менее 0,2 мм.

Рассмотрим пример расчета толщины противофильтрационного элемента из полимерной геомембраны для представленной конструкции экрана.

1 Исходные данные для расчетов приняты с учетом приведенных в рекомендациях АКХ им. К. Д. Памфилова [6]: $q = 0{,}5$ МПа; $d_{ф} = 5$ мм; $K_{ф} = 1$; $K_{Д} = 2$; $E = 120$ МПа; $K_{п} = 2$.

2 По формуле (1) определяем толщину противофильтрационного элемента ($\delta_{гм}$):

$$\delta_{гм} = \frac{16 \cdot 0{,}5 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 2}{120 \cdot 2} = 0{,}33 \text{ мм.}$$

3 Согласно выполненному расчету для приведенной на рисунке 1 конструкции противофильтрационно-дренажного экрана принимаем гладкую геомембрану с толщиной полимерного элемента, составляющей 0,3 мм.

4 В соответствии с расчетной толщиной ($\delta_{гм} = 0{,}3$ мм) производим подбор марки и типа геомембраны в зависимости от стоимостных и физико-механических характеристик.

5 Принимаем полимерную геомембрану марки GP из полиэтилена высокого давления (ПЭВД), физико-механические характеристики которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики гладкой полимерной геомембраны марки GP

Наименование показателя	Тип материала (ПЭВД)			
Толщина, мм	1,00	1,50	2,00	3,00
Содержание углерода, %	2,0–2,2			
Прочность при разрыве, кН/м	27	40	53	80
Относительное удлинение при разрыве, %	700			
Прочность на прокол, Н	320	480	640	960
Сопротивление раздиру, Н	125	187	249	374
Потеря прочности после 30 циклов замораживания-оттаивания, %	10			
Стойкость к растрескиванию на стержне диаметром 10 мм при $t = -60$ °С, ч	> 1000			

6 По данным исследований, прогнозный срок службы противофильтрационных экранов на накопителях отходов с геомембранами составляет 50–60 лет [5, 6, 8].

Таким образом, противофильтрационная эффективность на накопителях отходов и исключение загрязнения подземных и грунтовых вод могут быть достигнуты за счет применения современных геосинтетических материалов, укладываемых в основании полигонов при их строительстве и на поверхности – при консервации.

Список использованных источников

1 ГОСТ Р 56598-2015. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Общие требования к полигонам для захоронения отходов. – Введ. 2015-09-30. – М.: Стандартинформ, 2015. – 33 с.

2 Бартоломей, А. А. Основы проектирования и строительства хранилищ отходов: учеб. пособие / А. А. Бартоломей, Х. Брандл, А. Б. Пономарев. – М.: АСВ, 2004. – 144 с.

3 Ашихмина, Т. В. Загрязнение окружающей среды при депонировании твердых бытовых отходов / Т. В. Ашихмина, Т. В. Овчинникова, В. И. Федянин // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 7. – С. 78–80.

4 Надежность накопителей промышленных отходов / С. В. Сольский, Д. В. Стефанишин, О. М. Финагенов, С. Г. Шульман. – СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2006. – 299 с.

5 Косиченко, Ю. М. Рекомендации по применению геосинтетических материалов для противофильтрационных экранов каналов, водоемов и накопителей / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2014. – 64 с. – Деп. в ВИНИТИ 12.01.15, № 1-В2015.

6 Рекомендации по проектированию и строительству противофильтрационных

устройств из полимерных рулонных материалов. − СПб.: АКХ им. К. Д. Памфилова, 1999. − 40 с.

7 Скляренко, Е. О. Совершенствование инженерной защиты грунтовых вод от загрязнения фильтратом накопителей промышленных отходов: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.07 / Скляренко Елена Олеговна. – Новочеркасск, 2008. – 23 с.

8 Косиченко, Ю. М. Оценка водопроницаемости бетонопленочной облицовки с закольматированными швами при длительной эксплуатации каналов / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз // Вестник МГСУ. – 2016. – № 7. – С. 114–133.

9 Косиченко, Ю. М. Математическое и физическое моделирование фильтрации через малые повреждения противофильтрационных устройств из полимерных геомембран / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2014. – Т. 274. – С. 60–74.

10 Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов: согласована Мособлкомприродой 05.02.1997. – М., 1997. – 39 с.

11 Баев, О. А. Применение планирования эксперимента для изучения водопроницаемости экрана из геомембраны / О. А. Баев // Природообустройство. – 2014. – № 3. – С. 46–51.

12 Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, О. А. Баев, Е. Д. Михайлов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.

13 Ищенко, А. В. Конструктивные схемы противофильтрационной защиты накопителей отходов и фильтрационные расчеты их эффективности / А. В. Ищенко, Е. О. Скляренко // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 3. – С. 21–25.

14 Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84: СП 39.13330.2012: введ. в действие с 01.01.13. – М.: Минрегион России, 2012. – 70 с.

УДК 627.15:631.459.2

А. И. Тищенко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С МЕСТНЫМИ РАЗМЫВАМИ ОТВОДЯЩЕГО РУСЛА ЗА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ НА КАНАЛАХ МЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ

Целью исследований являлось обоснование путей решения проблемы борьбы с местными размывами отводящего русла за гидротехническими сооружениями на каналах мелиоративной сети. Исследования базировались на анализе работ ряда авторов, посвященных изучению местных размывов и выработке рекомендаций по расчету глубины воронки размыва, а также разработке конструкций гасителей избыточной энергии потока. Результатом анализа этих работ и исследований автора явилась разработка новой конструкции сопрягающего сооружения, которое надежно и эффективно может работать в горных и предгорных зонах Российской Федерации. Основной вывод: необходимо разрабатывать новые конструкции и элементы конструкций для проектируемых гидротехнических сооружений на каналах мелиоративной сети.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, местные размывы, конструкции, гасители избыточной энергии потока, надежность, эффективность.

****

A. I. Tishchenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE WAYS OF SOLUTION THE PROBLEM OF LOCAL EROSION CONTROL OF THE DIVERSION CANAL BEHIND HYDRAULIC STRUCTIONS ON IRRIGATION CANALS

The purpose of the research was to substantiate ways to solve the problem of local erosion control on the diversion canal behind hydraulic structures on reclamation network canals. The studies were based on the analysis of works dedicated to the study of local erosion by some authors and the development of recommendations for calculating the depth of erosion pools, as well as the design of absorbers of the flow excess energy. The result of the analysis of these papers and the author's research was the development of a new design of the grade control structure, which can work reliably and efficiently in the mountainous and foothill zones of the Russian Federation. The main conclusion is the following - it is necessary to develop new designs and structural elements for the designed hydraulic structures on reclamation network canals.

Key words: hydraulic structures, local erosion, design, absorbers of the flow excess energy, reliability, efficiency.

Введение. На протяжении всего периода развития и совершенствования гидротехнических мероприятий на мелиоративных комплексах перед учеными России и зарубежных стран стоит важная проблема – обеспечение устойчивости нижнего бьефа гидротехнических сооружений к местным размывам. Имеется значительное количество примеров разрушения гидротехнических сооружений в результате образования местных размывов в нижнем бьефе [1–9]. Проблема долговременной жизнедеятельности сетевых гидротехнических сооружений с незапамятных времен занимала умы ученых, инженеров-гидротехников, проектировщиков, строителей, эксплуатационников. Некоторые отдельные гидротехнические сооружения (акведуки, водозаборные), построенные в Китае до 5000 г. до н. э., функционируют и в настоящее время. Этот факт говорит о важности гидротехнических сооружений для человеческой цивилизации. Несомненно, изучение вопросов устойчивости нижнего бьефа сетевых сооружений является одним из основных направлений в решении проблемы надежности работы гидротехнических сооружений. Непосредственно этой проблеме посвящены работы Ц. Е. Мирцхулавы [10, 11], С. М. Васильева [12], В. Н. Щедрина [13, 14], Ю. М. Косиченко [15–17] и некоторых других авторов [18–20].

Материал и методы. Причиной образования местных размывов является неравномерность распределения скоростей потока в отводящем русле в результате стеснения водотока гидротехническим сооружением. Материалом данной статьи явились результаты многочисленных исследований автора на сетевых гидротехнических сооружениях мелиоративных систем Ростовской области, Ставропольского и Краснодарского краев, Северной Осетии – Алании, Кабардино-Балкарии, Дагестана, Чечни и др.

Методы исследований обосновывались при выполнении геодезических и гидравлических работ на натурных объектах и лабораторных опытов на моделях гидротехнических сооружений. При обработке полученных материалов составлялись таблицы, строились графики зависимости искомой величины от параметров, участвующих в образовании местных размывов.

Результаты и обсуждение. При выполнении натурных исследований фиксировалось состояние нижнего бьефа за сооружениями фотографированием с различных ракурсов (рисунок 1), и производились записи в полевой журнал характерных повреждений крепления отводящего русла, а также и в земляном водотоке.

При выполнении лабораторных исследований на жестких моделях гидротехнических сооружений (рисунок 2) производились опыты по изучению гидравлики потока в плане и скоростной структуры на вертикалях в намеченных створах.

На размываемых моделях опыты проводились для определения геометрических параметров (глубины, ширины, длины) воронки местного размыва (рисунок 3).

Рисунок 1 – Состояние нижнего бьефа консольного водосбросного сооружения на Левой ветви Право-Егорлыкского канала в Ставропольском крае

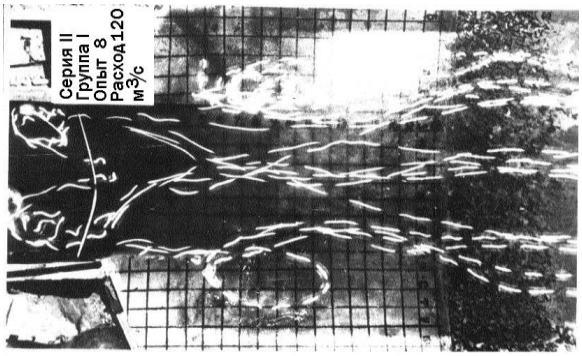


Рисунок 2 – Модель трехпролетного регулятора напора ШР-0. Выявление водоворотных зон в нижнем бьефе при помощи светящихся поплавков

Знаки «минус» на бирках указывают глубину размыва (см) на модели.

Рисунок 3 – Деформация русла и крепления из камня в нижнем бьефе модели сооружения при пропуске максимальных расходов

Обработка материалов натурных обследований и исследований и лабораторных исследований позволила обобщить факторы, участвующие в образовании местных размывов за сетевыми гидротехническими сооружениями, и с помощью теорий подобия, размерностей и планирования эксперимента получить полуэмпирическую зависимость для прогнозирования глубины воронки местного размыва в нижнем бьефе сетевых гидротехнических сооружений. Научная новизна выполненных исследований состоит в получении зависимости, в которой учитывается большинство основных факторов, влияющих на размыв земляного русла, в т. ч. и влияние конструкции сопряжения водобойной части сооружения с откосами отводящего русла. Вид этой зависимости следующий:

$$T = K_c h_{кр}\left[0{,}38 + 0{,}66\frac{1}{f}\left(\frac{\gamma_{гр} - \gamma_o}{\gamma_o}\right) + 0{,}08\frac{V_{пр}}{V_{\Delta H}} + 0{,}14\frac{1}{f}\left(\frac{\gamma_{гр} - \gamma_o}{\gamma_o}\right)\frac{V_{пр}}{V_{\Delta H}}\right],$$

где T – глубина воронки местного размыва в земляном русле, м;

K_c – коэффициент, учитывающий конструкцию сопряжения водобойной части сооружения с откосами отводящего русла, безразмерный;

$h_{кр}$ – критическая глубина потока в конце водобойной части сооружения, определяется по формуле:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}},$$

где α – корректив кинетической энергии потока (коэффициент Кориолиса), принимается α = 1,0…1,1;

Q – расход жидкости, пропускаемый через сооружение, м^3/с;

g – ускорение силы тяжести (свободного падения), $g = 9{,}81$ м/с^2;

b – ширина водобойной части сооружения, м;

f – коэффициент трения грунта по грунту или коэффициент выступов эквивалентной шероховатости, безразмерный, принимается по рекомендациям Ц. Е. Мирцхулавы [6, 9–11] и автора [18–20];

$\gamma_{гр}$ – удельный вес грунта во влажном состоянии, кН/м^3 ($\gamma_{гр} = \rho_{гр} \cdot g$);

γ_o – удельный вес воды, $\gamma_o = \rho \cdot g = 9{,}81$ кН/м^3;

$\rho_{гр}$, ρ – соответственно плотность грунта и воды, кН/м^3;

$V_{пр}$ – скорость в придонном слое по динамической оси потока;

$V_{\Delta H}$ – допускаемая неразмывающая скорость для грунта отводящего русла, определяется по рекомендациям Ц. Е. Мирцхулавы [6, 9−11], ГОСТов и др. нормативных документов.

По материалам наших исследований, для сооружений мелиоративных систем с критерием бурности (Фруда) Fr = 0,0406…0,264 и коэффициентом внезапного расширения потока β формула для определения скорости в придонном слое по динамической оси потока имеет следующий вид:

$$V_{пр} = Б\frac{2{,}55V\sqrt{h_{кр}}}{\sqrt{x} + 2\sqrt{h_{кр}}},$$

где Б – эмпирический коэффициент, зависящий от коэффициента внезапного расширения потока $\beta = 2{,}17...7{,}45$, определяется по формуле:

$$Б = 1{,}38\sqrt{\beta}\ell g\beta;$$

V – средняя скорость в живом сечении потока в рассматриваемом створе, м/с;

x – расстояние от сжатого сечения до рассматриваемого створа, м.

Коэффициент внезапного расширения (растекания) потока можно определить по формуле:

$$\beta = B / \sum b,$$

где B – ширина потока по верху в рассматриваемом сечении;

$\sum b$ – ширина работающего пролета(ов) в створе затвора(ов), м.

Числовые значения коэффициента, учитывающего конструкцию сопряжения водобойной части сооружения с откосами отводящего русла, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента сопряжения K_c

Конструкция выходного оголовка	Значение коэффициента K_c
Обратная стенка	1,14
Ныряющая стенка	1,00
Раструб с углом роспуска 20°	0,71
Косые плоскости	0,64

Помимо получения расчетной зависимости в процессе наших исследований были разработаны конструкции высокоэффективного гасителя избыточной кинетической энергии потока и нового сопрягающего сооружения, которое надежно и эффективно может работать в горных и предгорных зонах Российской Федерации.

Выводы. Анализ материалов выполненных исследований и обследований на сетевых сооружениях Южного федерального округа позволяет сделать следующие выводы.

1 При эксплуатации сооружений в их нижних бьефах возникает неблагоприятный гидравлический режим (волнообразование), в результате чего сильно разрушается крепление рисбермы и земляных каналов за ней.

2 Для предупреждения размывов грунта в начале крепления понура, выполненного из каменной мостовой, и вымывания грунта из-под железобетонных плит рекомендуется применять устройство призмы из мелкого камня шириной по верху до 50 см, глубиной 25–30 см.

3 В тех же целях в конце крепления рисбермы желательно применять устройство зуба из железобетонной плиты на ребро с заглублением ее в грунт до 50–100 см.

4 Не допускать нарушений технологии строительства из монолитного железобетона, в частности соблюдать водонепроницаемость и эластичность деформационных швов путем устройства шпонок, укладки шпоночной резины и др.

5 Как одну из форм предупреждения деформаций крепления из плит рекомендуем устройство «гибкого крепления» из железобетонных плит (ПБЗГУ-405) у входной части и на рисберме сооружений.

6 Основной вывод: необходимо разрабатывать новые конструкции сооружений и их элементов для проектных организаций гидромелиоративного направления.

Список использованных источников

1 Аварии, повреждения и ремонт гидротехнических сооружений в СССР. Аннотированный библиографический указатель отечественной литературы за период 1930–1968 гг. – Л.: ВНИИГ, 1971.

2 Бабаджанова, Ш. А. Местный размыв за сооружениями на каналах с горизонтальным креплением: автореф. дис. … канд. техн. наук / Бабаджанова Ш. А. – Ташкент, 1972. – 28 с.

3 Волков, И. М. К расчету глубины воронки размыва за горизонтальным креплением регулирующих сооружений на каналах / И. М. Волков, И. Х. Овчаренко, А. И. Тищенко // Научные исследования по гидротехнике в 1972 г. – Л.: Энергия, 1973. – Т. 1. – С. 415–417.

4 Вызго, М. С. Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями / М. С. Вызго. – Ташкент, 1966. – 292 с.

5 Дмитриев, А. Ф. Определение глубины воронки размыва в нижнем бьефе лесосплавных плотин / А. Ф. Дмитриев // Первоначальный сплав древесины. Труды ВНИИ лесосплава. – М.: Леспромиздат, 1972. – С. 134–140.

6 Мирцхулава, Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1967. – 180 с.

7 Часов, Ш. Местные размывы за перегораживающими сооружениями на Каракумском канале и способы защиты от них: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.07 / Часов Ширы. – Ашхабад, 1973. – 25 с.

8 Bos, M. G. Flow measuring flumes in open channel systems / M. G. Bos, S. A. Replogle, A. J. Clemmens. – New York – Chichester – Brisbane – Toronto – Singapore: John Wiley and Sons, 1984. – 321 p.

9 Mirtskhulava, Ts. E. Prognosis of Longitudinal Equilibrium Ultimate Profile and Changes in Bed Morphological Character in Cohesive Soils / Ts. E. Mirtskhulava // International Assoc. for Hydraulic Research. – Japan, 1969. – Vol. 5-1. – P. 261–263.

10 Мирцхулава, Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1974. – 280 с.

11 Мирцхулава, Ц. Е. О критериях надежности при проектировании гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава // Доклады ВАСХНИЛ. – 1972. – № 2. – С. 39–41.

12 Васильев, С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Васильев Сергей Михайлович. – Волгоград, 2006. – 35 с.

13 Щедрин, В. Н. Повышение эффективности управления водораспределением и совершенствование конструкций открытых оросительных систем: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Щедрин Вячеслав Николаевич. – Новочеркасск, 1995. – 56 с.

14 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2004. – 388 с.

15 Косиченко, Ю. М. Вопросы безопасности и эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / Ю. М. Косиченко // Природообустройство. – 2008. – № 3. – С. 67–71.

16 Пат. 2141552 Российская Федерация, МПК Е 02 В 7/02. Подпорно-аэрационное регулирующее сооружение и способ его возведения / Кашарина Т. П., Кашарин Д. В., Волошков В. М., Косиченко Ю. М.; заявители и патентообладатели Юж. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации; Ростовводэксплуатация. – № 96121488/13; заявл. 30.10.96; опубл 20.11.99.

17 Косиченко, Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Ю. М. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 2(6). – С. 86–94. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec108-field6.pdf.

18 Тищенко, А. И. Сетевые гидротехнические сооружения: монография / А. И. Тищенко. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2008. – 247 с.

19 Тищенко, А. И. Проблема продления жизненных ресурсов сетевых гидротехнических сооружений / А. И. Тищенко // Интеграция науки и образования – стратегия устойчивого развития водно-мелиоративного комплекса страны: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию выпуска первого мелиоратора России, г. Новочеркасск, 29–30 мая 2013 г. / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2013. – С. 163–166.

20 Тищенко, А. И. Обеспечение надежной работы сбросных гидротехнических сооружений / А. И. Тищенко // Техносферная безопасность, надежность, качество, энергоснабжение: материалы 14-й Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2012. – Вып. 14, т. 3. – С. 156–161.

УДК 626.88

О. А. Баев
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ КАНАЛОВ

В статье рассматривается расчетная оценка обеспечения надежности, безопасности и долговечности противофильтрационных покрытий каналов гидромелиоративных систем. Приводится актуальность исследования, заключающаяся в значительных потерях воды на фильтрацию на необлицованных каналах и образовании аварийных ситуаций на сооружениях, выполненных без противофильтрационных устройств. Используя теорему, основанную на методе Байеса, выполнили расчеты эксплуатационной надежности противофильтрационных покрытий из геосинтетических материалов. На основе теории Райса проведены расчеты и построен график прогнозного срока службы геокомпозитов, использование которого позволяет определять их долговечность и подбирать приемлемые характеристики противофильтрационных устройств.

Ключевые слова: надежность, безопасность, долговечность, противофильтрационное покрытие, канал, геомембрана, геокомпозит, метод Баейса, вероятность отказа.

****

O. A. Baev
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

RELIABILITY AND DURABILITY ASSESMENT OF IMPERVIOUS CANAL LINING

The estimated assessment of ensuring reliability, safety and durability of irrigation and drainage systems membranes is considered. The urgency of the research, that consists in significant canal seepage losses in unlined canals and the formation of emergency situations on structures made without seepage-control linings is given. Using the theorem based on the Bayesian method the operational reliability of impervious coatings from geosynthetic materials is calculated. The calculations were carried out on the basis of the Ryce theory and a graph of the forecast service life of geocomposites the use of which allows determine their durability and select acceptable characteristics of seepage-control devices was constructed.

Key words: reliability, safety, durability, impervious lining, canal, geomembrane, geocomposite, Bayesian method, failure probability.

Введение. При эксплуатации гидротехнических сооружений, в частности каналов гидромелиоративных систем и водоемов (особенно выполненных без противофильтрационных покрытий), одним из основных вопросов становится проблема обеспечения их надежности и долговечности. От надежности работы отдельных конструктивных элементов зависит безопасность всех сооружений, прилегающих территорий и строений.

Под надежностью понимается свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения, транспортирования [1].

Основные вопросы надежности крупных каналов освящены в работе Ц. Е. Мирцхулавы [1]. Дальнейшее развитие методов оценки надежности сооружений мелиоративных систем детально приведено в исследованиях Ю. М. Косиченко,

В. Н. Щедрина, А. В. Колганова [2], А. И. Тищенко [3, 4] и в ряде других работ различных авторов. Особое внимание вероятностной оценке надежности и безопасности грунтовых гидротехнических сооружений в рамках системного подхода уделено в работах ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева (Е. Н. Беллендира, Д. А. Ивашинцова, Д. В. Стефанишина, А. Б. Векслера [5, 6]).

К каналам гидромелиоративных систем должны предъявляться следующие основные требования: достаточная пропускная способность, бесперебойное питание водой водопотребителя, минимальные фильтрационные и технические потери, безопасность работы, возможность аварийного опорожнения канала, минимальные затраты на строительство и некоторые другие [7]. При эксплуатации каналов также не должны возникать русловые деформации, способные изменить первоначальные их формы и параметры [1].

Следует отметить, что в Российской Федерации общая протяженность всех каналов гидромелиоративных систем, находящихся в федеральной собственности, составляет более 42700 км, 80–85 % из которых выполнены в земляном русле без гидроизоляции. Это приводит не только к значительным потерям воды на фильтрацию, составляющим до 30–40 % от водозабора (а это порядка 4,8 км^3/год), но и к ряду других негативных явлений – создаются аварийные ситуации, связанные с возможным размывом откосов и дамб, образованием проранов, подтоплением и заболачиванием прилегающих территорий.

Необходимо отметить и тот факт, что в последние 5–7 лет и по сегодняшний день ведется значительная работа по реконструкции крупных каналов гидромелиоративных систем (например, наиболее опасных участков Донского магистрального и Пролетарского каналов), а согласно ФЦП [8] только в Южном федеральном округе реконструкция должна быть выполнена более чем на 10 каналах, что, по данным ФЦП, позволит предотвратить выход из строя около 200170 га сельскохозяйственных угодий. Несмотря на ряд принятых мер (в т. ч. по строительству и реконструкции противофильтрационных экранов), наблюдаются случаи значительной фильтрации через дно и откосы сооружений, подтопления приканальных территорий, а согласно Ц. Е. Мирцхулаве [1] эффективная эксплуатация любого крупного канала возможна лишь при обеспечении достаточной надежности его работы.

Основными причинами ненадежной работы каналов являются следующие [1, 2]:

- отказы, обусловленные ошибками при проектировании (неправильный выбор конструкции, технических, расчетных параметров, оптимального варианта);
- отказы, вызванные техническими недостатками в период строительства каналов (нарушение технологии строительства, повреждения элементов во время строительства);
- отказы, появляющиеся при нарушении требуемых режимов эксплуатации каналов гидромелиоративных систем и технологии ухода за ними.

Поскольку в последние годы при строительстве противофильтрационных покрытий на каналах гидромелиоративных систем по различным обстоятельствам не применяются пленочные, асфальтобетонные и глинистые экраны, а все большее применение находят современные строительные материалы – геосинтетические и геокомпозитные, проведем оценку их надежности и долговечности применительно к конструкциям противофильтрационных устройств каналов. Такие материалы подразделяются на водонепроницаемые (полимерные геомембраны, бентонитовые и бетонные маты), водопроницаемые (геотекстили, георешетки и геосетки, дренажные маты) и некоторые другие материалы [9, 10]. При этом сочетание нескольких таких материалов в единое целое (композит) позволяет создавать высокоэффективные конструкции противофильтрационных и дренажных устройств, обеспечивающие повышенную надежность и долговечность, а также снижение их повреждаемости в 5–10 раз и, соответственно, водопроницаемости на 1–2 порядка [10].

Материалы и методы. Основываясь на ранее известных методах оценки надежности, изложенных в работах И. А. Биргера, Ю. М. Косиченко и др. [11, 12], используем одну из основных теорем элементарной теории вероятности, основанную на методе Байеса, которая позволяет определить вероятность какого-либо события (диагноза).

С целью исследования работоспособности противофильтрационных материалов в конструкциях покрытий каналов гидромелиоративных систем рассмотрим критерии их надежности на основе методов теории надежности и теории фильтрации [13, 14].

Результаты и обсуждение. В качестве критериев технической эффективности и эксплуатационной надежности противофильтрационных покрытий из геомембранных композиций автором предлагаются следующие:

- по водонепроницаемости геомембранных композиций:

$$k'_{\text{гм}} \le k'_{\text{гм.доп}}; \quad (1)$$

- по прочности геомембранных композиций:

$$\sigma_{\text{гм}} \ge \sigma_{\text{гм.доп}}; \quad (2)$$

- по долговечности (сроку службы) покрытий из геомембранных композиций:

$$\tau_{\text{гм}} \ge \tau_{\text{гм.нор}}; \quad (3)$$

- по вероятности безотказной работы покрытий из геомембранных композиций:

$$P_{\text{гм}} \ge P_{\text{гм.доп}}, \quad (4)$$

где $k'_{\text{гм}}$ и $k'_{\text{гм.доп}}$ – соответственно осредненный по данным исследований и расчетов и допускаемый коэффициент фильтрации покрытия из геомембранных композиций;

$\sigma_{\text{гм}}$ и $\sigma_{\text{гм.доп}}$ – соответственно прочность геомембранных композиций при растяжении по данным испытаний и нормам;

$\tau_{\text{гм}}$ и $\tau_{\text{гм.нор}}$ – соответственно срок службы покрытия из геомембранных композиций по данным наблюдений и по нормам;

$P_{\text{гм}}$ и $P_{\text{гм.доп}}$ – соответственно расчетная и нормативная вероятность безотказной работы покрытия из геомембранных композиций.

Для оценки эффективности и надежности покрытия из геомембранной композиции по критерию (1) необходимо определить показатель водонепроницаемости ($k'_{\text{гм}}$).

Показатель водонепроницаемости покрытий из геомембранных композиций ($k'_{\text{гм}}$) может быть найден по данным испытаний в натурных условиях или по расчетным зависимостям, полученным в результате математического решения задач методами теории фильтрации с использованием теории функций комплексного переменного и конформных отображений. На основании проведенных теоретических выводов Ю. М. Косиченко и О. А. Баевым получены расчетные зависимости, представленные в предыдущих работах [10, 12].

При оценке надежности геомембранных композиций по критерию (2) необходимо найти прочность (напряжение) в геомембране при ее растяжении. В соответствии с рекомендациями по определению требуемой толщины полимерного противофильтрационного элемента в зависимости от гидростатического давления можно найти напряжение при растяжении полимерной геомембраны по зависимости, МПа:

$$\sigma_{\text{гм}} = \sqrt[3]{\frac{\left(0{,}135 \cdot \alpha_{\text{э}} \cdot q_{\text{г}} \cdot d_{\text{ф}}\right)^2 E}{\delta_{\text{гм}}^2}},$$

где $\alpha_{\text{э}}$ – коэффициент эффективности;

$q_{\text{г}}$ – гидростатическое давление, МПа;

$d_{\text{ф}}$ – минимальный размер максимальной фракции грунта, мм;

E – модуль упругости полимерной геомембраны, МПа;

$\delta_{\text{гм}}$ – толщина полимерной геомембраны, мм.

Для расчетной оценки срока службы геомембранной композиции по критерию долговечности (3) предлагается зависимость, учитывающая фактор старения полимера:

$$\sigma_{\text{гм}} = \frac{(-\ln P)}{\nu_{\text{п}}} \exp\left[\frac{\left[\Pi_{\text{доп}} - (\Pi_{\tau}/K_{\varepsilon})\right]^2}{2m_{\Pi_{\tau}^2}}\right],$$

где P – вероятность безотказной работы полимерной геомембраны;

$\nu_{\text{п}}$ – средняя частота выбросов за средний уровень допускаемой поврежденности;

$\Pi_{\text{доп}}$ и Π_{τ} – соответственно повреждаемость геомембраны допустимая и по данным наблюдений за время эксплуатации (τ);

$K_{\varepsilon} = \varepsilon_{\tau}/\varepsilon_{\text{о}}$ – коэффициент старения полимера;

ε_{τ} и $\varepsilon_{\text{о}}$ – относительное удлинение геомембраны при сроке эксплуатации (τ) и первоначальное;

$m_{\Pi_{\tau}}$ – среднеквадратическое отклонение повреждаемости геомембраны.

Для оценки надежности по критерию (4) необходимо определение одного из основных показателей надежности – вероятности безотказной работы ($P_{\text{гм}}$).

Рассмотрим определение показателя $P_{\text{гм}}$ при условии последовательного соединения основных элементов противофильтрационного покрытия – противофильтрационного элемента из геомембраны, защитного покрытия из грунта или бетона, защитного слоя из тканого или нетканого геотекстиля и грунтового основания. Тогда общая зависимость вероятности безотказной работы противофильтрационного покрытия с учетом статистической связи между элементами (когда при отказе защитного слоя возможен отказ противофильтрационного элемента) может быть представлена в следующем виде:

$$P_{\text{гм}} = \prod_{i=1}^{4} P_i + \left(P_{\min} - \prod_{i=1}^{4} P_i\right) \cdot K_N,$$

где P_i – вероятность безотказной работы покрытия, включающего четыре элемента (защитное покрытие, геомембрану, геотекстиль и грунтовое основание);

$P_{\min}$ – минимальное значение из вероятности безотказной работы (P_i);

K_N – коэффициент, учитывающий статистическую взаимосвязь между отказами основных элементов противофильтрационного покрытия.

Для получения расчетной оценки эксплуатационной надежности противофильтрационного покрытия из геомембранной композиции используем известную в теории надежности [11] формулу Байеса в развернутом виде:

$$P(D_i/K_1 \cdot K_2) = [P(K_1/D_i)P(K_2/D_i)]/[P(D_1)P(K_1/D_1) \cdot P(K_2/D_1) + P(D_2)P(K_1/D_2) \times,$$
$$\times P(K_2/D_2 + P(D_3)) \cdot P(K_1/D_3) \cdot P(K_2/D_3) + \cdot P(D_4) \cdot P(K_1/D_4) \cdot P(K_2/D_4)],$$

где $P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза D_i;

$P(K_i/D_i)$ – условная вероятность признака K_i у объектов с состоянием D_i.

Используя полученную расчетную зависимость, построим график прогнозного срока службы геокомпозитных материалов (рисунок 1), который позволяет определить их долговечность и выделить приемлемые характеристики покрытий, соответствующие требованиям к гидротехническим сооружениям (заштрихованная область на графике).

В таблице 1 рассмотрены следующие диагнозы (состояния) для геокомпозитных материалов [15]: D_1 – образование в противофильтрационном элементе сквозных механических повреждений; D_2 – деформации основания; D_3 – изменение прочности вследствие старения материала; D_4 – нормальное (безотказное) состояние материала. При этом в процессе наблюдений определяются следующие диагностические признаки: K_1 – показатель водонепроницаемости геокомпозита; K_2 – показатель прочности геокомпозита.

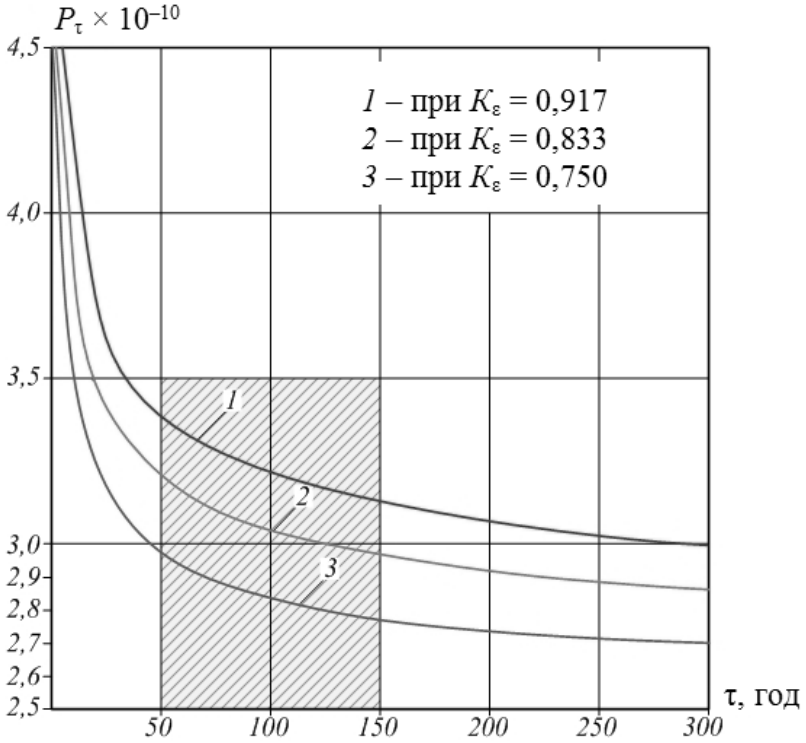


Рисунок 1 – График срока службы геокомпозитных материалов в конструкциях покрытий каналов в зависимости от повреждаемости и коэффициента старения

Таблица 1 – Результаты оценки надежности различных типов геокомпозитных материалов в конструкциях противофильтрационных устройств

Диагноз (состояние) D_j	Тип материала покрытия	Интенсивность λ_j, 1/год	Вероятность признака и априорного состояния			Вероятность появления диагноза (состояния) $P(D_j / K_1K_2)$
			$P(K_1 / D_j)$	$P(K_2 / D_j)$	$P(D_j)$	
D_1	ГМ	$1{,}0\cdot10^{-3}$	0,30	0,20	$0{,}38\cdot10^{-3}$	0,0125
	ГМ + ГТ	$0{,}53\cdot10^{-3}$	0,25	0,20	$0{,}11\cdot10^{-3}$	0,0026
	ГКМ	$0{,}27\cdot10^{-3}$	0,20	0,15	$0{,}03\cdot10^{-3}$	0,00033
D_2	ГМ	$1{,}07\cdot10^{-2}$	0,70	0,60	$0{,}375\cdot10^{-2}$	0,380
	ГМ + ГТ	$1{,}0\cdot10^{-3}$	0,30	0,25	$0{,}2\cdot10^{-3}$	0,0097
	ГКМ	$0{,}5\cdot10^{-3}$	0,20	0,15	$0{,}025\cdot10^{-3}$	0,00037
D_3	ГМ	$0{,}5\cdot10^{-3}$	0,35	0,25	$0{,}05\cdot10^{-3}$	0,0028
	ГМ + ГТ	$0{,}25\cdot10^{-3}$	0,30	0,15	$0{,}012\cdot10^{-3}$	0,00028
	ГКМ	$0{,}12\cdot10^{-3}$	0,05	0,00	$0{,}007\cdot10^{-3}$	0
D_4	ГМ	–	0,05	0,05	0,9994	0,600
	ГМ + ГТ	–	0,04	0,04	0,9998	0,800
	ГКМ	–	0,05	0,05	0,9999	0,9999
Принятые обозначения покрытий: ГМ – полимерная геомембрана; ГТ – геотекстиль; ГКМ – геокомпозитный материал.						

Согласно существующим требованиям к гидротехническим сооружениям, изложенным в СП 58.13330.2012 [16], срок их службы (и основных элементов) для I–II классов устанавливается не менее 100 лет, а для III–IV классов – не менее 50 лет.

Результаты оценки надежности различных типов покрытий с использованием одно-, двух-, трех- и многослойных геокомпозитов представлены в таблице 1.

Анализ результатов расчета надежности различных типов геокомпозитов, представленных в таблице 1, показал, что для однослойной геомембраны по диагнозам $D_1 - D_3$ расчетная оценка получена более высокой как от образования сквозных повреждений, деформаций основания, так и вследствие снижения ее прочности по причине старения материала. В то же время по диагнозу D_4 для геомембраны получена наименьшая оценка с вероятностью появления диагноза $P = 0{,}600$, что свидетельствует о более высокой степени снижения вероятности нормального (безотказного) состояния.

Геокомпозиты, включающие геомембрану и геотекстиль (ГМ + ГТ) или бентонитовые маты (ГКМ), имеют (по диагнозам $D_1 - D_3$) малую вероятность проявления отказов, а по диагнозу D_4 – высокую оценку появления нормального (безотказного) состояния. При этом наиболее высокая оценка появления безотказного состояния ($P = 0{,}9999$) характерна для геокомпозитного бентонитового мата, что объясняется его высокой надежностью вследствие регенерации возможных (даже небольших) повреждений.

Выводы

1 На основании обобщения опыта применения геосинтетических и геокомпозитных материалов для противофильтрационных покрытий каналов гидромелиоративных систем разработаны критерии их технической эффективности и эксплуатационной надежности по водонепроницаемости, долговечности и вероятности безотказной работы.

2 Результаты оценки надежности противофильтрационных покрытий из геокомпозитных материалов (в сравнении с полимерной геомембраной) показали, что для однослойной геомембраны вероятность появления диагноза составляет $P = 0{,}600$, в то время как для геокомпозитных (трех- и многослойных) материалов по результатам расчета получена высокая оценка появления безотказного состояния ($P = 0{,}9999$).

3 Выполненные натурные, лабораторные и теоретические исследования, посвященные изучению процесса водопроницаемости, регенерации повреждений геокомпозитных материалов, позволяют с уверенностью сделать выводы о том, что многослойные геокомпозиты на основе бентонита с заранее заданными свойствами в настоящее время являются самыми надежными элементами гидротехнических и природоохранных сооружений, обеспечивающими полную водонепроницаемость, повышенную долговечность и безопасность.

Список использованных источников

1 Мирцхулава, Ц. Е. О надежности крупных каналов / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1981. – 318 с.

2 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2004. – 388 с.

3 Тищенко, А. И. Методы повышения надежности гидротехнических сооружений / А. И. Тищенко, О. Г. Мирошникова, Г. Н. Кузьменко // Межвузовский сборник научных трудов / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2004. – С. 136–140.

4 Тищенко, А. И. О мероприятиях, обеспечивающих стабильную и надежную работу гидротехнических сооружений мелиоративных систем / А. И. Тищенко // Материалы научно-практической конференции по итогам работы сотрудников НГМА / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – 2000. – С. 34–36.

5 Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Е. Н. Беллендир, Д. А. Ивашинцов, Д. В. Стефанишин, О. М. Финагенов, С. Г. Шульман. – СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2003. – 524 с.

6 Векслер, А. Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидро-

технических объектов: оценка риска и принятие решений / А. Б. Векслер, Д. А. Ивашинцов, Д. В. Стефанишин. – СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2002. – 592 с.

7 Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 164 с.

8 Федеральная целевая программа «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» (утв. Постановлением Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 922) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:base.garant.ru, 2019.

9 Косиченко, Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Ю. М. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 2(06). – 9 с. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec108-field6.pdf.

10 Косиченко, Ю. М. Математическое и физическое моделирование фильтрации через малые повреждения противофильтрационных устройств из полимерных геомембран / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2014. – Т. 274. – С. 60–74.

11 Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

12 Косиченко, Ю. М. Расчетная оценка надежности конструкций противофильтрационных экранов из геокомпозитов / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2015. – Т. 275. – С. 68–77.

13 Kosichenko, Yu. M. Geo-Composite Materials with Preset Properties and their Application in Hydraulic Engineering Construction / Yu. M. Kosichenko, O. A. Baev // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 284. – P. 970–974.

14 Косиченко, Ю. М. Вопросы безопасности и эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / Ю. М. Косиченко // Природообустройство.– 2008. – № 3. – С. 67–71.

15 Kosichenko, Y. M. Modified geomembrane compositions for hydraulic structure impervious coatings / Y. M. Kosichenko, O. A. Baev // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing III. Materials Science. – 2017. – P. 548–553.

16 Гидротехнические сооружения. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 33-01-2003): СП 58.13330.2012: утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 29.12.11: введ. в действие с 01.01.13. – М.: Минрегион России, 2012. – 39 с.

УДК 631.671

Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, В. Ф. Сильченко, Е. А. Козарезова
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НА ФИЛЬТРАЦИЮ ИЗ МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

Целью исследований является разработка методики расчета потерь при фильтрации из каналов, выполненных в земляном русле, на примере Бурлинского магистрального канала (МК) в Алтайском крае. В качестве исходных данных использовались продольные профили на первом – четвертом бьефах и физико-механические свойства грунтов по трассе Бурлинского МК. Расчеты потерь проводились по формулам свободной и подпертой фильтрации. Результаты расчета показывают, что суммарные потери на фильтрацию при проектном расходе в канале $Q = 36{,}5$ *м*^{3}*/с составляют 0,474 м*^{3}*/с, или 1,3 %, и при расходе* $Q = 10$ *м*^{3}*/с – 0,228 м*^{3}*/с, или 2,3 %. Полученные результаты свидетельствуют о незначительных фильтрационных потерях из канала,*

что обусловлено малой степенью водопроницаемости грунтов основания. В связи с этим в данном случае нецелесообразно применение на Бурлинском МК противофильтрационных облицовок.

Ключевые слова: расчет потерь на фильтрацию, свободная и подпертая фильтрация, магистральный канал.

****

Yu. M. Kosichenko, A. V. Kolganov, V. F. Sil'chenko, E. A. Kozarezova
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE MAIN CANAL SEEPAGE LOSSES CALCULATION

The aim of the research is to develop a methodology for calculating canal seepage losses done in the earthen canal as illustrated by the Burlinskiy Main Canal (MK) in Altai Territory. The longitudinal profiles on the first and fourth pools and the physical-mechanical properties of soils along the Burlinskiy MK highway were used as the initial data. The losses calculations were done using the gravity and backwater filter equations. The calculation results show that the total filtration losses at a design flow rate in the canal of 36.5 m^3/s is 0.474 m^3/s, or 1.3 %, and at a flow rate of 10 m^3/s is 0.228 m^3/s, or 2.3 %. The results obtained suggest slight filtration losses from the canal, which is due to the low degree of soil permeability of foundations. So, to use seepage control lining on Burlinskiy Main Canal in this case is inappropriate.

Key words: canal seepage losses calculation, free and backwater filtration, main canal.

Введение. Фильтрация воды из канала в земляном русле часто приводит к большим потерям воды, достигающим 20–40 % от водозабора, а также вызывает подтопление территорий и подъем уровня грунтовых вод. Различают свободную и подпертую фильтрацию из каналов, установившуюся и неустановившуюся.

Расчетам фильтрации из каналов посвящены работы Н. Н. Павловского [1], С. Ф. Аверьянова [2], В. В. Ведерникова [3], Н. Н. Веригина [4], Ю. М. Косиченко [5, 6] и других авторов. Вопросы эксплуатации магистральных каналов и их эксплуатационной надежности рассматривались в работах В. Н. Щедрина и др. [7, 8].

Свободная фильтрация наблюдается в том случае, когда фильтрационный поток из канала не связан с потоком грунтовых вод. При этом на некоторой глубине залегает сильно проницаемый слой грунта, играющий роль дренажа.

Подпертая фильтрация имеет место при близком залегании грунтовых вод, когда фильтрационный поток взаимодействует с грунтовым.

Установившаяся фильтрация происходит при длительной работе канала, когда скорость и другие параметры фильтрационного потока остаются постоянными. Неустановившаяся фильтрация обычно наблюдается в начальный период работы канала и характеризуется изменением параметров во времени.

Материалы и методы. Для расчета свободной фильтрации из каналов используются следующие формулы согласно рекомендациям С. Ф. Аверьянова [2] и СП 100.13330.2012 [9]:

- формула Б. К. Ризенкампфа (для каналов трапецеидальной формы) при $b/h_0 < 4$:

$$Q_ф = 0{,}0116k\mu(B + 2h_0);$$

- формула В. В. Ведерникова (для каналов трапецеидальной формы) при $b/h_0 > 4$:

$$Q_ф = 0{,}0116k(B + Ah_0);$$

- формула Н. Н. Павловского (для каналов полигональной или параболической формы):

$$Q_ф = 0{,}0116k(B + 2h_0),$$

где $Q_ф$ – расход фильтрационных потерь, м^3/с на 1 км длины канала;

k – коэффициент фильтрации грунта ложа канала, м/сут;

B – ширина канала по верху, м;

h_0 – нормальная глубина воды в канале, м;

A, μ – коэффициенты, определяемые по справочным таблицам в зависимости от m и b/h_0 [9].

В качестве исходных данных при определении коэффициента фильтрации использовались продольные профили с геологическим строением на первом – четвертом бьефах и физико-механические свойства грунтов по трассе Бурлинского МК, представленные в работе Е. Д. Кошелевой, К. Б. Кошелева [10] (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтов геологических слоев трассы Бурлинского МК

Тип грунта слоя продольного профиля	Обозначение слоя	Удельный вес $\gamma_у$, т/м^3	Объемный вес $\gamma_о$, т/м^3	Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$, т/м^3	Пористость n, %	Коэффициент пористости ε	Коэффициент фильтрации $k_ф$, м/сут
Суглинки легкие и средние	10а	2,72	1,90	1,57	41,4	0,723	0,1
Супеси легкие и тяжелые	10б	2,69	1,73	1,64	39,0	0,64	0,3
Супеси легкие, пылеватые	6б	2,75	1,62	1,34	51,0	1,05	0,2
Пески пылеватые	10е	2,67	2,07	1,70	–	0,571	1,5
Суглинки легкие, средние и тяжелые	10в	2,73	1,99	1,60	41,2	0,70	0,05
Глины легкие, пылеватые	11а	2,74	2,00	1,62	40,6	0,686	0,001

Для определения осредненного коэффициента фильтрации слоистой толщи грунтового основания под каналом используем расчетную формулу, рекомендованную в справочном пособии ВНИИ ВОДГЕО [11] для слоистых пластов при фильтрации нормально слоям:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i / k_i},$$

где m_i – мощности i-х слоев, м;

k_i – коэффициенты фильтрации отдельных i-х слоев или участков, м/сут;

В случае подпертой фильтрации из канала расчет проводим по методике Ю. М. Косиченко и Е. Г. Угроватовой [12] с использованием следующих формул:

$$Q_{ф} = T\frac{2\overline{h_k}\cdot L_k}{\Phi_k + \sqrt{\frac{T\cdot z_*}{\xi_п}}},$$

где $Q_{ф}$ – потери при подпертой фильтрации, м^3/сут;

T – средняя проводимость водоносной толщи, м^2/сут:

$$T = k(h_* + \frac{\overline{h_k}}{2}),$$

где k – осредненный коэффициент фильтрации слоистой толщи грунта основания, м/сут;

h_* – глубина уровня грунтовых вод до водоупора, м;

$\overline{h_k}$ – разность уровней воды в канале и уровня грунтовых вод, м, определяемая как:

$$\overline{h_k} = h_k - h_*,$$

где h_k – расстояние от уровня воды в канале до условного водоупора;

L_k – длина участка (бьефа) канала, м;

Φ_k – фильтрационное сопротивление на гидродинамическое несовершенство канала, м, определяемое по формуле:

$$\Phi_k = \Phi'_k + 2\Phi''_k,$$

где Φ'_k и Φ''_k – фильтрационные сопротивления соответственно при безразмерных сопротивлениях f'_k и f''_k:

$$\Phi'_k = h_k f'_k,$$

$$\Phi''_k = h_k f''_k,$$

$$f'_k = \frac{B_k}{2h_k} - 1{,}466\lg ch\frac{\pi B_k}{4h_k},$$

$$f''_k = 0{,}733\lg cth\frac{\pi B_k}{4h_k},$$

где B_k – ширина канала по верху, м;

z_* – глубина залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли, м;

$\xi_п$ – интенсивность испарения с поверхности почвы, м/сут.

Результаты и обсуждение. Расчеты потерь на фильтрацию из Бурлинского МК проводились для трех бьефов при свободной фильтрации и отдельно для четвертого бьефа при свободной фильтрации (для сравнения) – в числителе и для подпертой фильтрации (при глубине залегания грунтовых вод $z_{г.в.}$ = 3,0…5,0 м) – в знаменателе.

В таблице 2 приведены результаты расчетов для двух проектных расходов $Q_н = 36{,}5$ м^3/с и $Q_н = 10{,}0$ м^3/с.

Анализ результатов расчетов показывает, что при расходе $Q_н = 36{,}5$ м^3/с общие потери на фильтрацию из Бурлинского МК во всех четырех бьефах при свободной фильтрации составляют всего 2,3 % от расхода в голове канала, а при подпертой фильтрации потери снижаются до 1,3 % от расхода в канале.

Таблица 2 – Результаты расчета потерь на фильтрацию из Бурлинского МК при проектных режимах работы канала по участкам (бьефам)

Участок канала (бьеф)	Задаваемый параметр по проекту				Расчетный гидравлический параметр					
	b, м	m	B, м	k, м^3/сут	$h_н$, м	L, м	$z_{г.в.}$	T, м^3/сут	$Q_ф$, м^3/с	%
$Q_н$ = 36,5 м^3/с										
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)	5,0	2,5	23,0	0,232	3,60	1100	17,0	–	0,055	0,15
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)	5,0	3,0	26,8	0,102	3,63	6850	15,0	–	0,171	0,47
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)	5,0	3,0	26,8	0,10	3,63	4800	15,0	–	0,190	0,48
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)	5,0	3,0	26,8	0,057	3,63	5500	3,0	1,65	0,077 0,0145	0,21 0,038
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)	10,0	4,0	33,12	0,108	2,89	11930	3,0–5,0	2,75	0,360 0,044	0,38 0,12
Суммарные потери на фильтрацию $\sum Q_ф = \frac{0{,}853}{0{,}474} \approx \frac{2{,}3}{1{,}3}$										
$Q_н$ = 10,0 м^3/с										
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)	5,0	2,5	15,00	0,232	1,99	1100	17,0	–	0,035	0,35
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)	5,0	3,0	17,78	0,102	2,13	6850	15,0	–	0,111	1,11
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)	5,0	3,0	19,04	0,10	2,34	4800	15,0	–	0,082	0,82
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)	5,0	3,0	20,0	0,057	2,50	5500	3,0	1,51	0,056 0,010	0,56 0,10
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)	10,0	4,0	25,5	0,108	1,94	11930	3,0	2,58	0,272 0,020	2,72 0,20
Суммарные потери на фильтрацию $\sum Q_ф = \frac{0{,}556}{0{,}228} \approx \frac{5{,}6}{2{,}3}$										
Примечание – В числителе приведены значения потерь при свободной фильтрации, в знаменателе – при подпертой фильтрации.										

В случае проектного расхода $Q_н$ = 10,0 м^3/с суммарные потери при свободной фильтрации из канала по абсолютной величине снижаются до 0,556 м^3/с против 0,853 м^3/с при расходе $Q_н$ = 36,5 м^3/с, с учетом подпертой фильтрации в четвертом бьефе уменьшаются до 0,228 м^3/с против 0,473 м^3/с для большего проектного расхода. Однако суммарные потери на фильтрацию из Бурлинского МК по отношению к проектному расходу увеличиваются до 5,6 % при свободной фильтрации против 2,3 % при расходе $Q_н$ = 36,5 м^3/с и при подпертой фильтрации до 2,3 % против 1,3 % при $Q_н$ = 36,5 м^3/с.

Таким образом, на основании полученных результатов расчета можно сделать вывод о том, что потери на фильтрацию из канала незначительны и меньше допускаемого предельного значения для категории магистральных каналов, составляющего 10 % от расхода в канале.

Выводы. Проведенные расчеты потерь на фильтрацию из Бурлинского МК свидетельствуют о незначительной величине суммарных потерь, не превышающих 1,3–2,3 % в зависимости от принятого проектного расхода в канале. В связи с этим нецелесообразно применение на канале противофильтрационных облицовок.

Список использованных источников

1 Павловский, Н. Н. Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные положения. Собрание сочинений. Т. 2 / Н. Н. Павловский. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 772 с.

2 Аверьянов, С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод / С. Ф. Аверьянов. – М.: Колос, 1982. – 237 с.

3 Ведерников, В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа / В. В. Ведерников. – М.; Л.: Госстройиздат, 1939. – 248 с.

4 Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / С. В. Васильев [и др.]; под ред. Н. Н. Веригина. – М.: Колос, 1970. – 440 с.

5 Косиченко, Ю. М. Гидравлика мелиоративных каналов / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НИМИ, 1992. – 175 с.

6 Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.

7 Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них: монография / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 361 с.

8 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – М.: Росинформагротех, 2005. – 392 с.

9 Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2016: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. – М.: Стандартинформ, 2016. – 229 с.

10 Кошелева, Е. Д. Компьютерное моделирование взаимодействия грунтовых и поверхностных вод в зоне Бурлинского магистрального канала / Е. Д. Кошелева, К. Б. Кошелев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 238 с.

11 Справочное пособие к СНиП. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / ВНИИ ВОДГЕО. – 1989. – 220 с.

12 Косиченко, Ю. М. Сравнительный анализ применения высоконадежных облицовок для снижения потерь на фильтрацию / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 2(58). – С. 16–21.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 631.11«324»:628.17:631.445.4

Э. А. Гаевая
Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЧЕРНОЗЕМАХ ОБЫКНОВЕННЫХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Целью исследования явилось изучение водопотребления озимой пшеницы на черноземах обыкновенных в зависимости от способов основной обработки почвы. Исследования были проведены в многофакторном стационарном опыте в Аксайском районе Ростовской области в 2014–2018 гг. Опыт был заложен в системе контурно-ландшафтной организации территории склона крутизной до 3,5–4,0° с комплексом гидротехнических приемов и простейших сооружений. Изучали урожайность озимой пшеницы по различным предшественникам и в зависимости от разных обработок почвы и уровней применения удобрений. Урожайность зерна озимой пшеницы, возделываемой по чистому пару, в варианте естественного плодородия была получена в пределах 5 т. Увеличение дозы внесения удобрений до 162 кг д. в./га севооборотной площади сокращает эту разницу до 25,6–26,0 %. Урожайность паровой озимой пшеницы на неудобренных участках была получена больше на 38,5–41,3 %, чем по предшественнику озимая пшеница. Запас доступной влаги в поле чистого пара к моменту посева колеблется от 89 до 94 мм в слое почвы 0–100 см. Озимая пшеница, посеянная по предшественнику озимая пшеница, накапливает влаги на 52,0–62,3 % больше, чем по чистому пару. Коэффициент усвоения осадков холодного периода по чизельной основной обработке на 8,9 % больше, чем по отвальной. При возделывании озимой пшеницы по чистому пару влага расходуется на единицу продукции «экономнее» на 29,8 % в сравнении с озимой пшеницей, размещенной по озимым. Коэффициент водопотребления озимой пшеницы в варианте чизельной основной обработки почвы на 6,1–7,2 м^3/т меньше, чем при отвальной.

Ключевые слова: озимая пшеница, чистый пар, удобрения, обработка почв, коэффициент водопотребления.

****

E. A. Gaevaya
Federal Rostov Agrarian Scientific Center, Rassvet, Russian Federation

WINTER WHEAT WATER CONSUMPTION ON ORDINARY CHERNOZEM DEPENDING ON SOIL CULTIVATION

The purpose of the research was to study the water consumption of winter wheat on ordinary chernozem depending on the methods of primary tillage. The studies were carried out in a multifactorial stationary experience in Aksai district Rostov region in 2014–2018. The experience was carried out in the system of contour-landscape of the slope area up to 3.5–4.0° with the hydrotechnical techniques and simplest structures complex. The winter wheat yield was studied according to various predecessors depending on different soil treatment and the levels of fertilizer application. The yield of winter wheat grain cultivated on a bare fallow in the variant of natural fertility was obtained within limits of 5 tons. Increasing the rate of fertilizer application to 162 kg active gradient/ha of rotation area reduces this difference to 25.6–26.0 %. The yield of winter wheat on bare fallow in non-fertilized areas

was 38.5–41.3 % more than on the predecessor of winter wheat. The available water capacity in the bare fallow field at the time of sowing ranges from 89 to 94 mm in 0–100 cm soil layer. Winter wheat sown on the predecessor winter wheat accumulates 52.0–62.3 % more moisture than on bare fallow. The precipitation conversion ratio during the cold period in chisel-like primary cultivation is 8.9 % more than in the furrow one. In winter wheat cultivation on bare fallow moisture per unit of production is consumed "more economical" by 29.8 % compared with winter wheat cultivated on winter crops. The water use ratio of winter wheat in the variant of chisel primary soil tillage is 6.1–7.2 m^3/t less than with the furrow.

Key words: winter wheat, bare fallow, fertilizers, soil treatment, water use ratio

Введение. Озимая пшеница имеет приоритетное значение, доминирует по посевным площадям, валовым сборам и значению в экономике страны. В Северо-Кавказском регионе в условиях усиления аридизации среды важнейшей задачей земледелия является увеличение продуктивности в лимитированных агроклиматических условиях [1, 2].

В Южном федеральном округе производится более 25 % зерна России. Основная продовольственная культура – озимая пшеница – занимает около трети пашни. Основные ее посевы сконцентрированы в зоне черноземов обыкновенных и южных [3]. Увеличение производства зерна возможно за счет повышения уровня плодородия почвы; применение удобрений и средств защиты растений, а также интенсификация основной обработки почвы обеспечивает существенный рост урожайности озимой пшеницы и повышение качества зерна [4].

Достигнуть высокого уровня урожайности озимой пшеницы помогает структура посевных площадей и строгое соблюдение севооборотов. Преимущество черного пара в севообороте перед другими предшественниками в условиях Ростовской области проявляется в более высокой обеспеченности посевов влагой и, следовательно, в получении высоких урожаев. Хорошую урожайность этой культуры можно получить на склоновых землях в зернопаровых севооборотах с долей черного пара до 20 %. Создание наиболее благоприятных условий для накопления, сохранения и рационального использования влаги атмосферных осадков возможно при выборе оптимального способа и глубины основной обработки почвы [5].

Целью исследования явилось изучение водопотребления озимой пшеницы на черноземах обыкновенных в зависимости от способов основной обработки почвы.

Материалы и методы исследования. Исследования были проведены в многофакторном стационарном опыте на склоне балки Большой Лог Аксайского района Ростовской области в 2014–2018 гг. Опыт был заложен в системе контурно-ландшафтной организации территории склона крутизной до 3,5–4,0° с комплексом гидротехнических приемов и простейших сооружений: валов-канав и валов-террас, позволяющих снизить до безопасных пределов сток талой и ливневой воды и смыв почвы.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке – среднеэродирована. Среднегодовой сток 20 мм (максимальный 34,4 мм). Среднегодовой смыв почвы 18,5 т/га (максимальный 42 т/га). Мощность $А_{пах}$ – 25–30 см, А + Б – от 30 до 60 см в зависимости от смытости. Порозность пахотного горизонта – 61,5 %, подпахотного – 54 %. НВ – 33–35 весовых процентов, влажность завядания – 13,4 %.

Климат зоны проведения исследований засушливый, умеренно жаркий, континентальный. Среднее многолетнее количество осадков 492 мм, распределение их в агрономической оценке часто (3,7 года из каждых 10) малоблагоприятное. Среднегодовая температура 8,8 °С, средняя температура января минус 6,6 °С, июля плюс 23 °С [6].

Урожайность озимой пшеницы изучали в севооборотах, развернутых в пространстве и во времени в трехкратной повторности. Делянки были размещены рендомизированно. Предшественниками служили чистый пар и озимая пшеница, посеянная по пред-

шественнику озимая пшеница. Применяли три уровня минерального питания растений: «1» (первый уровень) – $N_{46}P_{24}K_{30}$ (на 1 га севооборотной площади), «2» (второй уровень) – $N_{84}P_{30}K_{48}$ (на 1 га севооборотной площади), контролем служил уровень питания «0», при котором удобрения не вносили. Также изучали две системы основной обработки почвы: чизельную (Ч) и отвальную (О).

Математическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову (2011) с использованием персонального компьютера [7].

Результаты исследований и их обсуждение. Озимая пшеница, размещенная по чистому пару или другому качественному предшественнику, является хорошим предшественником для большинства культур. После уборки озимой пшеницы поле может быть успешно использовано под посев яровых колосовых культур. Одно из преимуществ этого предшественника состоит в том, что озимое поле после уборки может качественно обрабатываться любым почвообрабатывающим орудием на любую глубину, необходимую для возделывания последующей культуры. Урожайность озимой пшеницы также зависит от предшественника. На неудобренных фонах по предшественнику чистый пар возможно получить до 5 т зерна при благоприятных агроклиматических условиях (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от уровня применения удобрений и способа основной обработки почвы, среднее за 2014–2018 гг.

В т/га

Предшественник	Обработка почвы	Уровень применения удобрений		
		0	1	2
Пар чистый	Чизельная	4,78	5,42	6,01
	Отвальная	4,75	5,34	5,82
Озимая пшеница	Чизельная	2,81	3,92	4,48
	Отвальная	2,92	3,91	4,31

Урожайность озимой пшеницы зависит от предшественника. Озимая пшеница, посеянная по чистому пару, в варианте без удобрений позволяет получить зерна больше на 38,5–41,3 %, чем по предшественнику озимая пшеница. Увеличение дозы внесения удобрений до 162 кг д. в./га севооборотной площади сокращает эту разницу до 25,6–26,0 %.

Внесение удобрений в принятых для зоны нормах позволяет увеличить урожайность паровой озимой пшеницы на 12,5–13,3 %, а увеличение дозы внесения удобрений в полтора раза увеличивает урожайность на 22,7–25,7 % по сравнению с неудобренными делянками. Урожайность озимой пшеницы, посеянной по предшественнику озимая пшеница, в полтора-два раза ниже, чем посеянной по паровому предшественнику. Внесение удобрений на уровне применения удобрений «1» увеличивает валовой сбор зерна на 33,7–33,9 %, а на уровне «2» – 47,6–59,3 % по сравнению с вариантом естественного плодородия.

Основная обработка почвы на урожайность озимой пшеницы, посеянной по различным предшественникам, влияла незначительно. Однако запас продуктивной влаги по различным обработкам почвы менялся существенно.

В паровом поле, как и в других полях севооборота, накопление влаги происходит в осенне-зимний период, и весной содержание ее аналогично показателю при зяблевой обработке предназначенного для посева поля. В весенне-летний период пополнение влаги в пару (да и то незначительное) происходит лишь в отдельные годы с обильными осадками второй половины лета. Важно не количество влаги, которое выпадет в данной местности в виде атмосферных осадков, а то количество этих осадков, кото-

рое успевает впитываться почвой. К этому можно добавить, что очень важен и характер их распределения в течение вегетации растений.

Коэффициент усвоения осадков холодного периода показывает, сколько влаги атмосферных осадков было поглощено почвой. Осенний запас влаги в чистом пару в слое почвы 0–100 см был незначительным как по чизельной обработке, так и в контрольном варианте (по отвальной). К началу весеннего снеготаяния на отвальной обработке содержалось в метровом слое почвы 128,3 мм доступной влаги. Чизельная обработка почвы за этот же период аккумулировала на 9,2 % больше атмосферных осадков холодного периода (таблица 2).

Таблица 2 – Усвоение осадков холодного периода почвой в зависимости от способа обработки, среднее за 2014–2018 гг.

Обработка почвы	Запас продуктивной влаги, мм		Осадки, мм	Приращение запаса продуктивной влаги, мм	Коэффициент усвоения осадков почвой, %
	осень	весна			
Чизельная	6,6	140,1	207	133,5	64,5
Отвальная	5,9	128,3	207	122,4	59,1

Коэффициент усвоения осадков холодного периода в слое почвы 0–100 см по отвальной обработке составил 59,1 %, а по чизельной на 8,9 % больше.

Принято считать, что из всей суммы выпавших осадков на долю физического испарения приходится 53,1 %, на поверхностный сток 9 % и на потребление воды растениями 37,9 % [8]. Однако в различных условиях рельефа землепользования, при разных климатических параметрах и разном соотношении культур в севооборотах эти показатели могут быть иными. Так, в наших исследованиях на склоне крутизной до 3,5–4,0° сток талой и ливневой воды колебался в пределах 18,6–34,9 мм, или 9,0–16,9 % от выпавших осадков за холодный период [9].

Исследования, проведенные нами, показали, что динамика почвенной влаги в чистом пару и под озимой пшеницей по разным предшественникам имеет свои особенности. Получение высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур может быть успешно осуществлено на основе оптимизации условий производства и максимального согласования биологических потребностей растений с факторами внешней среды. Это в полной мере относится к озимому полю севооборота.

Существенно влияют на запасы влаги и характер ее распределения в почве не только сами культуры севооборотов, но и их предшественники. В большей степени влияние предшественников сказывается на озимых культурах, поскольку первый период их развития, включая и получение самих всходов, происходит до осенне-зимней естественной влагозарядки, а потому, как правило, в условиях недостатка влаги. Остаточная влага является одним из главных показателей оценки предшественников культур в севооборотах регионов с низкой влагообеспеченностью. В поле чистого пара к моменту сева содержится от 89 до 94 мм доступной влаги в слое почвы 0–100 см. Чистый пар, являясь наилучшим предшественником, способен сохранить ко времени сева значительное количество влаги. Озимая пшеница, посеянная по чистому пару, как предшественник накапливает влаги на 52,0–62,3 % меньше поля чистого пара (таблица 3).

В благоприятные по влагообеспеченности годы разница между запасами влаги под паровой озимой пшеницей и пшеницей, размещенной по непаровым предшественникам, к началу весенней вегетации заметно сокращается, в основном за счет пополнения их в зимний период на непаровых предшественниках. Не столь существенно в такие годы различается запас влаги под паровыми и непаровыми озимыми в последующие фазы вегетации растений. В засушливые годы даже в ранневесенний период запас влаги под озимой пшеницей после непаровых предшественников (особенно озимые по озимым) значительно уступает.

Таблица 3 – Коэффициент водопотребления озимой пшеницы в зависимости от способа обработки почвы, среднее за 2014–2018 гг.

Предшественник	Обработка почвы	Запас продуктивной влаги, мм		Осадки за вегетационный период, мм	Общий расход влаги, мм	Выход продукции, т/га	Коэффициент водопотребления, $м^3$/т
		посев	уборка				
Чистый пар	Чизельная	92	3	457	546,0	5,42	1007,3
	Отвальная	89	5	457	541,0	5,34	1013,4
Озимая пшеница	Чизельная	59	6	457	509,5	3,92	1298,6
	Отвальная	58	4	457	510,7	3,91	1305,8

Вместе с тем показатели расхода влаги на образование единицы сухой растительной массы, в т. ч. и на производство единицы зерновой продукции, предпочтительнее при возделывании озимой пшеницы по чистому пару: влага расходуется на единицу продукции «экономнее» на 29,8 % в сравнении с озимой пшеницей, размещенной по озимым. Водопотребление озимой пшеницы в зависимости от обработки почвы отличается несущественно, однако в варианте с чизельной основной обработкой почвы коэффициент водопотребления меньше, чем по отвальной обработке почвы при тех же условиях. Коэффициент водопотребления озимой пшеницы, посеянной по чистому пару, в варианте чизельной основной обработки почвы составляет 1007,3 $м^3$/т, а в варианте с отвальной обработкой на 6,1 $м^3$/т больше. Водопотребление озимой пшеницы по предшественнику озимая пшеница в зависимости от обработки почвы сохраняет ту же тенденцию, при чизельной обработке воды расходуется меньше на 7,2 $м^3$/т.

Выводы. Озимая пшеница, возделываемая по чистому пару, в варианте естественного плодородия позволяет получить урожайность зерна до 5 т при благоприятных агроклиматических условиях. Внесение удобрений в принятых для зоны нормах увеличивает урожайность паровой озимой пшеницы на 12,5–13,3 %, а повышение дозы внесения удобрений в полтора раза увеличивает урожайность на 22,7–25,7 % по сравнению с неудобренными участками. Коэффициент усвоения осадков холодного периода в слое почвы 0–100 см по чизельной основной обработке на 8,9 % больше, чем по отвальной. При возделывании озимой пшеницы по чистому пару влага расходуется на единицу продукции «экономнее» на 29,8 % в сравнении с озимой пшеницей, размещенной по озимым. Коэффициент водопотребления озимой пшеницы в варианте чизельной основной обработки почвы на 6,1–7,2 $м^3$/т меньше, чем в варианте отвальной обработки.

Список использованных источников

1 Иванов, А. Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России / А. Л. Иванов // Земледелие. – 2009. – № 1. – С. 3–6.

2 Фоменко, М. А. Взаимосвязи урожайности озимой пшеницы с элементами ее структуры на современном этапе в степной зоне Ростовской области / М. А. Фоменко, А. И. Грабовец // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3(65). – С. 22–24.

3 Ивенев, Р. С. Влияние различных агротехнических приемов на урожайность и качество озимой пшеницы по предшественнику «кукуруза на зерно» / Р. С. Ивенев, В. А. Фискевич, В. И. Опенько // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2010. – № 64. – С. 177–182. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2010/10/pdf/10.pdf.

4 Влага и корневая система озимой пшеницы в севообороте / И. Н. Листопадов, Э. А. Гаевая, А. Ю. Габунов, А. Е. Мищенко // Земледелие. – 2009. – № 5. – С. 34–36.

5 Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в севооборотах на эрозионно-опасных склонах Ростовской области / Э. А. Гаевая, А. Е. Мищенко, Н. Н. Кисс, И. В. Сафонова // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 6. – С. 42–47.

6 Селянинов, Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата / Г. Т. Селянинов // Мировой агроклиматический справочник. – Л. – М., 1977. – 220 с.

7 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования): учеб. для вузов / Б. А. Доспехов. – 6-е изд. – М.: Альянс, 2011. – 352 с.

8 Бялый, А. М. Водный режим почвы в севооборотах / А. М. Бялый. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 232 с.

9 Листопадов, И. Н. Севооборот как средство предотвращения водной эрозии почв / И. Н. Листопадов, Д. С. Игнатьев, Э. А. Гаевая // Земледелие. – 2010. – № 8. – С. 8–9.

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

УДК 334.73:631.6

Л. А. Воеводина
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КООПЕРАТИВНОЙ ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ В МЕЛИОРАТИВНОМ ПАРКЕ

Целью исследования являлось изучение современного состояния кооперативного движения в мире и Российской Федерации и возможности использования данной организационно-правовой формы для мелиоративных парков. В результате исследования установлено, что кооперативное движение имеет довольно широкое распространение в мире, оборот 300 наиболее успешных кооперативов превышает 2 трлн долл. США. В Российской Федерации имеются отдельные успешные примеры функционирования кооперативов, например кооператив «Семикаракорский». Однако данная форма еще не получила широкого распространения, о чем свидетельствует оборот розничной торговли в потребительской кооперации, составляющий около 1 % от всего оборота розничной торговли, что в денежном выражении в 2017 г. составляло 147 млрд руб. К тому же отмечена тенденция к снижению величины оборота с 2013 по 2017 г. на 18 %. Возможно, что активизировать создание мелиоративных парков с кооперативной формой организации сможет разработка модели виртуального парка.

Ключевые слова: мелиорация земель, мелиоративный парк, потребительский кооператив, сельскохозяйственные товаропроизводители, Международный кооперативный альянс.

****

L. A. Voevodina
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE BASIS FOR USING THE COOPERATIVE FORM OF ORGANIZATION IN RECLAMATION PARK

The aim of the research was to study the current state of the cooperative movement in the world and the Russian Federation and the possibility of using this legal organizational form for reclamation parks. As a result of research it was found that the cooperative movement is quite widespread in the world, the turnover of 300 most successful cooperatives exceeds $ 2 trillion. In the Russian Federation there are some successful examples of cooperative functioning, for example, the Semikarakorsky cooperative. However, this form has not become widespread yet, as evidenced by the retail trade turnover in consumer cooperation, which is about 1 % of the total retail trade turnover, which amounted to 147 billion rubles in money terms in 2017. In addition, there was a tendency of turnover decreasing by 18 % from 2013 to 2017. Perhaps, the development of a virtual park model will be able to intensify the creation of reclamation parks with a cooperative form of organization.

Key words: land reclamation, reclamation park, consumer cooperative, agricultural producers, International Cooperative Alliance.

Введение. Одним из путей решения проблем, накопившихся в мелиоративной отрасли, по мнению ученых ФГБНУ «РосНИИПМ», наряду с разнообразными техниче-

скими и технологическими новшествами, разрабатываемыми для сельского хозяйства, такими как средства капельного орошения, оросительные системы нового поколения, в т. ч. с использованием местного стока [1–3], может стать использование организационно-экономических механизмов. Одним из таких механизмов является создание мелиоративных парков (МП). Согласно разработанной в 2018 г. «Концепции создания мелиоративных парков на основе использования механизма государственно-частного партнерства», мелиоративный парк – это хозяйствующий субъект, расположенный на мелиорированных землях, обеспеченный необходимыми административно-правовыми основаниями для развития мелиорации земель, производства, переработки и сбыта сельскохозяйственной продукции в России и за рубежом, в т. ч. органической [4]. Основная цель создания МП – увеличение площади мелиорированных земель, обеспечение гарантированно более высокой продуктивности выращиваемых сельскохозяйственных культур и устойчивости земледелия на основе сохранения и повышения плодородия земель. Польза от создания МП подчеркивается утвержденной Правительством Ростовской области «Стратегией социально-экономического развития Ростовской области на период до 2030 года» [5].

Материал и методы. Анализ статистических, исторических и литературных данных. Целью исследования являлось изучение современного состояния кооперативного движения в мире и Российской Федерации и возможности использования данной организационно-правовой формы для мелиоративных парков.

Результаты и обсуждение. Получившие в настоящее время распространение в России агропромышленные парки, специализирующиеся на производстве, хранении, переработке и реализации сельскохозяйственной продукции, в основном представляют собой оптово-логистические центры по реализации сельскохозяйственной продукции, которые, по сути, являются современным аналогом советских плодоовощных баз, где сортируются и продаются в основном овощи, фрукты и цветы [6]. Это коммерческие предприятия, основной целью их деятельности является получение прибыли, что может приводить к ситуации, когда сельскохозяйственному товаропроизводителю (СХТП) невыгодно использовать площадку агропромышленного парка. Поэтому более привлекательной организационно-правовой формой для СХТП может стать сельскохозяйственный потребительский кооператив, которым в соответствии с Федеральным законом от 08.12.1995 № 193-ФЗ «О сельскохозяйственной кооперации» [7] (ст. 4) признается сельскохозяйственный кооператив, созданный сельскохозяйственными товаропроизводителями и (или) ведущими личное подсобное хозяйство гражданами при условии их обязательного участия в хозяйственной деятельности потребительского кооператива. Если МП рассматривается как структурное образование, способствующее повышению конкурентоспособности его участников, то он должен осуществлять функцию, связанную со сбытом продукции, так как именно это звено дает результат, ради которого были осуществлены все вложения для получения сельскохозяйственной продукции. В данной ситуации сельскохозяйственный потребительский кооператив должен быть сбытовым (торговым), осуществляющим продажу продукции, а также ее хранение, сортировку, сушку, мойку, расфасовку, упаковку и транспортировку, заключающим сделки, проводящим изучение рынка сбыта, организующим рекламу указанной продукции и др. В случаях, когда СХТП принимают решение о необходимости переработки сельскохозяйственной продукции, может быть создан перерабатывающий кооператив.

Таким образом, кооператив оказывает определенные услуги, а прибыль получает СХТП. Кооператив является некоммерческой организацией, т. е. получение прибыли не является его основной целью.

Кооперативное движение имеет довольно богатую историю. Первый кооператив был образован в 1844 г. в Великобритании группой из 28 работников, он назывался The Rochdale Society of Equitable Pioneers (Рочдейловское общество справедливых пионе-

ров) [8]. Это был потребительский кооператив, занятый продажей масла, сахара, муки, овсяной крупы и свечей. Наибольшую известность он приобрел вследствие того, что его члены сформулировали принципы, которые известны под названием Rochdale Principles (Рочдейловские принципы): 1) открытое членство; 2) один участник – один голос; 3) торговля наличными; 4) образование членов кооператива; 5) политическая и религиозная нейтральность; 6) нет необычного риска принятия на себя долгов другого лица; 7) ограничение по количеству принадлежащих акций; 8) ограниченные проценты на инвестиции; 9) товары продаются по обычным розничным ценам; 10) чистая маржа распределяется на основе патронажа. Уже через 10 лет в Великобритании число кооперативов увеличилось почти до 1000.

В настоящее время кооперативы распространены по всему миру, практически в каждой стране и отрасли экономики: в производстве, потреблении товаров, обслуживании и т. д.

Существует международная неправительственная организация, объединяющая национальные, региональные союзы и федерации кооперативов, – Международный кооперативный альянс (International Co-operative Alliance (ICA)). Альянс был основан 19 августа 1895 г. в Лондоне на первом кооперативном конгрессе, в работе которого принимали участие делегаты от кооперативов из Аргентины, Австралии, Бельгии, Англии, Дании, Франции, Германии, Голландии, Индии, Италии, Швейцарии, Сербии и США. Это одна из наиболее старых и крупных неправительственных организаций в мире. В настоящее время более миллиарда человек на нашей планете являются членами кооперативов. На данный момент организация объединяет 313 организаций из 109 стран, в т. ч. и из Российской Федерации [9].

Согласно исследованию World Cooperative Monitor, среди 2575 кооперативных организаций в 2018 г. 300 наиболее успешных кооперативов, работающих в различных отраслях экономики (страховании (32 %), сельском хозяйстве (35 %), оптовой и розничной торговле (19 %), банковской и финансовой сфере (8 %), промышленности (2 %), образовании, здравоохранении и социальной помощи (2 %) и других отраслях (2 %)), имеют оборот, превышающий 2 трлн долл. США. По величине оборота первое место занимает Crédit Agricole Group (Франция), второе – Groupe BPCE (Франция), третье – BVR (Германия) [10].

Все кооперативы, независимо от отрасли или размера, работают, придерживаясь общего набора принципов, которые отличают кооперативы от других форм деловых организаций.

Согласно определению ICA, кооператив – это самостоятельная ассоциация людей, добровольно объединившихся для удовлетворения своих общих экономических, социальных и культурных потребностей и стремлений посредством совместного владения и демократически управляемого предприятия [11].

Принципы, утвержденные Международным кооперативным альянсом в Манчестере (Великобритания) 23 сентября 1995 г., следующие [11, 12]:

- принцип 1. Добровольное и открытое членство;
- принцип 2. Демократический контроль со стороны членов;
- принцип 3. Участие членов в экономической деятельности;
- принцип 4. Автономия и независимость;
- принцип 5. Образование, профессиональная подготовка и информация;
- принцип 6. Сотрудничество кооперативов;
- принцип 7. Забота об обществе.

В 1997 г. в Департаменте сельского хозяйства США упростили эти принципы и сформулировали три основных принципа для сельскохозяйственных кооперативов как ответы на такие вопросы [13, 14]: кто владеет? кто контролирует? кто получает выгоду от бизнеса?

Примером успешной работы кооперативной формы организации хозяйства в Российской Федерации может служить опыт работы кооператива в Семикаракорском районе. Сельскохозяйственный потребительский снабженческо-сбытовой кооператив «Семикаракорский» был создан в 2013 г. Основной деятельностью кооператива является производство, хранение, переработка и сбыт сельскохозяйственной продукции (капусты, свеклы, моркови) [15]. Кооператив располагает собственной территорией площадью 2,4 га. В состав кооператива входит цех по переработке, два складских помещения, спецтехника для осуществления погрузочно-разгрузочных работ, оборудование для предпродажной подготовки, грузовой автотранспорт для перевозки сельхозпродукции. Объем перерабатываемой продукции в 2015 г. составлял около 220 т в месяц. Основным рынком сбыта является розничная сеть «Магнит» ЗАО «Тандер». Первоначально костяк кооператива, председателем которого выступил Я. С. Анастасиадис, составили пять хозяйств: четыре ЛПХ и ИП КФХ Анастасиадис Д. Я. На развитие кооператива каждый взял кредит. К 2016 г. материальная база состояла из складских помещений на 1800 т единовременного хранения, трех КамАЗов, двух «газелей», трех вилочных погрузчиков, холодильного оборудования, фасовочных линий, установки для мокрой очистки, погрузочно-разгрузочной техники. В ближайшей перспективе – расширение производства. Кооператив постоянно развивается. Так, объем закупок овощей составлял в 2013 г. 436 т, в 2014 г. – 3000 т, в 2015 г. – 4050 т, в эти годы количество пайщиков составляло 5, 6, 10 чел., рентабельность – 110, 361, 111 % соответственно. В 2015 г. кооперативом была получена грантовая поддержка в размере 2,4 млн руб. на модернизацию овощехранилищ (приобретение холодильного оборудования). Об успешной работе этого кооператива сообщалось 16.08.2018 в программе «Вести. Дон» [16].

В Российской Федерации такая форма организации, как кооператив, не получила широкого распространения. Согласно статистическим данным, в Российской Федерации инвестиции в потребительскую кооперацию составляют менее 1 % от всех инвестиций (таблица 1). Причем по сравнению с 2000 г. доля снизилась в 10 раз. Также снижается и оборот розничной торговли в потребительской кооперации, с 2013 по 2017 г. снижение составило 18 %. Поэтому, если не будут предприняты комплексные действия по стимулированию организации кооперативов, вряд ли их количество и эффективность работы увеличатся в будущем. Принципы организации кооперативных образований требуют доверия и честности каждого участника, даже примеры успешной работы показывают, что кооперативы организуют родственники, где доверие может быть максимальным. Дефицит доверия между членами общества, и в частности потенциальными участниками кооперативов, приводит к отсутствию желания и инициативы в создании таких организаций. В практике большинства российских предприятий происходит возложение всей ответственности на руководителя, а рядовые участники считают себя подчиненными, которые не принимают участия в принятии решений, предпочитая жаловаться на несправедливость. В кооперативах же ответственность распределяется между его членами, а значит, и ответственность за неудачи лежит на каждом члене.

Привлекательным для СХТП может выглядеть то обстоятельство, что при организации кооператива вступающие в него хозяйства не лишаются своей самостоятельности, а само создание происходит для реализации задачи, в решении которой заинтересовано сообщество членов кооператива. В то же время функции МП, согласно концепции [4], могут выходить за рамки, ограниченные кооперативной формой. Большинство работников МП, как оказывающие определенные услуги резидентам парка, не будут являться работниками сельскохозяйственных предприятий из числа резидентов МП, и их численность не должна превышать 20 % от суммарного числа членов кооператива, в противном случае это будет нарушением закона [7].

Таблица 1 – Инвестиции в основной капитал и распределение оборота розничной торговли (в фактически действовавших ценах) [17]

Показатель	Год							
	2000	2005	2010	2013	2014	2015	2016	2017
Инвестиции в основной капитал – всего, млрд руб.	1165,2	3611,1	9152,1	13450,2	13902,6	13897,2	14748,9	15966,8
%	100	100	100	100	100	100	100	100
в т. ч. потребительской кооперации, млрд руб.	0,8	2,5	3,0	2,9	3,7	2,3	1,3	1,4
%	0,1	0,1	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01
Оборот розничной торговли – всего, млрд руб.	2352	7041	16512	23686	26356	27527	28306	29813
%	100	100	100	100	100	100	100	100
в т. ч. потребительской кооперации, млрд руб.	41	91	161	180	171	171	161	147
%	2	1	1	1	1	1	1	1

Выводы. В результате исследований установлено, что кооперативное движение имеет довольно широкое распространение в мире, оборот 300 наиболее успешных кооперативов превышает 2 трлн долл. США. В Российской Федерации имеются отдельные успешные примеры функционирования кооперативов, например кооператив «Семикаракорский». Однако в стране данная форма еще не получила широкого распространения, о чем свидетельствует оборот розничной торговли в потребительской кооперации, составляющий около 1 % от всего оборота розничной торговли, что в денежном выражении в 2017 г. составляло 147 млрд руб. К тому же отмечена тенденция к снижению величины оборота с 2013 по 2017 г. на 18 %. Возможность создания мелиоративных парков как потребительского кооператива может быть реализована, однако управление этой структурой окажется более сложным, особенно в вопросах, требующих коллективного принятия решения. Возможно, что активизировать создание кооперативов вообще и непосредственно мелиоративных парков с кооперативной формой организации сможет разработка модели виртуального парка.

Список использованных источников

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

2 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – В 2 ч. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.

3 Пат. 2467561 Российская Федерация, МПК[7] A 01 G 25/00. Оросительная система с использованием местного стока / Щедрин В. Н., Васильев С. М., Гостищев В. Д., Снипич Ю. Ф., Акопян А. В., Кузьмичев А. А.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2011101196/13; заявл. 12.01.11; опубл. 20.07.12, Бюл. № 26 (II ч.). – 6 с.

4 Провести исследования и разработать концепцию создания мелиоративных парков на основе использования механизма государственно-частного партнерства: отчет о НИР (заключ.): 2.1.5.2 / ФГБНУ «РосНИИПМ»; рук.: Щедрин В. Н. – Новочеркасск, 2018. – 193 с. – Исполн.: Щедрин В. Н., Медведева Л. Н., Манжина С. А., Воево-

дина Л. А., Горобей В. П., Белых Д. В., Вагнер А. С. – Рег. № НИОКТР АААА-А18-118041990072-2. – Рег. № ИКРБС АААА-Б18-218122090035-1.

5 Постановление правительства Ростовской области от 26 декабря 2018 года «Стратегия социально-экономического развития Ростовской области на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:don2030.mineconomikiro.ru/docs/STRATEG_RO_2030_26dec2018.pdf, 2019.

6 Боджаева, В. В. Приоритеты инновационного развития агропромышленного комплекса региона / В. В. Боджаева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 10(60). – С. 116–120.

7 О сельскохозяйственной кооперации: Федеральный закон от 8 декабря 1995 г. № 193-ФЗ // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

8 Evans, L. T. The Role and Significance of Cooperatives in New Zealand Agriculture: A Comparative Institutional Analysis / L. T. Evans, R. B. Meade; Victoria University of Wellington, New Zealand Institute for the Study of Competition and Regulation. – 2005.

9 International Cooperative Alliance [Electronic resource]. – Mode of access: https:ica.coop/en/about-us/international-cooperative-alliance, 2019.

10 The 7th annual World Cooperative Monitor is now available [Electronic resource]. – Mode of access: https:monitor.coop/en, 2019.

11 International Co-operative Alliance. Guidance Notes to the Co-operative Principles [Electronic resource]. – Mode of access: https:ica.coop/sites/default/files/publication-files/ica-guidance-notes-en-310629900.pdf, 2019.

12 Принципы кооперации Международного кооперативного альянса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:creatorsociety.org/index.php/ru/cooperation-rus/theory-of-cooperation-rus/coop-principles-rus/ica-principles-rus, 2019.

13 Frederick, D. A. Co-ops 101: An introduction to cooperatives [Electronic resource] / D. A. Frederick, J. J. Wadsworth, E. E. Eversull; US Department of Agriculture, Rural Development, Rural Business-Cooperative Service. – 1997. – Mode of access: https:rd.usda.gov/files/cir55.pdf, 2019.

14 Ortmann, G. F. Agricultural Cooperatives I: History, Theory and Problems / G. F. Ortmann, R. P. King // Agrekon. – 2007. – Vol. 46(1). – P. 1846.

15 СПССК «Семикаракорский» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:ruraldevelopment.ru/projects/17/, 2019.

16 «Вести. Дон» 16.08.18 (выпуск 17:40) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:dontr.ru/vypuski/vesti-don-16-08-18-vypusk-17-40/, 2018.

17 Россия в цифрах. 2018: крат. стат. сб. / Росстат. – М., 2018. – 522 с.

ОСОБОЕ МНЕНИЕ

УДК 631.587(575)

А. Рамазанов
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

УРОКИ «ЭКСТЕНСИВНОГО» РАЗВИТИЯ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ

В статье анализируется динамика и направленность отрицательных последствий влияния антропогенных факторов в бассейне Аральского моря на примере орошаемой зоны Узбекистана. Выявлены основные причины устойчивого во времени ухудшения эколого-мелиоративной, водохозяйственной, социально-экономической ситуации при «экстенсивном» использовании имеющихся водно-земельных ресурсов с соответствующим объемом интеллектуальных, материально-технических, финансовых и трудовых затрат.

Ключевые слова: бассейн Аральского моря, освоение земель, ирригационные и гидромелиоративные системы, засоленные земли, производительная способность орошаемых почв, урожайность хлопчатника, водохозяйственная, эколого-мелиоративная и социально-экономическая обстановка, «экстенсивный» принцип использования природных ресурсов.

****

A. Ramazanov
Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

THE LESSONS OF THE “EXTENSIVE” DEVELOPMENT OF IRRIGATED AGRICULTURE IN UZBEKISTAN

The dynamics and direction of the adverse effects of anthropogenic factors in the Aral Sea basin on the example of the irrigated zone of Uzbekistan is analyzed in the article. The main reasons of sustainable over time of deterioration of the ecological-reclamative, water management, socio-economic situation by the “extensive” use of available water and land resources with a corresponding amount of intellectual, material, technical, financial and labor costs have been identified.

Key words: the Aral Sea basin, land development, irrigation and hydromeliorative systems, saline lands, productive capacity of irrigated soils, cotton yields, water management, ecological and land reclamation and socio-economic conditions, “extensive” principle of natural resources use.

Аральское море с уникальным биоразнообразием на территории его бассейна и сопредельных территориях в течение веков являлось базисом формирования в регионе устойчивого во времени субаридного и аридного климата. На части этого региона с давних времен развивалось оазисное орошение с высокой культурой земледелия. При достаточной обеспеченности сумм эффективных температур, продолжительности светового дня и водообеспеченности производились продукты растениеводства, животноводства и других отраслей аграрного сектора экономики.

В историческом разрезе формирование и развитие общества, устойчивость его функционирования на территории бассейна Аральского моря обуславливались культу-

рой земледелия и уровнем продуктивности располагаемых водно-земельных ресурсов. Изменение гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и других условий территории происходило под воздействием искусственного орошения и подачи соответствующего объема воды на поле с учетом видового состава и агробиологических особенностей возделываемых культур. Для целенаправленного управления этими процессами применялись различные методы примитивного (сухой дренаж) и активного (искусственный дренаж) воздействия.

Мировая практика использования земельных ресурсов свидетельствует о формировании луговых почвообразовательных процессов на орошаемых оазисах территорий с аридным, субаридным климатом в бассейнах крупных водотоков при полугидроморфном и гидроморфном режиме увлажнения корнеобитаемой толщи. Формирование подобных почвообразовательных процессов достигалось путем использования относительно примитивных гидромелиоративных сооружений – строительством искусственного дренажа («хандаки», «закеши», «зауры», «колодцы») глубиной 1,3–1,5 м (Азербайджан, Турция, Узбекистан, Египет) и 1,5–2,0 м (Индия, Пакистан, Китай). Грунтовые воды, залегающие ниже корнеобитаемого слоя почвы, – зоны активного водо- и солеобмена – периодически восполнялись за счет фильтрационного потока при орошении возделываемых культур, влагозарядковых поливах («яхоб суви») и «эксплуатационных» промывках. Формировалась прослойка слабоминерализованных вод, так называемая «пресная подушка». Благодаря этому практически исключалась или резко уменьшалась миграция водорастворимых солей в верхние слои почвы [1].

В 60-е гг. XX века в СССР была принята Государственная программа по освоению залежных и целинных почв пустынной зоны Кура-Араксинской низменности (Азербайджан) для организации и ведения орошаемого земледелия. Реализация ее была направлена на увеличение валовой продукции культур хлопкового комплекса и стабилизацию демографической ситуации в этом регионе.

Для выполнения этой грандиозной и широкомасштабной работы был привлечен значительный объем финансовых и материально-технических средств, а также специалисты с соответствующим уровнем теоретических и практических знаний в области административно-управленческих, организационно-производственных, проектно-изыскательских, строительно-монтажных и других работ в сфере природообустройства и природопользования.

На Всесоюзной научно-технической конференции (Ташкент, 1964 г.), посвященной вопросам освоения новых земель в пустынной зоне бассейна Аральского моря, ведущими учеными было высказано мнение о необходимости предварительного экспериментального обоснования принятых в проектах параметров ирригационных и гидромелиоративных систем в различных почвенно-мелиоративных и гидрогеологических условиях на примере отдельных опытно-производственных участков (ОПУ). Исследования были организованы на территориях колхозов «Большевик» (Ферганская область, 1960–1973 гг.), «Правда» (Хорезмская область, 1966–1973 гг.) и совхоза № 6 в новой зоне орошения Голодной степи (Сырдарьинская область, 1967–1972 гг.), где мощность гидромелиоративной сети и состав агромелиоративных мероприятий «соответствовали» проектным решениям [2].

В процессе исследований был выявлен ряд нарушений технического и технологического регламента при строительстве закрытого горизонтального дренажа, а также состава, сроков и норм проведения агромелиоративных работ (режим орошения хлопчатника, нормы и сроки проведения промывных поливов и др.). К сожалению, они не были приняты во внимание для реконструкции уже построенной коллекторно-дренажной сети (КДС) и корректировки широко внедряемых новых проектных решений.

Так, в период исследований (1960–1973 гг.) удельная протяженность межхозяйственной и внутрихозяйственной КДС на территориях Ферганской, Хорезмской и

Сырдарьинской областей увеличилась с 27,4; 21,6 и 17,1 пог. м/га до 35,4; 32,4 и 51,8 пог. м/га соответственно. Практически строительство ирригационных и гидромелиоративных систем по своим темпам, масштабу и объему привлеченных финансовых, материально-технических и трудовых ресурсов значительно опережало экспериментальную оценку параметров этих систем, получаемых на опытно-хозяйственных участках.

Следует подчеркнуть, что на ОПУ благоприятный (оптимальный) водно-солевой режим за период, предусмотренный в проекте, так и не был достигнут.

При технико-экономическом обосновании основных параметров дренажных систем (глубина, расстояние между дренами) на вновь освоенных массивах в качестве основного критерия была принята так называемая «критическая» глубина залегания грунтовых вод, которая варьировалась в пределах 1,9–2,7 м от поверхности земли. Этот подход основывается на принципе: «…по мере подъема уровня грунтовых вод расход воды на суммарное испарение возрастает с соответствующим усилением миграционных процессов и опасностью вторичного засоления почв» [3].

Между тем опытными наблюдениями, проведенными проектно-изыскательскими институтами Средазгипроводхлопок и СоюзНИХИ (ныне УзНИИХ) на территориях с различными почвенно-мелиоративными условиями, экспериментально доказано, что при орошении возделываемых культур в вегетационный период необходимый объем воды, подаваемой на поле, увеличивается по мере понижения уровня грунтовых вод, а при влагозарядковых поливах в ранневесенний период и ежегодных эксплуатационных промывках осенью – уменьшается.

В этой связи следует напомнить, что горизонтальный дренаж как гидромелиоративное инженерное сооружение не уменьшает содержание водорастворимых токсичных для растений солей в почве, а лишь создает условия для их вымывания нисходящим фильтрационным потоком воды при промывном режиме орошения возделываемых культур.

Таким образом, судя по количественным и качественным показателям создавшейся водохозяйственной и эколого-мелиоративной ситуации в освоенной части пустынной зоны, выбор состава и мощности агро- и гидромелиоративных мероприятий по регулированию водно-солевого режима почв зоны аэрации с теоретической и экспериментальной точек зрения был недостаточно обоснован.

При технико-экономическом обосновании и проектировании подобных систем не были приняты во внимание многовековой исторический опыт формирования ландшафтных оазисов с искусственным орошением в пустынной и полупустынной зонах с аридным и субаридным климатом, возможные изменения уровня водообеспеченности территории и водности основных водотоков под влиянием глобальных и континентальных изменений во времени и пространстве.

Многолетние опыты, проведенные в Ферганской долине и Туркменистане, подтвердили возможность получать устойчиво высокий урожай хлопчатника и других сельскохозяйственных культур при своевременном и качественном проведении агротехнических, агромелиоративных мероприятий на массивах с полугидроморфным и гидроморфным режимами увлажнения почвы и минерализацией грунтовых вод 1,0–3,0 г/л. При этом за счет промывных и влагозарядковых поливов в верхней части грунтовых вод создается слой пресных вод («пресная подушка»). Благодаря этому практически исключается отрицательное влияние солей на рост и развитие возделываемых культур из-за низкой концентрации почвенного раствора.

В условиях дефицитного водопользования целесообразно проектировать мощность дренажа и строить его исходя из необходимости поддержания уровня грунтовых вод на глубине, обеспечивающей полугидроморфный или гидроморфный режим увлажнения почвы. Целесообразность поддержания такого режима на фоне относительно неглубокого (1,3–1,5 м) дренажа также подтверждена в многочисленных лабо-

раторных (лизиметры, ЭГДА, фильтрационные лотки) опытах и методами математического прогнозирования.

Анализ результатов многолетних территориальных наблюдений, экспертных оценок динамики развития и направленности природно-климатических, эколого-мелиоративных, гидрогеологических процессов, темпов развития орошаемого земледелия, социально-экономических, демографо-психологических ситуаций на примере отдельных хозяйств и населенных пунктов с соответствующей инфраструктурой в пустынной зоне Узбекистана свидетельствует о несоответствии ранее принятых решений основополагающим принципам использования природных ресурсов. При проектировании и строительстве гидромелиоративных систем различного уровня допущена не имеющая аналогий в мировой практике технико-экономическая и инженерно-технологическая «вольность».

На массивах орошаемых земель, расположенных в среднем и нижнем течении основных водотоков рек Сырдарьи, Амударьи и других, формирующийся с полей по межхозяйственным и магистральным коллекторам коллекторно-дренажный сток сбрасывается в русло рек, загрязняя их токсичными солями и ядохимикатами. Между тем речной сток является основным источником питьевого водоснабжения населенных пунктов, промышленных предприятий, предприятий пищевой промышленности, обработки продуктов растениеводства, животноводства и других отраслей аграрного сектора экономики.

Минерализация речной воды в конце 60-х гг. XX века в среднем не превышала 0,8–1,0 г/л по сухому остатку. В настоящее время она варьирует от 0,3–0,5 г/л в верхнем течении до 1,1–1,6 и 1,8–2,2 г/л в среднем и нижнем течении рек соответственно.

Согласно УзГОСТ 950:2011 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» вода с минерализацией до 1,0 г/л пригодна для питьевого водоснабжения [4]. Фактически минерализация речного стока на 0,6–1,2 г/л превышает предельно допустимый уровень. В определенной степени этим и объясняется ухудшение медико-биологической и санитарно-гигиенической ситуации в ряде районов, расположенных в среднем и нижнем течении основных водотоков.

При технико-экономическом обосновании форм организации сельскохозяйственного производства, землепользования, инфраструктуры населенных пунктов не был принят во внимание менталитет местного населения, непосредственно занятого сельскохозяйственным производством.

В подавляющем большинстве случаев на вновь освоенные совхозы были мобилизованы трудовые ресурсы (дехкане, специалисты различного профиля и уровня) из областей республики с оседлым образом проживания и жизнеобеспечения, где формировались устойчивая социально-психологическая адаптация, чувство ответственности, коллективизма и добросовестного взаимоотношения в решении общественно-социальных и производственных задач. К сожалению, у части специалистов различного профиля и уровня знаний, мобилизованных для постоянного проживания и работы во вновь организованных хозяйствах (совхозы, хлопкозаготовительные пункты, водохозяйственно-эксплуатационные организации, учреждения социально-бытовых служб и др.), до настоящего времени не произошла социально-психологическая адаптация к «современным» жилищно-бытовым, культурно-просветительским и другим условиям жизнеобеспечения, существенно отличающимся от их прежних мест проживания. Наблюдается пессимистическое отношение к производству, невосприятие современных технологических приемов производства продуктов растениеводства, животноводства и других отраслей аграрного сектора.

Из-за сравнительно низкой рентабельности сельскохозяйственного производства, ухудшения эколого-мелиоративной обстановки (таблица 1), уровня и качества водообеспечения, среды обитания, социально-бытовых условий и необеспеченности работой (в т. ч. по специальности) наблюдается миграция трудоспособного населения как на внутрирегиональном уровне, так и на территории сопредельных государств (Казахстан, Российская Федерация) и стран дальнего зарубежья.

Таблица 1 – Мелиоративное состояние и продуктивность орошаемых земель Узбекистана

По створу реки	Область	Средне- и сильно засоленные земли в % от обследованной площади			Балл бонитета почв		Урожайность хлопчатника				
							На производстве, ц/га			На ОПУ УзНИИХ, ц/га	В 2016 г. от урожая на ОПУ УзНИИХ, %
		1970 г.	1992 г.	2016 г.	1985 г.	2017 г.	1970 г.	2010 г.	2016 г.		
Бассейн р. Сырдарьи											
Верхнее течение	Андижанская	13,0	0,9	25,1	60	57,5	25,9	28,8	28,7	42,5	67
	Наманганская	7,4	3,2	29,7	70	60	25,3	30,7	21,7	37,5	57
	Ферганская	22,1	12,2	26,8	65	56	23,7	30,9	23,4	43	54
Среднее течение	Ташкентская	4,8	1,2	5,1	66	59	26,2	27,0	22,6	41,5	54
	Джизакская	+	18,4	36,2	54	51	+	24,0	20,1	41,5	48
	Сырдарьинская	25,7	21,6	39,4	54	53	20,7	23,5	18,0	42,5	42
Бассейн р. Амударьи											
Верхнее течение	Сурхандарьинская	8,8	14,6	16,7	70	56	32,3	37,8	22,1	39,5	56
Среднее течение	Бухарская	26,2	32,4	32,2	56	51	28,3	34,0	30,2	44,5	67
	Кашкадарьинская	5,4	18,5	16,0	46	52,5	26,4	24,4	26,8	44,5	60
	Навоийская	++	33,6	29,5	56	53,2	++	28,6	30,2	44,5	67
	Самаркандская	1,8	1,0	9,5	57	59,3	23,8	25,6	24,5	37,5	65
Нижнее течение	Каракалпакстан	38,5	52,2	60,5	46	41,3	27,9	19,1	22,0	38,5	57
	Хорезмская	22,4	23,0	34,3	76	54	33,0	26,3	30,9	47,5	65
Примечание – + – в составе Сырдарьинской области; ++ – в составе Бухарской области.											

По неофициальным данным, более 400 тыс. семей эмигрировали в Ташкентскую, Самаркандскую области, в Республику Казахстан и Российскую Федерацию. Около 1,5 млн трудоспособных людей среднего возраста в статусе «гастарбайтер» трудятся в странах СНГ и дальнего зарубежья.

В некоторых населенных пунктах до настоящего времени в недостаточном количестве имеются учреждения по проведению гражданских ритуалов.

Таким образом, в результате широкомасштабного и интенсивного освоения земель в пустынной зоне Узбекистана и сопредельных государств были нарушены основополагающие принципы использования природных ресурсов.

Допущенная диспропорция в темпах освоения земель без учета располагаемых водных ресурсов в регионе привела к высыханию Аральского моря, нарастанию процесса опустынивания, ухудшению эколого-мелиоративной, гидрогеологической, хозяйственно-экономической и социально-психологической обстановки на вновь освоенных массивах орошения.

Трудоустройство около 6 млн чел. в отраслях аграрного сектора экономики в той или иной мере отражается в социально-экономической, медико-психологической обстановке и уровне жизнеобеспечения более 60 млн населения бассейна Аральского моря.

Список использованных источников

1 Рамазанов, А. О глубине дренажа на засоленных землях / А. Рамазанов // Ирригация и мелиорация. – 2018. – № 1(11). – С. 5–8.

2 Горизонтальный дренаж. Ирригация Узбекистана. Т. 4. Технический прогресс в ирригации / Г. В. Еременко [и др.]. – Ташкент: Фан, 1981. – 448 с.

3 Рачинский, А. А. Вопросы проектирования мелиоративных мероприятий / А. А. Рачинский, А. П. Вавилов // Ирригация Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1981. – Т. 4. – С. 95–102.

4 УзГОСТ 950:2011. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения [Электронный ресурс]. – Введ. 2011-02-18. – Режим доступа: http:new.standart.uz/upload/file/stand-text/OzDSt/ozdst_951_2011.pdf, 2018.