

**ISSN 2313-2248**

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

**Научно-практический журнал**

**Выпуск № 2(70)/2018**

**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 № 2(70)/2018**

Апрель – июнь 2018 г.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Главный редактор** – академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор ФГБНУ «РосНИИПМ» В. Н. Щедрин

**Заместитель главного редактора** – доктор сельскохозяйственных наук А. Н. Бабичев

**Ответственный секретарь** – Л. И. Юрина

**Редакторы:** доктор технических наук, доцент С. М. Васильев; доктор технических наук А. В. Колганов; доктор технических наук, профессор Ю. М. Косиченко; доктор сельскохозяйственных наук, профессор Г. Т. Балакай; доктор технических наук Ю. Ф. Снопич; 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 технических наук Д. В. Бакланова; 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 Г. Л. Лобанов; 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](mailto:transfer-rosniipm@yandex.ru)

**Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61083 от 19 марта 2015 г.**

Подписано в печать 15.06.2018. Формат 60×84/8.

Усл. печ. л. 29,08. Тираж 500 экз. Заказ № 25

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 29.06.2018  
Свободная цена

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2018

# СОДЕРЖАНИЕ

## МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

### *Научно-практическая конференция*

#### *«Техническое состояние и безопасность мелиоративных систем»*

|  |    |
|--|----|
| <b>Гостищев В. Д., Пономаренко Т. С., Рыжаков А. Н., Мартынов Д. В.</b> Техническое состояние и эффективность режима эксплуатации Пролетарского магистрального канала .....                                | 6  |
| <b>Капустян А. С.</b> Технология подготовки и представления сведений для внесения в государственный водный реестр и мониторинг водных объектов .....   | 11 |
| <b>Баев О. А., Гарбуз А. Ю., Шкура В. Н.</b> Компонентно-конструктивные решения приканальных рыбоводных бассейнов .....  | 13 |
| <b>Штанько А. С., Шкура В. Н.</b> Определение параметров напороаккумулирующих трубопроводов для самонапорных капельных систем .....  | 18 |
| <b>Сейтумеров Э. Э.</b> Роль местного стока в Крыму и пути повышения эффективности его использования .....   | 24 |
| <b>Склярченко Е. О., Вертыганова Э. Н.</b> Методы экранирования оросительных каналов и водоемов .....  | 29 |
| <b>Баев О. А., Гезин А. О.</b> Сравнительная оценка применения новых материалов для противотрационных целей .....  | 35 |
| <b>Енакаева В. Р., Попова Н. М.</b> Результаты расчета вероятного вреда при гидродинамической аварии на судоходном гидроузле .....   | 40 |
| <b>Кореновский А. М., Юченко Л. В.</b> Обследование и оценка технического состояния с целью повышения безопасности гидротехнических сооружений Крюковского водохранилища .....                             | 46 |
| <b>Вайнберг М. В.</b> Приборное обеспечение водоучета для напорных трубопроводов оросительных систем .....   | 50 |
| <b>Бубер А. А., Хомутов Ю. А.</b> Разработка гидродинамической модели водораздельного городского бьефа Вышневолоцкой водной системы и расчет вероятного вреда в результате аварии на ГТС .....             | 56 |
| <b>Штанько А. С., Шкура В. Н.</b> Компонентно-конструктивные решения напорообразующих узлов самонапорных капельных систем .....  | 62 |
| <b>Гарбуз А. Ю.</b> Натурные обследования и анализ технического состояния каналов гидромелиоративных систем .....  | 68 |
| <b>Федотова Е. В.</b> Оперативный расчет оптимального режима орошения для оросительных систем Забайкальского края .....  | 73 |
| <b>Власов М. В.</b> Расчет полного срока окупаемости инвестиций в реконструкцию оросительных систем .....  | 78 |
| <b>Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В., Сильченко В. Ф.</b> Уточнение гидравлических параметров магистрального канала трапецеидального сечения .....  | 80 |
| <b>Кременской В. И., Джапарова А. М.</b> Внедрение систем капельного орошения в Крыму .....  | 86 |
| <b>Кожанов А. Л., Воеводин О. В.</b> Анализ конструкций мелиоративных систем двустороннего действия и основные пути совершенствования .....  | 91 |
| <b>Бандурин М. А., Волосухин В. А.</b> Пути повышения эффективности и устойчивости гидротехнических сооружений при длительном использовании в условиях изменяющихся погодных и сейсмических факторов ..... | 98 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Белоусов А. А., Штанько А. С.</b> Особенности технологии проектирования самонапорных капельных систем.....   | 104 |
| <b>Шепелев А. Е.</b> Расчет геометрических параметров оросительного канала трапецеидального сечения.....  | 110 |
| <b>Злодеев Ю. Г., Ялалова Г. Х.</b> Информационное обеспечение и поддержка решения задач водопользования при орошении.....  | 114 |
| <b>Сергеев Б. И., Бондаренко В. Л., Волосухин В. А., Щедрин В. Н.</b> Пятьдесят лет научной школе мягких гидротехнических конструкций.....  | 120 |
| <b>Манжос А. А.</b> Оценка состояния водообеспечения Ленинского района, мероприятия по повышению эффективности использования водных ресурсов.....   | 129 |
| <b>Школьная В. М., Чураев А. А.</b> Анализ существующих алгоритмов работы системы управления на оросительной сети в условиях воздействия ограничений.....   | 134 |
| <b>Азимов А. И., Хасанов Б. Б., Гловацкий О. Я., Насырова Н. Р.</b> Оценка эффективности эксплуатации и безопасности насосных станций.....  | 140 |
| <b>Голченко М. Г., Яланский Д. В.</b> Оценка тепловлагообеспеченности северо-восточной зоны Республики Беларусь при орошении сенокосно-пастбищной травосмеси.....                                 | 145 |
| <b>Баев О. А., Гарбуз А. Ю., Шкура В. Н.</b> Рыбоводный комплекс на базе оросительно-обводнительного канала и малой реки.....   | 151 |
| <b>Кречетова И. М., Медведева Л. Н., Роскошная А. С.</b> Мелиорированные земли – основа для повышения эффективности сельского хозяйства Республики Алтай.....                                     | 156 |
| <b>Косиченко Ю. М., Угроватова Е. Г.</b> Оптимизация полигонального сечения каналов в земляном русле.....   | 163 |
| <b>Рыжаков А. Н., Кузьмичёв А. А., Медведева Л. Н., Белых Д. В.</b> Использование солнечной энергии на объектах мелиорации (на примере Пригородной оросительной системы Краснодарского края)..... | 168 |
| <b>Скляренко Е. О., Матюшенко П. С.</b> Методика исследований фильтрации через основание грунтовой плотины с устройством противофильтрационных завес методом ЭГДА.....                            | 181 |

## **МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Хожанов Н. Н., Масатбаев М. К., Хожанова Г. Н.</b> Экологическое обоснование системы земледелия и оросительных норм сельскохозяйственных культур с учетом абсолютной высоты местности..... | 190 |
| <b>Усманов И. А., Садыкова У. А.</b> К вопросу районирования территорий по степени загрязнения почвы в Узбекистане.....   | 196 |
| <b>Полужтков Е. В., Балакай Г. Т.</b> Особенности стока талых вод в 2017 году....   | 199 |

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Шепелев А. Е.</b> Анализ средств водоучета и водоизмерения с целью их применения на открытых оросительных системах.....                                  | 203 |
| <b>Талызов А. А., Щербаков А. О.</b> Моделирование регулирования стока водопроводящей сети гидромелиоративных систем на основе компьютерных технологий..... | 208 |
| <b>Барамыков М. Р.</b> Дополнительные возможности использования ADCP для решения задач речной гидравлики.....   | 212 |

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Турко С. Ю., Сивцева С. Н.** Технология выращивания селекционно  
улучшенных многолетних растений (на примере Кизлярских пастбищ)..... 218
- Власенко М. В.** Способность многолетних кормовых трав семейства  
*Poa*ceae поддерживать транспирацию и оставаться засухоустойчивыми..... 224
- Турко С. Ю.** Методы и принципы оптимизации пастбищных экосистем..... 230

## НАУКА – ПРАКТИКЕ

- Лиховид П. В.** Толщина перикарпа зерновок кукурузы сахарной в зависи-  
мости от агротехники культуры ..... 235
- Волкова Н. Е., Захаров Р. Ю.** Удельный объем сбросов загрязненных вод  
как индикатор рационального водопользования ..... 237

## ОСОБОЕ МНЕНИЕ

- Власенко М. В., Полухина Е. В.** Концепция производственного процесса  
Х. Г. Тооминга ..... 244

## МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

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

---

---

УДК 626.31;626.80

**В. Д. Гостищев, Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, Д. В. Мартынов**  
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

#### **ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОЛЕТАРСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА**

*В статье приведены результаты инженерно-геодезических изысканий Пролетарской ветви Донского магистрального канала (включая данные о межхозяйственных и магистральных каналах) от головного водозаборного сооружения на ПК 1122 + 00 до перегораживающего сооружения на ПК 1427 + 50 по основной ветви канала общей протяженностью 30,55 км и на участке ПР-1 протяженностью 15 км. Полученные данные говорят о том, что состояние канала неудовлетворительное. По всей трассе канала наблюдаются оплывы откосов канала. В результате изменения геометрических параметров изначально трапецеидальное сечение канала стремится к параболическому профилю. Элементы водозаборных сооружений находятся в работоспособном состоянии, но некоторые элементы подвержены коррозии, имеет место выработка ходовых частей и протечки. Несмотря на работоспособное техническое состояние канала, для обеспечения надежной его работы требуется выполнение комплексного капитального ремонта.*

*Ключевые слова: площадь орошаемых земель, канал, водозабор, техническое состояние, уровень воды, режим эксплуатации.*

\*\*\*\*\*

**V. D. Gostishchev, T. S. Ponomarenko, A. N. Ryzhakov, D. V. Martynov**  
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

#### **TECHNICAL STATE AND EFFICIENCY OF OPERATIONAL REGIME OF PROLETARSKIY MAIN CANAL**

*The results of engineering and geodesy surveys of the Proletarsk branch of the Don main canal (including data on inter-farm and main canals) from the head water intake structure on the PC 1122 + 00 to the control structure on the PC 1427 + 50 along the main branch of the canal of 30.55 km total length and on the section of PR-1 with a 15 km length are presented. The data obtained indicate the canal conditions to be unsatisfactory. The canal slopes earthflows are observed along the whole canal route. As a result of changing the geometric parameters initially the trapezoidal canal cross section tends to a parabolic profile. The elements of water intake structures are in the operating conditions, but some elements are apt to corrosion, there is a wear of running gears and leakages. Despite the operative technical state of the canal, the complex full repair is required to ensure its reliable operation.*

*Key words: area of irrigated land, canal, water intake, technical state, water level, operating regime.*

**Введение.** В Ростовской области имеется семь крупных оросительных систем, общая площадь орошения на которых составляет 208,136 тыс. га. Объем воды, поданной на орошение, по данным ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз», в среднем за последние годы составляет 614,856 млн м<sup>3</sup> [1]. В результате предварительного изучения материалов по техническому состоянию семи оросительных систем в качестве объекта натурных исследований был выбран участок Пролетарского магистрального канала (включая межхозяйственный распределитель ПР-1), который является частью Донского магистрального канала и находится в эксплуатации более 65 лет.

Площадь орошаемых земель, относящаяся к данной водной артерии, составляет более 20 тыс. га. На данной территории осуществляют хозяйственную деятельность 11 водопользователей. При ежегодном сокращении площадей орошения суммарные объемы воды увеличиваются, что вызывает вопросы об эффективности режима функционирования оросительной системы [2].

**Материал и методы.** Согласно нормативным документам [3, 4] был установлен состав инженерных изысканий и объемы отдельных видов работ, приняты методы их выполнения и проведены изыскания.

Инженерно-геодезические изыскания были выполнены на участке Пролетарского канала от головного водозаборного сооружения на ПК 1122 + 00 до перегораживающего сооружения на ПК 1427 + 50 по основной ветви канала общей протяженностью 30,55 км и на участке ПР-1 протяженностью 15 км (рисунок 1). Изыскания проводились по поперечникам, ориентированным перпендикулярно оси канала.



Рисунок 1 – План-схема расположения исследуемого участка

Современные подходы к получению морфометрических характеристик водосборов базируются преимущественно на GNSS (Global Navigation Satellite System – глобальной навигационной спутниковой системе), технологиях получения натуральных данных для моделирования [5].

В связи с тем, что берега (дамбы) исследуемого канала по большей части сильно заросли тростником, а прилегающая территория (подлежащая съемке) – древесно-кустарниковой растительностью, прямая видимость была частично ограничена. Поэтому для съемки поперечных профилей применялось спутниковое оборудование Leica-Viva (GNSS) Leica CS10 3.5G с программным обеспечением Smart Work Viva и приложения для полевых контроллеров CS10. Такая спутниковая аппаратура позволила создать плано-высотное обоснование съемки на участках с ограниченной видимостью.

Камеральная обработка полученных материалов была выполнена с помощью современного специализированного программного комплекса Autodesk AutoCAD Civil 3D.

**Результаты и обсуждение.** Изыскания проводились весной, так как в данный период времени забор воды и транспортировка ее по каналу не осуществлялись. При этом в некоторых локально пониженных местах на участке изысканий в русле наблюдался уровень воды, достигающий порою 0,7 м.

Топографическая съемка осуществлялась в соответствии с требованиями СП 11-104-97 [4]. В результате полевых работ было выполнено следующее:

- обновлена и сгущена плано-высотная съемочная сеть с закреплением точек сети и привязкой ее к исходным геодезическим пунктам государственной сети;
- проведена съемка 52 поперечных профилей на исследуемом участке: 27 поперечных профилей русла Пролетарского канала, включая сечения головного и перегораживающего сооружений, 20 поперечных профилей на ПР-1, пять поперечных профилей на водовыпусках и межхозяйственных распределителях (рисунок 2).



**Рисунок 2 – План-схема расположения поперечных профилей на исследуемом участке Пролетарского канала**

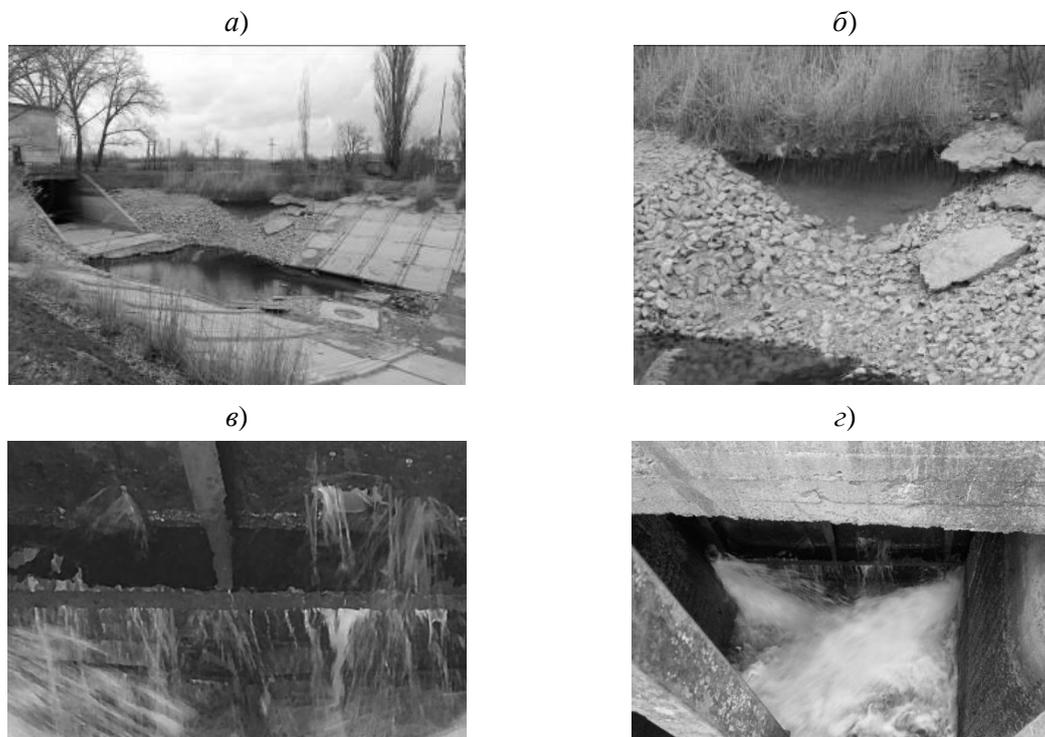
Детальное рекогносцировочное обследование участка изысканий позволило установить, что по всей трассе канала наблюдаются оплывы откосов канала (рисунок 3, *а*). В результате изменения геометрических параметров изначально трапециевидальное сечение канала [6] стремится к параболическому профилю (рисунок 3, *б*). Кроме того, наблюдается интенсивное зарастание откосов канала водной растительностью.



*а* – оплывы откосов; *б* – изменение формы русла канала

**Рисунок 3 – Состояние откосов канала**

В результате обследований водозаборного сооружения Пролетарского магистрального канала был выявлен размыв откосов за водобоем длиной до 40 м (рисунок 4, *а*). На участках крепления откосов бетонными плитами наблюдаются просадки и смещения плит крепления (рисунок 4, *б*). На бетонных поверхностях наблюдаются следы эрозии. Элементы водозаборных сооружений, такие как рабочее запорно-регулирующее оборудование и подъемные механизмы, хотя и находятся в работоспособном состоянии, но имеют значительные коррозионные повреждения (рисунок 4, *в*). Имеет место выработка ходовых частей и протечки (рисунок 4, *г*).



*а* – размыв бетонных откосов за водобоем; *б* – просадки и смещение бетонных плит;  
*в* – коррозионные повреждения затворов; *г* – протечки

**Рисунок 4 – Размыв откосов за водобоем водозаборного сооружения Пролетарского канала и коррозионные повреждения**

В результате проведенных инженерно-геодезических изысканий были разработаны две цифровые модели: гидродинамическая и водохозяйственная [7]. Гидродинамическая модель позволила подтвердить наблюдаемые в ходе полевых исследований явления – наличие размывающих скоростей в результате форсированного заполнения канала вследствие неправильной его эксплуатации. С другой стороны, негативное влияние на эксплуатационные режимы работы канала в ответственный поливной период оказывает его текущее техническое состояние, явно отличающееся от проектных параметров. По результатам анализа сценарных исследований водохозяйственной модели выявлены объемы дефицитов водопотребления и временной интервал их распределения.

**Выводы.** Результаты натурных исследований по оценке технического состояния Пролетарского магистрального канала, а также водозаборных сооружений на нем показали, что техническое состояние его оценивается как работоспособное, т. е. сооружения характеризуются способностью выполнять заданные функции по пропускной способности, по поддержанию заданных уровней воды в верхнем и нижнем бьефах. Но, несмотря на работоспособное техническое состояние водозаборных сооружений и самого канала в целом, для обеспечения надежной и эффективной их работы требуется выполнение комплексного капитального ремонта. Такие мероприятия позволят повысить эффективность водораспределения, коэффициент использования воды и полезного действия оросительной системы в целом, что непременно отразится на урожайности сельскохозяйственных культур.

#### **Список использованных источников**

1 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/archive?n=188&id=193>.

2 Современное состояние и пути решения проблем водохозяйственного использования Пролетарской оросительной системы / Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 12–16.

3 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96: СП 47.13330.2012: утв. Госстроем России 10.12.12: введ. в действие с 01.07.13. – М., 2012. – 117 с.

4 Инженерно-геодезические изыскания для строительства: СП 11-104-97: утв. Госстроем России 14.10.97: введ. в действие с 01.01.98. – М., 1998. – 92 с.

5 Бреева, А. В. Современные подходы к получению морфометрических характеристик водосборов / А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 45–49.

6 Реконструкция Пролетарской ветви Донского магистрального канала Пролетарской оросительной системы, Ростовская область: проект. документация: техн. отчет по инж.-геол. изысканиям. – Ростов н/Д.: Донсельхозводстрой, 2014. – Т. 10, кн. 1. – 53 с.

7 Сенчуков, Г. А. Применение компьютерного моделирования режимов водопотребления и водораспределения для повышения эффективности организации водопользования на оросительных системах / Г. А. Сенчуков, Т. С. Пономаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 27–31.

УДК 626.81:631.6

**А. С. Капустян**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СВЕДЕНИЙ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВОДНЫЙ РЕЕСТР И МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Целью исследований является разработка технологии подготовки и представления сведений для внесения в государственный водный реестр и мониторинг водных объектов. Анализ представленных эксплуатирующими организациями сведений показал необходимость совершенствования процесса сбора и представления сведений по водным объектам. Разработанная технология включает систему кодирования мелиоративных объектов, правила и порядок сбора и обработки представляемых сведений и базу данных по ведению государственного водного реестра и мониторинга водных объектов.*

*Ключевые слова: технология, представление сведений, государственный водный реестр, мониторинг водных объектов, система кодирования, база данных.*

\*\*\*\*\*

**A. S. Kapustyan**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

### **DATA PREPARATION TECHNOLOGY AND ITS NOTIFICATION FOR INCLUSION IN THE STATE WATER REGISTER AND WATER BODIES MONITORING**

*The aim of the research is to develop a technology for data preparing and submitting for inclusion in the state water register and water bodies monitoring. The analysis of the information provided by the operating organizations showed the need to improve the collection and notification of information on water objects. The developed technology includes a coding system for land reclamation facilities, a set of rules and procedures for collecting and processing submitted information and a database on maintaining the state water register and monitoring of water bodies.*

*Key words: technology, notification, the state water register, monitoring of water bodies, coding system, database.*

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 10 апреля 2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» и Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2007 г. № 253 «О порядке ведения государственного водного реестра» Министерство сельского хозяйства Российской Федерации ежегодно должно представлять в Федеральное агентство водных ресурсов сведения о результатах наблюдений за водными объектами, находящимися в ведении Минсельхоза России, и данные о государственных мелиоративных системах и отдельно расположенных ГТС на водных объектах для внесения их в государственный водный реестр и государственный мониторинг водных объектов.

Формы и порядок представления сведений, полученных в результате наблюдения за водными объектами, определены Приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 30 ноября 2007 г. № 316 и Приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 6 февраля 2008 г. № 30 [1, 2].

С 2016 г. сбор и обработку сведений, полученных от эксплуатационных организа-

ций департамента мелиорации Минсельхоза России, выполняет ФГБНУ «РосНИИПМ».

Анализ представленных эксплуатационными организациями сведений показал, что при подготовке сведений нет единого подхода к заполнению форм и таблиц в связи с отсутствием нормативно-методического обеспечения данного вида работ [3].

Для повышения эффективности сбора, обработки и представления сведений, полученных в результате наблюдения за водными объектами, в ФГБНУ «РосНИИПМ» разработана технология подготовки и представления сведений для внесения в государственный водный реестр и мониторинг водных объектов, которая включает кодирование эксплуатирующих организаций департамента мелиорации и мелиоративных объектов, порядок и формы сбора, обработки и представления сведений.

Выполнение работ с применением разработанной технологии предусматривает использование следующих нормативно-методических разработок:

- инструкция по кодированию эксплуатирующих организаций и мелиоративных объектов, подведомственных департаменту мелиорации Минсельхоза России [4];
- методические указания по ведению государственного водного реестра и мониторинга водных объектов, используемых в целях мелиорации [4];
- база данных по ведению государственного водного реестра и мониторинга водных объектов.

Все вышеперечисленные документы одобрены на заседании секции мелиорации НТС Минсельхоза России 22 декабря 2016 г., утверждены и введены в действие приказом директора ФГБНУ «РосНИИПМ» от 17 января 2017 г. № 5.

Ведомственная система кодирования Минсельхоза России устанавливает порядок кодирования эксплуатационных организаций (ФГБУ), водохозяйственных систем (ВХС) и гидротехнических сооружений (ГТС), используемых в целях мелиорации.

Система кодирования предназначена для подведомственных департаменту мелиорации Минсельхоза России эксплуатирующих организаций, осуществляющих наблюдение за водными объектами и представляющих сведения для внесения их в государственный водный реестр и мониторинг водных объектов.

Регистрационные коды разработаны в соответствии с требованиями единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации в Российской Федерации и присвоены эксплуатирующим организациям, водохозяйственным системам и гидротехническим сооружениям.

Ведомственная система кодирования эксплуатирующих организаций и мелиоративных объектов позволяет идентифицировать все объекты мелиорации для внесения их в базу данных.

Методические указания подготовлены с целью формирования единого подхода к сбору и представлению сведений о водных объектах. В указаниях даны разъяснения по внесению сведений в формы мониторинга и таблицы водного реестра, включающие технические характеристики водохозяйственных систем, гидротехнических сооружений, каналов пропускной способностью свыше 1 м<sup>3</sup>/с и отдельно расположенных гидротехнических сооружений на водных объектах. Сведения представляют по мелиоративным объектам, находящимся на балансе у эксплуатирующих организаций и проходящим по бухгалтерской отчетности.

Методические указания определяют порядок, формы и сроки представления сведений о водных объектах, а также правила их подготовки.

Для хранения информационных таблиц базы данных используются книги Excel с поддержкой макросов. Выбор в качестве базового программного обеспечения приложения Microsoft Office был обусловлен его наличием во всех организациях, которые осуществляли наблюдение за водными объектами и собирали актуальную информацию для ведения государственного водного реестра и мониторинга водных объектов, используемых в целях мелиорации. Для работы с базой данных разработана инструкция пользователя базой данных.

Подготовленная база данных позволяет осуществлять различные запросы и выборки по базе данных; получать обобщенные данные; сравнивать данные за разные годы; подготавливать таблицы, обеспечивающие защищенный ввод данных: импортировать в базу данных таблицы, полученные из эксплуатационных организаций; выполнять проверку корректности базы данных; производить автоматическое исправление ошибок в базе данных.

Разработанная технология подготовки и представления сведений для внесения в государственный водный реестр и мониторинг водных объектов формирует единый подход к подготовке и представлению сведений, что позволяет довести их до нормального качества, а также существенно оптимизировать представление сведений по водным и мелиоративным объектам.

На ежегодной сельскохозяйственной выставке «Золотая осень» в 2017 г. разработанная технология была награждена золотой медалью.

#### **Список использованных источников**

1 Об утверждении порядка представления и состава сведений, представляемых Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, для внесения в государственный водный реестр: Приказ М-ва природ. ресурсов Рос. Федерации от 30 нояб. 2007 г. № 316 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

2 Об утверждении форм и порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, собственниками водных объектов и водопользователями: Приказ М-ва природ. ресурсов Рос. Федерации от 6 февраля 2008 г. № 30 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

3 Капустян, А. С. Современное состояние и перспективы представления сведений в государственный мониторинг водных объектов и водный реестр / А. С. Капустян // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 17–21.

4 Нормативно-методическое обеспечение государственного водного реестра и мониторинга водных объектов, используемых в целях мелиорации / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 45 с.

УДК 626.88

**О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Н. Шкура**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

#### **КОМПОНОВОЧНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИКАНАЛЬНЫХ РЫБОВОДНЫХ БАССЕЙНОВ**

*Целью исследований являлась разработка компоновочно-конструктивных решений рыбоводных бассейнов, устраиваемых при оросительных каналах. Объект исследования – приканальные рыбоводные бассейны. Предмет исследования – компоновочно-конструктивные схемы приканальных рыбоводных бассейнов. Результат исследования – компоновочно-конструктивные схемы выростных и нагульных рыбоводных бассейнов с сосредоточенной и рассредоточенной системами питания водой, изымаемой из каналов оросительных систем.*

*Ключевые слова: оросительный канал, рыбоводный бассейн, система водного питания, водовыпуски-водовпуски, водо- и рыбоспуски, молодь рыб, товарная рыба.*

\*\*\*\*\*

**О. А. Baev, A. Ju. Garbuz, V. N. Shkura**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

## CONSTRUCTIVE-LAYOUT ARRANGEMENT OF THE CANALSIDE FISH-BREEDING RESERVOIRS

*The aim of the research was the development of layout-constructive solutions of fish-breeding reservoirs, constructed by irrigation canals. The object of the study is the canalside fish breeding reservoir. The subject of the study is the general arrangement schemes for the canal fishponds. The result of the study is the constructive layout schemes for the raising and feeding reservoirs with in-plant and dispersed water supply systems withdrawn from irrigation canals.*

*Keywords: irrigation canal, fish-breeding reservoir, water supply system, water outlets- water inlets, spillways and downstream fishways, fish juveniles, commercial fish.*

**Введение.** Современные рыбоводные предприятия (хозяйства) предусматривают использование рыбоводных прудов и бассейнов для разведения рыб различного назначения [1]. В прудовых рыбоводных хозяйствах используются нерестовые, мальковые, выростные, нагульные, зимовальные и другие виды прудов. Указанные рыбоводные пруды («рыбоводные чеки») преимущественно устраиваются в пределах пойм природных водотоков и представляют собой разноразмерные (по глубине и в плане) обвалованные углубления в почвогрунтовой толще, заполняемые водой. В гидротехническом отношении они относятся к мелководным искусственно создаваемым водоемам, армированным рыбоводными, водовпускными, водоспускными и другими видами гидротехнических сооружений. К настоящему времени специалистами в области рыбохозяйственной гидротехники совместно с рыбоводами разработаны соответствующие рекомендации по их проектированию, строительству и эксплуатации. Различные конструкции устраиваемых в выемке и (или) полувыемке-полунасыпи рыбоводных прудов отличает конструктивная простота, высокая степень адаптированности к природно-климатическим условиям, низкая стоимость их строительства и природоподобность. При этом им присущи и определенные недостатки, среди которых: низкий уровень управляемости водным режимом, ограничения по геологическим и топографическим условиям, неустойчивость ограждающих пруды дамб, значительные фильтрационные потери воды, зарастаемость и заиляемость ложа, загрязняемость акватории и воды, как среды обитания гидробионтов, значительные затраты на ремонт, восстановление и подготовку прудов к использованию, сложность и трудоемкость ведения уходных работ и дискомфортность условий «ручного» отлова рыб.

Наряду с прудами в современном индустриально-заводском рыбоводстве используются устраиваемые в закрытых помещениях рыбоводные инженерно обустроенные бассейны различного назначения с возможностью искусственного регулирования в них водного, гидрохимического, температурного и пищевого режимов. При высокой рыбопродуктивности такие бассейны характеризуются относительно небольшими размерами и высокой стоимостью 1 м<sup>2</sup> рыбоводной площади.

В части рыбоводных хозяйств используются и рыбоводные пруды (устраиваемые под открытым небом), и устраиваемые в закрытых помещениях рыбоводные бассейны с разделением их рыбоводно-функционального предназначения. При этом в рыбоводных бассейнах (бассейнах для рыборазведения) осуществляют искусственное получение рыбопродукционного материала (икры и молок), их оплодотворение, развитие личинок и подращивание молоди до жизнестойкого состояния. Полученную заводским способом молодь переводят в мальковые пруды или бассейны для последующего ее подращивания. Очевидным достоинством такой системы ведения рыбоводства является более высокий выход рыбоводной продукции на первичных стадиях развития репродукционного материала, а к ее основному недостатку относят значительное увеличение затрат на ее получение.

Учитывая очевидные достоинства и недостатки природоприближенной («макропрудовой»), индустриальной («микробассейновой») и комбинированной технологии

рыбоводства, выдвинули рабочую гипотезу о возможности и целесообразности культивирования рыб в макробассейнах, устраиваемых и функционирующих в естественно складывающихся природно-климатических условиях. На начальном этапе обработки выдвинутой гипотезы обоснована возможность подращивания молоди рыб до стадии сеголетков и (или) производства товарной рыбы из годовиков (при двухлетнем цикле их культивирования) в рыбоводных макробассейнах, функционирующих в естественных климатических условиях. Под рыбоводным бассейном понимается малый (с площадью водного зеркала до 100000 м<sup>2</sup>) искусственный водоем с ложем (дном и откосами), облицованным прочным противоточным покрытием. При этом поставленная цель была сужена до решения первостепенной задачи по обоснованию и разработке конструктивно-компоновочных решений «открытых» (не защищенных от воздействий природной среды) рыбоводных бассейнов, питающихся водой из каналов оросительных систем [2].

**Материал и методы.** За основу при обосновании разработки компоновочно-конструктивных решений приканальных рыбоводных бассейнов приняты известные биологические и гидротехнические требования и рекомендации по проектированию рыбоводных прудов и рыбоводных микробассейнов различного назначения, используемых в полносистемных, рыбопитомных и нерестово-выростных (воспроизводственных) хозяйствах. При решении поставленной задачи использовались методы поисково-конструирования природно-техногенных объектов и систем.

**Результаты и обсуждение.** При разработке компоновочно-конструктивных решений приканальных рыбоводных бассейнов в качестве основных их видов приняты водоемы для подращивания рыбопосадочного материала – сеголетков (выростные бассейны) и водоемы для культивирования товарной рыбы (нагульные бассейны).

Выростные бассейны предназначены для подращивания молоди рыб до стадии сеголетков для последующего их выпуска в нагульные бассейны и (или) природные водные объекты и последующего их роста и развития в естественных условиях (для ведения пастбищной аквакультуры, естественного воспроизводства рыбных ресурсов и (или) расширения биоразнообразия водных объектов вселением в них различных видов рыб). Выпускаемые из выростных рыбоводных бассейнов сеголетки различных видов рыб могут быть конечной продукцией, реализуемой рыбоводным хозяйством. Выростные бассейны зарыбляются подращенной в мальковых бассейнах до жизнестойкой стадии молодь или соответствующим рыбопосадочным материалом, поставляемым из рыбоводных заводов или рыбопитомников. Зарыбление выростных бассейнов производится при устойчивом достижении температуры воды в них, составляющей 10–12 °С. По аналогии с применяемыми рыбоводными прудами и заводскими рыбопродукционными бассейнами приняты нижеприведенные параметры конструкций и условия устройства выростных рыбоводных бассейнов [3]. Площадь зеркала выростного бассейна может составлять  $\omega_{\text{б/выр}} = 1000 \dots 50000 \text{ м}^2$ . Средняя глубина воды в бассейне для V–VI природно-климатической рыбоводной зоны может быть принята равной  $h_{\text{б/выр}} = 1,5 \dots 1,7 \text{ м}$ . Ложе бассейна устраивается разноглубинным с соблюдением нижеследующих рекомендаций: площадь участка бассейна с глубинами до  $h_{\text{б/выр}} = 0,5 \text{ м}$  должна составлять 5 % от площади зеркала бассейна  $\omega_{\text{б/выр}}$ , зона с глубинами 0,5–1,0 м принимается равной 65 %  $\omega_{\text{б/выр}}$ , для  $h_{\text{б/выр}} = 1,0 \dots 1,5 \text{ м}$   $\omega_{1,0-1,5} = 20 \% \omega_{\text{б/выр}}$ , для  $h_{\text{б/выр}} \geq 1,5 \text{ м}$   $\omega_{\geq 1,5} = 10 \% \omega_{\text{б/выр}}$ . Продолжительность заполнения выростного бассейна водой  $t_{\text{зап}}$  принимается равной 5 сут, а его опорожнения  $t_{\text{оп}}$  – 3 сут.

Нагульные бассейны предназначены для выращивания товарной рыбы при их весеннем зарыблении годовиками (для двухлетнего оборота (цикла) культивирования).

Исходя из хозяйственно-экономических соображений могут устраиваться нагуль-

ные бассейны в широком диапазоне их плановых (площадных) размеров от 100 до 100000 м<sup>2</sup>. В производственных целях целесообразно устройство нагульных прудов площадью  $\omega_{б/наг} = 5 \dots 10$  га, а при соответствующем обосновании и более. Средняя глубина нагульных прудов в V–VI природно-климатических рыбоводных зонах принимается равной  $h_{б/наг} = 2,0 \dots 2,2$  м с нижеследующим распределением их площади по глубинам: для  $h_{б/наг} = 0,5$  м  $\omega_{0,5} \leq 5 \% \omega_{б/наг}$ , для  $h_{б/наг} = 0,5 \dots 1,0$  м  $\omega_{0,5-1,0} = 25 \% \omega_{б/наг}$ , для  $h_{б/наг} = 1,0 \dots 1,5$  м  $\omega_{1,0-1,5} = 35 \% \omega_{б/наг}$ , для  $h_{б/наг} = 1,5 \dots 2,0$  м  $\omega_{1,5-2,0} = 30 \% \omega_{б/наг}$  и для  $h_{б/наг} > 2,0$  м  $\omega_{>2,0} = 5 \% \omega_{б/наг}$ . В ложе (дне и откосах) нагульных бассейнов предусматривается устройство системы рыбосборных каналов глубиной и шириной 0,5 м. Продолжительность наполнения и опорожнения нагульных рыбоводных бассейнов принимается в пределах 4–5 ч.

В конструктивном отношении для выростных и нагульных рыбоводных бассейнов определены нижеследующие условия и ограничения по устройству:

- соотношение сторон бассейнов прямоугольной формы (его длины  $L_6$  и ширины  $B_6$ ) принимается в пределах  $L_6 / B_6 = 2,5 \dots 5,0$ ;

- в бассейнах необходимо создать водообмен с полной заменой воды не менее одного раза в 10–15 сут при наличии текущего восстановления потерь на фильтрацию, утечки и испарение и создании в них проточности (определяемой видом рыб);

- каждый бассейн должен быть обеспечен автономными системами (устройствами) водного питания (водообеспечения) и выпуска воды при его опорожнении;

- бассейны оборудуются донным(и) водоспуском(ами) и рыбоспуском(ами) или водорыбоспуском(ами), устраиваемыми в наиболее низко расположенном (низовом) их участке, а за водорыбоспуском устраиваются рыбоуловители;

- в ложе бассейнов устраиваются водорыбосборные канавы для стекания в них воды и ската рыб со всей площади их ложа;

- в конструкциях бассейнов необходимо предусматривать устройство рыбозаградительных элементов, предотвращающих нежелательный выход рыб из них;

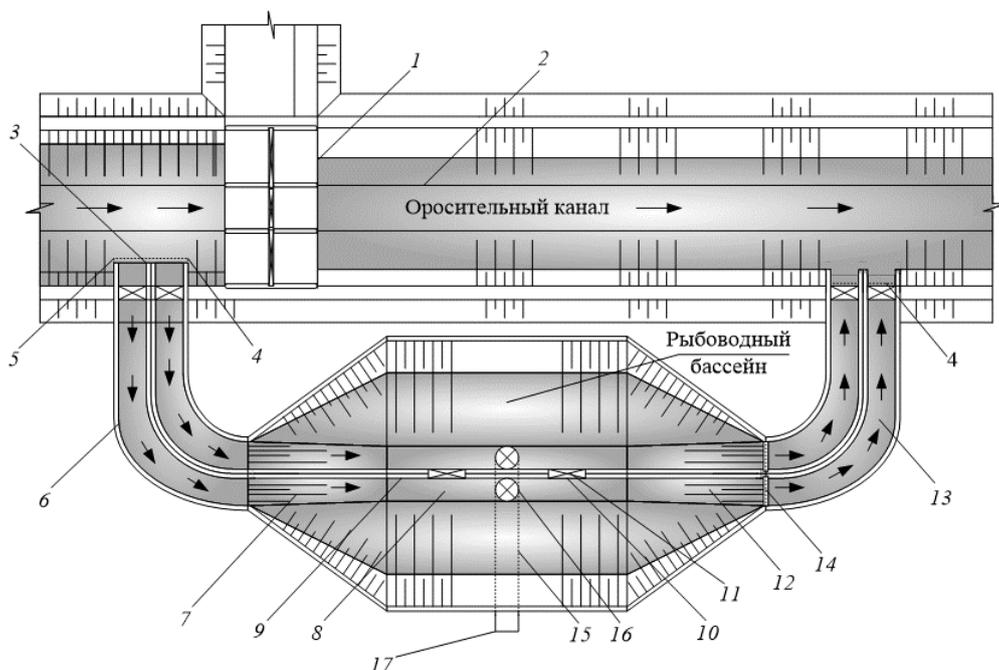
- в бассейнах необходимо предусматривать устройство разноглубинных зон и уклонов откосов и дна в определенных направлениях для ската рыб при их опорожнении.

С учетом вышеприведенных условий, требований и ограничений предлагается два варианта компоновочно-конструктивных решений приканальных рыбоводных выростных и нагульных бассейнов с сосредоточенной и рассредоточенной системами их водного питания из каналов оросительных или обводнительных систем [3].

Конструктивное решение нагульного рыбоводного бассейна с сосредоточенным питанием водой, изымаемой из оросительного канала, приведено на рисунке 1.

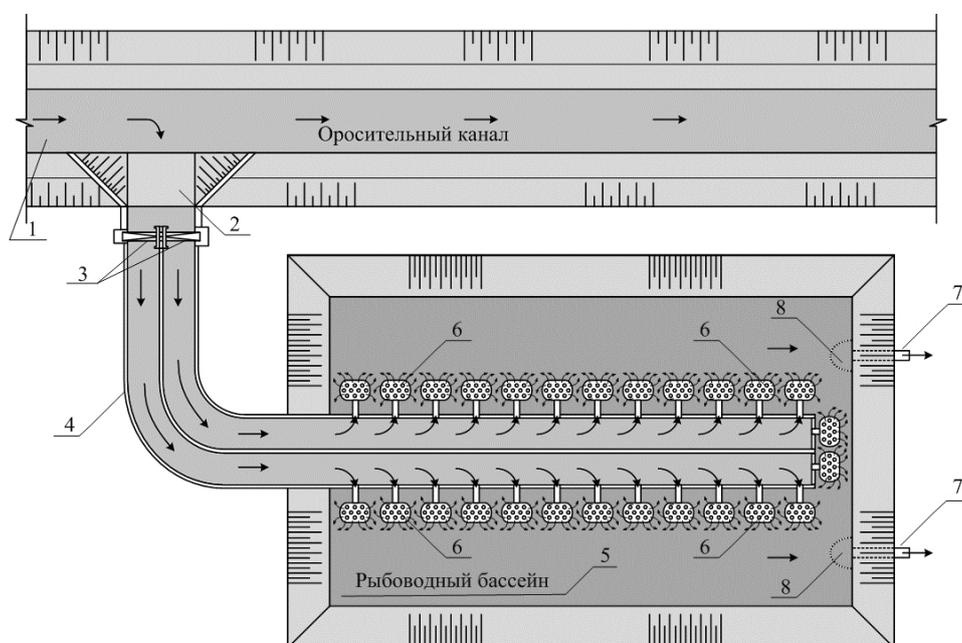
Приведенная на рисунке 1 схема рыбоводного бассейна предусматривает сосредоточенную подачу изымаемой из оросительного канала воды в бассейн с созданием в нем регулируемой проточности и возвратом части водного ресурса в канал (за вычетом объема потерь воды на испарение и фильтрацию). Схема приемлема при наличии в канале необходимого для создания проточности перепада уровней воды между створами забора и выхода водного потока в оросительный канал. Параметры рыбоводного бассейна и его конструктивное исполнение определяются рыбоводно-биологическим обоснованием, водоресурсными возможностями оросительного канала, соответствующими гидравлическими и инженерно-конструкционными расчетами [3].

Для оросительно-рыбоводных комплексов с небольшим водоресурсным потенциалом оросительного канала определенную перспективу имеют компоновочно-конструктивные решения рыбоводных бассейнов с рассредоточенной системой водного питания (рисунки 2).



1 – регулятор уровней; 2 – оросительный канал; 3 – затвор; 4 – сороудерживающие решетки; 5 – водозаборный регулятор; 6 – водопроводящий лоток (трубопровод); 7 – верхняя аванкамера; 8 – рыбоводный (аквакультурный) бассейн; 9 – межсекционная перегородка; 10 – водо- и рыбопускные отверстия; 11 – плоский затвор; 12 – выходная аванкамера; 13 – водовыпускной водовод; 14 – рыбозаградительная сетка; 15 – водо- и рыбопропуск; 16 – отверстия; 17 – водо- и рыботранспортирующий трубопровод

**Рисунок 1 – Конструктивно-компоновочное решение проточного и частично водовозвратного бассейна**



1 – оросительный канал; 2 – водовыпуск-водовпуск; 3 – затворы головного регулятора; 4 – водоподающая галерея; 5 – приканальный рыбоводный бассейн; 6 – дисковые разбрызгиватели – аэраторы; 7 – водоспуск; 8 – рыбопуск

**Рисунок 2 – Компоночно-конструктивное решение приканального рыбоводного бассейна с продольным размещением рассредоточенной системы водного питания**

Приведенная на рисунке 2 схема рыбоводного бассейна предусматривает рас­средоточенную подачу в него аэрированной воды без интенсивного водообмена при относительно низкой степени проточности. Такая схема наиболее приемлема для вы­ростных рыбоводных бассейнов, предназначенных для культивирования сеголетков, или нагульных бассейнов для рыб с относительно низкой плавательной способностью.

**Заключение.** На основе известного опыта ведения рыбоводства в природопри­ближенных условиях (прудового рыбоводства) и в заводских условиях (индустриально-бассейнового рыбоводства) и с учетом известных недостатков и достоинств этих тех­нологий предлагается осуществлять рыбоводное производство в инженерно обустроен­ных бассейнах, устраиваемых и функционирующих в естественно сложившихся и есте­ственно проявляющихся природных условиях (под открытым небом).

Предложены компоновочно-конструктивные схемы устройства выростных и нагульных рыбоводных бассейнов с сосредоточенной и рассредоточенной системами водного питания, обеспечивающие условия для ведения рыбоводства и аквакультуры.

#### Список использованных источников

1 Привезенцев, Ю. А. Рыбоводство / Ю. А. Привезенцев, В. А. Власов. – М.: Мир, 2004. – 456 с.

2 Справочник по проектированию прудовых предприятий / Э. В. Гриневский [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1990. – 223 с.

3 Конструктивные схемы и методики гидравлического расчета элементов рыбо­водных комплексов на базе оросительно-обводнительных каналов / В. Н. Шкура, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018. – 43 с.

УДК 631.674.6

**А. С. Штанько, В. Н. Шкура**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПОРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ САМОНАПОРНЫХ КАПЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Цель исследования – разработка методики определения параметров напораак­кумулирующих водоводов самонапорных оросительных систем. Объект исследования – напорааккумулирующий трубопровод самонапорной капельной оросительной системы. Предмет исследования – способы и методы определения параметров напорааккуму­лирующего трубопровода самонапорных систем капельного орошения. В процессе иссле­дования проводилась адаптация известных зависимостей для гидравлического расчета закрытой трубопроводной напорной сети к определению параметров напорааккуму­лирующего трубопровода самонапорной системы капельного орошения растений. В ре­зультате исследования получена и представлена методика определения внутреннего диаметра трубопровода, суммарных потерь напора в нем, величины аккумулируемого в трубопроводе напора в различных его сечениях (в створах устройства водоводов) и в выходном его оголовке (концевом сечении – водоотводе).*

*Ключевые слова: самонапорная оросительная система, напорааккумулирующий трубопровод, напор, гидравлический расчет, диаметр трубопровода, потери напора.*

\*\*\*\*\*

**A. S. Shtanko, V. N. Shkura**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

## PARAMETERS DETERMINATION OF PRESSURE-ACCUMULATING PIPELINES FOR GRAVITY DRIP IRRIGATION SYSTEMS

*The aim of the research is the development of methodology for determining the parameters of the pressure-accumulating water conduits of gravity irrigation systems. The object of the study is pressure-accumulating pipeline of gravity drip irrigation system. The subject of the research is the techniques and methods for determining the parameters of the pressure-accumulating pipeline of gravity drip irrigation systems. During the investigation adaptation of known dependencies for the hydraulic calculation of a closed pipeline pressure network on determining the parameters of the pressure accumulating pipeline of a gravity drip irrigation system was performed. As a result of the study, a method for determining the internal diameter of the pipeline, the total head loss in it, the value of the pressure accumulated in the pipeline in its various sections (in the gates of a spillway) and in its culvert outlet (the end section) is obtained and presented.*

*Key words: gravity irrigation system, pressure accumulating pipeline, head, hydraulic calculation, pipeline cross section, head loss.*

**Введение.** В используемых в настоящее время напорных оросительных системах имеют место значительные затраты средств на обеспечение их электрической энергией, что приводит к снижению их технико-экономических показателей и экономической эффективности ведения орошаемого земледелия. Имеющий место и прогнозируемый в перспективе рост тарифов на электрическую энергию и потребляемые при орошении водные ресурсы побуждает гидромелиораторов к поиску и более широкому использованию способов, технологий и систем орошения с низким (малым) потреблением воды и энергии. Из обширного спектра разработанных и все более широко используемых способов и технологий полива вышеуказанному требованию в части водо- и энергоемкости отвечает капельное орошение и обеспечивающие его самонапорные капельные оросительные системы, которые являются внешнеэнергонезависимыми и используют гидроэнергетический ресурс местности для создания требуемого для функционирования технологического оборудования напора. Напорообразующий узел данной системы до настоящего времени не находил широкого применения в мелиоративной практике, в связи с чем наблюдается дефицит сведений по его расчетам, что является сдерживающим фактором для применения таких систем на практике. В связи с этим целью данного исследования определена разработка методики установления параметров напороаккумулирующих водоводов самонапорных систем капельного орошения.

**Материалы и методы.** Последовательность выполнения расчета гидравлических характеристик и геометрических параметров напороаккумулирующего трубопровода была определена на основе анализа имеющегося опыта расчета напорных трубопроводов. При разработке методики определения параметров напороаккумулирующих водоводов самонапорных оросительных систем использовались известные и авторские зависимости для установления гидравлических характеристик трубопроводов. В процессе исследований проводилась их адаптация с учетом условий и требований функционирования напорообразующего узла самонапорной капельной оросительной системы.

**Результаты и обсуждение.** Схема напорообразующего узла самонапорной оросительной системы, предложенной ФГБНУ «РосНИИПМ», представлена на рисунке 1.

В самонапорных капельных системах напор водного потока на входе в ее технологическую часть должен обеспечивать функционирование технологического оборудования и оросительной сети. Это условие можно представить в виде соотношения:

$$H_{\text{тр}} = l_{\text{тр}} \cdot J_{\text{тр}} + h_{\text{в}} = H_{\text{с}}, \quad (1)$$

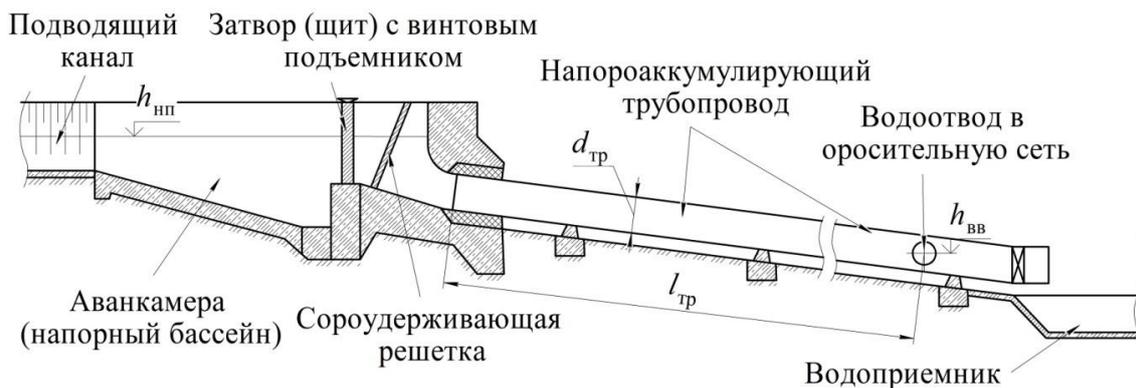
где  $H_{\text{тр}}$  – напор (давление) в напороаккумулирующем трубопроводе в сечении, соответствующем расположению водотока из него в технологическую часть системы, м;

$l_{\text{тр}}$  – длина трубопровода или его части, в пределах которой определяются линейные потери напора (потери по длине) и в пределах которой его геометрические, технические и гидравлические параметры поддерживаются постоянными;

$J_{\text{тр}}$  – средний уклон местности по трассе трубопровода (уклон водовода);

$h_{\text{w}}$  – общие потери напора в напороаккумулирующем трубопроводе, м;

$H_{\text{с}}$  – напор, необходимый для функционирования оборудования системы капельного орошения на входе в ее трубопроводную сеть (на водовыпуске из напороаккумулирующего трубопровода – водовыпуске в систему, участок или модуль), м.



$h_{\text{нп}}$  – отметка уровня воды в напорном бассейне, м;  $h_{\text{вв}}$  – отметка уровня водоотвода в оросительную сеть, м;  $d_{\text{тр}}$  – диаметр трубопровода, м;  $l_{\text{тр}}$  – длина трубопровода, м

**Рисунок 1 – Схема напорообразующего узла**

Гидравлическим расчетом напороаккумулирующего трубопровода устанавливается величина внутреннего диаметра и потери напора в нем. В результате расчета определяется величина аккумулируемого в трубопроводе напора в различных его сечениях.

Внутренний диаметр трубопровода  $d_{\text{тр}}$ , м, определяется по зависимости:

$$d_{\text{тр}} = 1,129 \sqrt{Q_{\text{тр}} / \bar{V}_{\text{тр}}},$$

где  $Q_{\text{тр}}$  – расход напороаккумулирующего трубопровода, определяемый водопотребностью «подвешенной» к нему площади капельно орошаемых угодий, устанавливаемый расчетами по водопотреблению капельной системы (орошаемого участка), м<sup>3</sup>/с;

$\bar{V}_{\text{тр}}$  – средняя скорость течения потока в напороаккумулирующем трубопроводе, м/с, величина которой принимается в пределах от 0,5 до 3,0 м/с. При выборе расчетной скорости водного потока в водоводе учитываются нижеследующие обстоятельства:

- возможность транспортирования по трубопроводу попадающих в него взвесей и твердых минеральных частиц (наносов) определенного размера и веса (гидравлической крупности) или смыва возможных наносных отложений;
- минимизация потерь напора в напороаккумулирующем трубопроводе;
- минимизация расходов на устройство и эксплуатацию трубопровода.

При определении наиболее приемлемой с гидравлических и хозяйственных позиций средней скорости течения, а следовательно и диаметра трубопровода, решается оптимизационная задача, учитывающая вышеуказанные обстоятельства.

Потери напора по длине напороаккумулирующего трубопровода при турбулентном режиме течения воды в нем определяются по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$h_{l_{\text{тр}}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot l_{\text{тр}} \cdot \bar{V}_{\text{тр}}^2 / 2 \cdot g \cdot d_{\text{тр}},$$

где  $h_{\text{тр}}$  – потери напора по длине напорноаккумулирующего трубопровода, м;

$\lambda_{\text{тр}}$  – экспериментально устанавливаемый параметр (коэффициент) гидравлического сопротивления движению водного потока по длине напорного трубопровода;

$l_{\text{тр}}$  – длина трубопровода или его части, в пределах которой определяются линейные потери напора (потери по длине) и в пределах которой его геометрические, технические и гидравлические параметры поддерживаются постоянными;

$\bar{V}_{\text{тр}}$  – средняя скорость напорного движения (течения, перемещения) водного потока во внутренней полости напорноаккумулирующего трубопровода с принятым стандартным диаметром, м/с, определяемая по нижеследующему соотношению:

$$\bar{V}_{\text{тр}} = Q_{\text{тр}} / \omega_{\text{тр}} = 4 \cdot Q_{\text{тр}} / \pi \cdot d_{\text{тр}}^2,$$

где  $Q_{\text{тр}}$  – расход воды, протекающей по напорноаккумулирующему трубопроводу, м<sup>3</sup>/с;

$\omega_{\text{тр}}$  – площадь поперечного сечения внутренней полости трубопровода, м<sup>2</sup>;

$\pi = 3,14$  – математическая константа, характеризующая параметры окружности;

$d_{\text{тр}}$  – принятая величина внутреннего диаметра напорного трубопровода, м;

$g = 9,81$  – ускорение свободного падения физических тел в воздушной среде, м/с<sup>2</sup>.

Величина коэффициента гидравлического сопротивления движению водного потока в напорном трубопроводе зависит от гидравлических характеристик потока и характерных параметров трубопровода. При определении значения коэффициента гидравлического сопротивления напорному течению водного потока в трубопроводах используется ряд известных зависимостей, отдельные из которых рассмотрены ниже:

- по зависимости, полученной Н. Н. Павловским, в виде:

$$\lambda_{\text{тр}} = 8 \cdot g \cdot n_{\text{тр}}^2 \cdot (4/d_{\text{тр}})^{2 \cdot y},$$

где  $n_{\text{тр}}$  – коэффициент шероховатости внутренней полости трубы;

$y$  – экспериментальный параметр, определяемый по зависимости:

$$y = 2,5 \cdot n_{\text{тр}} - 0,75 \cdot (n_{\text{тр}}^{0,5} - 0,1) \cdot R_{\text{тр}}^{0,5} - 0,13,$$

где  $R_{\text{тр}} = 0,25 \cdot d_{\text{тр}}$  – гидравлический радиус живого сечения водного потока, м;

- при числе Рейнольдса, определяющем характер течения водного потока, устанавливаемом по зависимости:  $Re = \bar{V}_{\text{тр}} \cdot d_{\text{тр}} / \nu$  (где  $\nu$  – параметр кинематической вязкости воды (кинематический коэффициент вязкости), определяемый по зависимости:  $\nu = 1,72 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,025 t_{\text{в}}}$ , где  $t_{\text{в}}$  – температура воды, °С;  $e$  – основание натурального логарифма,  $e = 2,718$ ) и изменяющемся в диапазоне от 2000 до 3000, значение параметра  $\lambda_{\text{тр}}$  может быть определено по зависимостям Блазиуса ( $\lambda_{\text{тр}} = 0,3164 / Re^{0,25}$ ) или Френкеля ( $\lambda_{\text{тр}} = 2,7 / Re^{0,53}$ );

- в случае выраженного турбулентного режима течения потока ( $Re > 2320$ ) при расчетах значений  $\lambda_{\text{тр}}$  можно воспользоваться нижеприведенными зависимостями:

а) формулой Конакова в виде:  $\lambda_{\text{тр}} = (1,81 \cdot \lg Re - 1,5)^{-2}$ ;

б) формулой Альтшуля в виде:  $\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{Re} + \frac{\Delta_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}} \right)^{0,25}$ ;

в) формулой Никурадзе в виде:  $\lambda_{\text{тр}} = \left( 1,74 + 2 \cdot \lg \frac{d_{\text{тр}}}{\Delta_{\text{тр}}} \right)^{-2}$ ;

г) формулой Шифринсона в виде:  $\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \cdot (\Delta_{\text{тр}} / d_{\text{тр}})^{0,25}$ ;

д) формулой Павловского в виде:  $\lambda_{\text{тр}} = 8 \cdot g \cdot \Delta_{\text{тр}}^2 \cdot (4/d_{\text{тр}})^{3 \cdot \sqrt{\Delta_{\text{тр}}}}$ ;

е) при  $Re \geq 920000 \cdot d_{\text{тр}}$  по зависимости:  $\lambda_{\text{тр}} = 0,21 \cdot d_{\text{тр}}^{-0,3}$ , а при  $Re < 920000 \cdot d_{\text{тр}}$

по зависимости:  $\lambda_{\text{тр}} = \left[ \left( 0,0000015 + \frac{v_{\text{в}}}{\bar{V}_{\text{тр}}} \right) / d_{\text{тр}} \right]^{0,3}$ , где  $\Delta_{\text{тр}}$  – абсолютная шероховатость внутренней поверхности трубы, определяемая видом материала или покрытия, мм [1].

Известны предложения и зависимости [2] для определения линейных потерь напора в трубопроводах, приведенных к единице его длины. Для принятой единицы длины напоронаккумулирующего трубопровода  $l_{\text{тр}} = 1$  м эти зависимости имеют вид, м:

- для стальных труб при средней скорости потока  $\bar{V}_{\text{тр}} \geq 1,2$  м/с:

$$h_{l=1\text{м}} = 0,00107 \cdot \bar{V}_{\text{тр}}^2 / d_{\text{тр}}^{1,3};$$

- для стальных труб при средней скорости потока  $\bar{V}_{\text{тр}} < 1,2$  м/с:

$$h_{l=1\text{м}} = 0,000912 \cdot \bar{V}_{\text{тр}}^2 / d_{\text{тр}}^{1,19} \cdot (1 + 0,861 / \bar{V}_{\text{тр}})^{0,3};$$

- для асбестоцементных труб при скорости  $0,5 < \bar{V}_{\text{тр}} < 1,2$  м/с:

$$h_{l=1\text{м}} = 0,000561 \cdot \bar{V}_{\text{тр}}^2 / d_{\text{тр}}^{1,19} \cdot (1 + 3,51 / \bar{V}_{\text{тр}})^{0,3};$$

- для железобетонных труб при средней скорости  $\bar{V}_{\text{тр}} \geq 1,23$  м/с:

$$h_{l=1\text{м}} = 0,00109 \cdot \bar{V}_{\text{тр}}^2 / d_{\text{тр}}^{1,254};$$

- для железобетонных труб при средней скорости  $\bar{V}_{\text{тр}} < 1,23$  м/с:

$$h_{l=1\text{м}} = 0,0008 \cdot \bar{V}_{\text{тр}}^2 / d_{\text{тр}}^{1,254} \cdot (1 + 2 / \bar{V}_{\text{тр}})^{0,254};$$

- для пластмассовых труб при скорости в них  $0,5 < \bar{V}_{\text{тр}} < 3,0$  м/с:

$$h_{l=1\text{м}} = 0,000685 \cdot \bar{V}_{\text{тр}}^{1,774} / d_{\text{тр}}^{1,226}.$$

Линейные потери напора в трубопроводе  $h_l$  можно определить по формуле:

$$h_l = \xi_l \cdot Q_{\text{тр}}^2 \cdot l_{\text{тр}},$$

где  $\xi_l$  – параметр, характеризующий удельное сопротивление движению водного потока в напорном трубопроводе, определяемый по зависимости,  $\text{с}^2/\text{м}^6$ :  $\xi_l = 0,827 \cdot \lambda_{\text{тр}} \cdot d_{\text{тр}}^{-5}$ .

Значения параметра  $\xi_l$  принимаются по данным его экспериментального определения в различных видах труб или рассчитываются по формуле Н. Н. Павловского:

$$\xi_l = 0,282 \cdot n_{\text{тр}}^{0,5} \cdot (4/d_{\text{тр}})^2,$$

где  $n_{\text{тр}}$  – коэффициент шероховатости внутренней поверхности трубы [3].

При расчете линейных потерь напора в трубопроводах с разными параметрами их значения определяются по отдельным физически и гидравлически однородным участкам, а общие потери определяются их суммированием, т. е.  $h_{l_{\text{тр}}} = \sum (h_{l_{\text{тр}}})_i$ .

Кроме линейных потерь напора определяются местные потери на входе в напорный бассейн и трубопровод, на сороудерживающей решетке, на задвижках (затворах), на поворотах, сварных швах, на выходе из трубопровода. При определении местных потерь напора  $h_{\text{мп}}$  используется зависимость Вейсбаха в виде, м:

$$h_{\text{м/п}} = \xi_{\text{м}} \cdot \bar{V}_{\text{тр}}^2 / 2 \cdot g,$$

где  $\xi_{\text{м}}$  – экспериментальный коэффициент, учитывающий характер местных изменений параметров водовода и величину числа Рейнольдса. При расчете значений этих коэффициентов используются известные экспериментальные зависимости [3–6].

Потери напора на входе в напорноаккумулирующий трубопровод определяются его размером, характером втекания водного потока в трубопровод, наличием во входном оголовке конструктивных элементов.

Величина коэффициента гидравлического сопротивления, учитывающего потери напора на входе в напорноаккумулирующий трубопровод, может быть определена по зависимости:

$$\zeta_{\text{вх}} = (\varepsilon^{-1} - 1)^2,$$

где  $\varepsilon$  – эмпирический коэффициент, который может быть определен по зависимости А. Д. Альтшуля в виде:

$$\varepsilon = 0,57 + 0,043 / (1,1 - \alpha_{\text{сж}}),$$

где  $\alpha_{\text{сж}}$  – параметр, характеризующий степень сжатия водного потока на входе в напорноаккумулирующий трубопровод:

$$\alpha_{\text{сж}} = \omega_{\text{бас}} / \omega_{\text{тр}},$$

где  $\omega_{\text{бас}}$  – площадь поперечного сечения водного потока в напорном бассейне непосредственно перед входным оголовком водовода, м<sup>2</sup>;

$\omega_{\text{тр}}$  – площадь внутреннего сечения напорного трубопровода, м<sup>2</sup>.

Коэффициент местного гидравлического сопротивления движению турбулентного потока в трубопроводах на поворотах может быть определен по нижеприведенным адаптированным к условиям напорноаккумулирующего трубопровода зависимостям:

- при центральном угле поворота трубопровода  $10^\circ \leq \phi_{\text{тр}} \leq 180^\circ$ :

$$\zeta_{\text{пов}} = [0,20 + 0,001 \cdot (100 \cdot \lambda)^8] \cdot \sqrt{d_{\text{тр}} / R} \cdot (0,426 \cdot \ln \phi_{\text{тр}} - 0,905),$$

где  $R$  – радиус поворота напорноаккумулирующего трубопровода, м;

- при плавном повороте оси трубопровода на угол  $\phi_{\text{тр}} < 90^\circ$ :

$$\zeta_{\text{пов}} = \sin \phi_{\text{тр}} [0,20 + 0,001 \cdot (100 \cdot \lambda)^8] \cdot \sqrt{d_{\text{тр}} / R};$$

- при плавном повороте оси трубопровода на угол  $\phi_{\text{тр}} = 90^\circ$ :

$$\zeta_{\text{пов}} = [0,20 + 0,001 \cdot (100 \cdot \lambda)^8] \cdot \sqrt{d_{\text{тр}} / R};$$

- при плавном повороте оси трубопровода на угол  $\phi_{\text{тр}} > 90^\circ$ :

$$\zeta_{\text{пов}} = (0,70 + 0,0039 \cdot \phi_{\text{тр}}) \cdot [0,20 + 0,001 \cdot (100 \cdot \lambda)^8] \cdot \sqrt{d_{\text{тр}} / R}.$$

Коэффициент местных потерь напора на стыках труб определяется по формуле:

$$\zeta_{\text{пов}} = 13,8 \cdot (\delta_{\text{ст}} / d_{\text{тр}})^{1,5} \cdot n_{\text{ст}},$$

где  $\delta_{\text{ст}}$  – высота выступа сварного стыка над поверхностью трубы, мм;

$n_{\text{ст}}$  – количество сварных стыков по длине трубопровода, шт.

Потери напора на водоотводах из трубопровода  $h_{\text{в/о}}$ , м, могут определяться по зависимости:  $h_{\text{в/о}} = \bar{V}_{\text{отв}}^2 / 2 \cdot g$ , а на межотводном участке  $h_{\text{м/в}}$ , м, устанавливается по формуле:  $h_{\text{м/в}} = \left[ (\bar{V}_{\text{тр}})_{\text{д/в}}^2 - (\bar{V}_{\text{тр}})_{\text{п/в}}^2 \right] / 2 \cdot g$ , где  $\bar{V}_{\text{отв}}$  – средняя скорость водного потока в водоотводе, м/с;  $(\bar{V}_{\text{тр}})_{\text{д/в}}$  – средняя скорость водного потока в трубопроводе до створа

водоотвода из него, м/с;  $(\bar{V}_{\text{тр}})_{\text{п/в}}$  – средняя скорость потока в трубопроводе после водоотвода, м/с.

После определения всех видов потерь напора в напороаккумулирующем трубопроводе путем их суммирования определяются общие потери напора  $h_w$  и далее по зависимости (1) устанавливается формируемый в напороаккумулирующем трубопроводе напор  $H_{\text{тр}}$  в сечении, соответствующем расположению водоотвода из него в технологическую часть орошаемого участка. Если полученный напор  $H_{\text{тр}}$  больше напора, необходимого для функционирования системы капельного орошения на входе в нее  $H_c$ , или равен ему ( $H_{\text{тр}} \geq H_c$ ), то расчет считается завершенным. При несоблюдении данного требования необходимо уменьшить потери напора или использовать малонапорное технологическое оборудование капельного полива.

### Выводы

1 В результате исследования установлено, что для расчета параметров напороаккумулирующего трубопровода самонапорных систем капельного орошения возможно использовать существующие формулы и зависимости для определения гидравлических характеристик напорных трубопроводов, которые необходимо адаптировать к условиям напорообразующего узла самонапорной системы капельного орошения.

2 Предложенная методика базируется на известных формулах и зависимостях и включает следующие основные этапы: определение внутреннего диаметра напороаккумулирующего трубопровода, определение всех видов потерь напора в нем, установление формируемого в напороаккумулирующем трубопроводе напора в требуемом сечении и сопоставление полученной величины напора с требуемой для обеспечения функционирования технологического оборудования капельного полива.

### Список использованных источников

1 Шевелев, Ф. А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах / Ф. А. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1953. – 208 с.

2 Шумаков, Б. Б. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / Б. Б. Шумаков. – М.: Колос, 1999. – 492 с.

3 Справочник по гидравлике / В. А. Большаков, Ю. М. Константинов, В. Н. Попов, В. Ю. Даденков; под ред. В. А. Большакова. – Киев: Высш. шк., 1977. – 280 с.

4 Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 560 с.

5 Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. – 312 с.

6 Степанов, П. М. Справочник по гидравлике для мелиораторов / П. М. Степанов, И. Х. Овчаренко, Ю. А. Скобельцын. – М.: Колос, 1984. – 207 с.

УДК 631.67

### Э. Э. Сейтумеров

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

## РОЛЬ МЕСТНОГО СТОКА В КРЫМУ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Полуостров Крым является регионом Российской Федерации, наименее обеспеченным собственными водными ресурсами. До воссоединения с Россией основным источником пресной воды для Крыма являлся Северо-Крымский канал, по которому на полуостров поступало с территории Украины до 85 % потребляемой пресной воды.*

*Проблемы совершенствования водохозяйственного комплекса и пути повышения его эффективности чрезвычайно актуальны для полуострова в сложившейся водodefицитной ситуации. Это немаловажно в связи с имеющим место противоречием между значимостью природных ресурсов не только для жизнеобеспечения человека, но и для экономики Крыма в целом и недостаточностью внимания к проблемам регулирования, контроля и воспроизводства ресурсов. Актуальность вопроса тесно связана со степенью разработанности проблемы. Если останавливаться на природных аспектах, то можно сказать, что они рассмотрены достаточно подробно. В этой области существует значительное количество научных работ, посвященных данной тематике. Это работы А. Н. Олиферова, Е. А. Позаченюк, В. И. Гордеева, Н. А. Закусилова, А. В. Лушчика, З. В. Тимченко, И. Я. Половицкого и др. Что же касается организационно-экономических аспектов водопользования, то они недостаточно проанализированы и на данный момент нет полного осознания всей глубины существующих проблем.*

*Ключевые слова: местный сток воды, дефицит воды, водные ресурсы, орошаемые земли, реки, пруды, продовольственная безопасность.*

\*\*\*\*\*

**E. E. Seytumerov**

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

### **THE ROLE OF LOCAL RUN-OFF IN THE CRIMEA AND WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF ITS USE**

*The peninsula Crimea is a region of the Russian Federation, the least provided with its own water resources. Before reunification with Russia, the main source of fresh water for the Crimea was the North-Crimean Canal, through which up to 85 % of supplied fresh water came from the territory of Ukraine to the peninsula. The problems of developing the water resources complex and ways to improve its efficiency are extremely important for the peninsula in the current water-shortage situation. This is essential in connection with the existing contradiction between the significance of natural resources not only for human life support, but for the economy of the Crimea as a whole and the lack of attention to the problems of regulation, control and reproduction of natural resources. The urgency of the issue is closely connected with the degree of problem development. As for the nature aspects, we can say that they are considered in reasonable detail. In this area there is a significant number of scientific papers devoted to this subject. These are the works of A. N. Oliferov, E. A. Pozachenyuk, V. I. Gordeev, N. A. Zakusilov, A. V. Lushchik, Z. V. Timchenko, I. Ya. Polovitsky and others. As for the organizational-economic aspects of water use, they are insufficiently analyzed and at the moment there is no full awareness of the depth of the current problems.*

*Key words: local runoff, water shortage, water resources, irrigated lands, rivers, ponds, food security.*

**Введение.** Засушливые погодные условия последних лет и прогноз на следующие годы служат наглядным примером значимости орошаемого земледелия для экономики Крыма, поскольку наблюдается существенный недобор важнейших сельскохозяйственных продуктов – зерна, овощей, технических культур, фруктов и кормов, сказываются неблагоприятные условия и на снижении производства продукции животноводства [1].

Вследствие этого перед Правительством Республики Крым, сельскохозяйственной, водохозяйственной отраслями наук стоит сложная задача – изыскать резервные источники воды для покрытия образовавшегося дефицита водных ресурсов и обеспечить продовольственную безопасность.

В настоящее время единственным источником покрытия дефицита водных ресурсов полуострова могут быть только местные водные ресурсы, включающие поверхностные (реки, пруды, пресные озера и т. п.), подземные воды, разведанные и оценен-

ные запасы которых составляют около 400 млн м<sup>3</sup>/год [2], и небольшая часть опресненной морской воды, используемая исключительно для технических нужд [3].

Население Республики Крым, по данным на 1 марта 2014 г., составляет 1,96 млн чел. Большая часть жителей (63 %) проживает в городах. Рекомендованное водопотребление населения, в соответствии с требованиями СП 31.13330.2012, составляет 250 л/(чел.·сут) для города и 170 л/(чел.·сут) для сельских населенных пунктов. Для полива городских территорий и приусадебных участков водопотребление составляет 70 л/(чел.·сут).

Перспективное водопотребление республики без учета затрат на орошение на 2020 г. с учетом роста населения, количества туристов и потребления промышленностью составит 244,22 млн м<sup>3</sup>/год, в т. ч. водопотребление городского населения – 109,63 млн м<sup>3</sup>/год, сельского населения – 63 млн м<sup>3</sup>/год, туристов – 17 млн м<sup>3</sup>/год, на производственные нужды – 26,10 млн м<sup>3</sup>/год, на полив – 28,47 млн м<sup>3</sup>/год.

Рекреация имеет большое значение для экономики полуострова. Водопотребление туристической отрасли дифференцировано по времени, месту и типу пребывания (санатории, пансионаты, дома отдыха, детские лагеря, городской и сельский частный сектор, кемпинги) и носит сезонный характер.

Водоснабжение промышленности Республики Крым предполагает небольшие затраты водных ресурсов. Основными ее отраслями являются пищевая промышленность (на которую приходится 38,9 % потребления водных ресурсов), машиностроение и металлообработка – 33,5 %, химическое производство – 9,1 %, производство строительных материалов – 4,4 %.

Из всей площади сельхозугодий на орошаемую в 1990 г. приходилось 400 тыс. га, что составляло 22 %. В 2013 г. на орошение 137 тыс. га было подано всего 683,6 млн м<sup>3</sup> воды, из которых на зернокармливые культуры израсходовано 214,9 млн м<sup>3</sup>, а на рис – 468,7 млн м<sup>3</sup>.

Обеспечение водными ресурсами орошаемых земель до последнего времени решалось преимущественно за счет вод Северо-Крымского оросительно-обводнительного канала, построенного в 1961–1971 гг.

Основными местными источниками воды для Крыма являются поверхностные и подземные воды, и их объем во многом зависит от климатических и погодных условий. Есть много снега и дождей – есть водообеспеченность территории на какой-то период, но к концу лета – началу осени обычно начинается дефицитный период.

На территории Крыма в маловодные годы образовывается около 1 млрд м<sup>3</sup> воды ежегодно и до 8 млрд м<sup>3</sup> в многоводные. Водохозяйственный комплекс полуострова включает 1657 рек, ручьев и балок общей длиной 5996 км, более 300 озер (почти все из них соленые, за исключением нескольких находящихся в горных районах), 23 водохранилища общим объемом 0,4 км<sup>3</sup> и 1872 оросительных пруда. Основными реками являются Салгир, Кача, Альма, Бельбек, Индол, Бюк-Карасу, Черная, Бурульча. Самой длинной является р. Салгир (220 км), самой полноводной – р. Бельбек (среднегодовой сток воды – 2,1 м<sup>3</sup>/с) [4].

Пруды, несмотря на относительно малые объемы аккумулированной воды, являются источником водных ресурсов, используемых для различных целей. Источником наполнения прудов являются реки, родники, осадки, поверхностный сток, сточные и дренажные воды, подземные воды, в т. ч. воды Северо-Крымского канала (СКК) до марта 2014 г. Из СКК пополнялись 164 пруда, которые можно исключить из перечня прудов Крыма до принятия решения о поставках воды в Крым по СКК.

**Материалы и методы.** В Республике Крым согласно инвентаризации 2011 г. насчитывается 1872 пруда с общим проектным объемом воды 205,87 млн м<sup>3</sup> (таблица 1). Если исключить из общего перечня пруды, наполняемые из СКК (164 шт.), то количество действующих прудов составит 1708 [5].

**Таблица 1 – Объемы и площадь прудов по районам Республики Крым**

| Территориальная единица  | Количество | Площадь зеркала, га | Объем, тыс. м <sup>3</sup> |
|--------------------------|------------|---------------------|----------------------------|
| Бахчисарайский           | 232        | 344,33              | 14152,73                   |
| Белогорский              | 233        | 510,85              | 17149,24                   |
| Джанкойский              | 64         | 904,94              | 9854,6                     |
| Кировский                | 116        | 365,11              | 7112,55                    |
| Красногвардейский        | 98         | 179,41              | 6178,74                    |
| Краснопереконский        | 170        | 4572,62             | 59836,03                   |
| Ленинский                | 114        | 721,71              | 14047,83                   |
| Нижнегорский             | 50         | 1079,13             | 12424,95                   |
| Первомайский             | 22         | 71,92               | 1232,4                     |
| Раздольненский           | 85         | 708,24              | 10055,9                    |
| Сакский                  | 97         | 699,37              | 9824,08                    |
| Симферопольский          | 267        | 534,94              | 14131,55                   |
| Советский                | 69         | 509,08              | 6356,73                    |
| Черноморский             | 9          | 294,8               | 3328                       |
| г. Алушта                | 64         | 65,07               | 2694,4                     |
| г. Джанкой               | 1          | 6,7                 | 45,9                       |
| г. Евпатория             | 3          | 6,9                 | 41,8                       |
| г. Керчь                 | 3          | 22,3                | 303                        |
| г. Симферополь           | 27         | 36,52               | 1098,82                    |
| г. Судак                 | 41         | 119,99              | 5099,94                    |
| г. Феодосия              | 58         | 655,98              | 9963,03                    |
| г. Ялта                  | 49         | 23,96               | 937,03                     |
| Итого по Республике Крым | 1872       | 12433,87            | 205869,25                  |

Наибольшее количество прудов расположено в Симферопольском (267), Бахчисарайском (232) и Белогорском районах (233).

Пруды используются для целей орошения (248), в рыбохозяйственных целях (408), для целей рекреации (124), в качестве водоемов-накопителей (139), комплексного назначения (381), противоэрозионных (92), в целях водоснабжения (1), не используются 479 [6].

Общий проектный объем воды всех прудов Крыма без учета прудов, пополняемых из СКК, – 187,9 млн м<sup>3</sup>, что составляет 47 % от общего проектного объема (398,4 млн м<sup>3</sup>) 23 крымских водохранилищ, а по сравнению с общим проектным объемом (253,05 млн м<sup>3</sup>) 15 наливных водохранилищ эта величина составит 74 %. Здесь следует помнить, что фактическое наполнение не всегда совпадает с плановым объемом, как правило, фактический объем воды меньше на 30–40 %. Даже в этом случае можно рассчитывать на 131,5 млн м<sup>3</sup>. Однако не весь этот объем воды можно использовать для целей орошения, так как только на эти цели по данным 2013 г. использовалось 17,1 млн м<sup>3</sup> воды из 235 прудов.

В результате выполненного анализа прудов по их источникам наполнения, по назначению использования было определено количество прудов, которые дополнительно можно использовать для орошения (таблица 2) из расчета, что не будет нанесен вред другим группам водопользователей. Из данных таблицы 2 видно, что дополнительно для орошения можно использовать 449 прудов с объемом воды 30,5 млн м<sup>3</sup>. И так совокупный объем воды для орошения может составить 48 млн м<sup>3</sup>.

Есть, конечно, возможность использовать воду для орошения и из других прудов, но для этого необходимы детальные натурные обследования и экономическое обоснование их использования с привязкой каждого пруда к площади орошения.

Таблица 2 – Пруды, используемые для орошения

| Территориальная единица  | Пруды, используемые для орошения |                     |                            | Пруды, которые дополнительно можно использовать для орошения |                     |                            |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------|--|---------------------|----------------------------|
|                          | кол-во                           | площадь зеркала, га | объем, тыс. м <sup>3</sup> | кол-во   | площадь зеркала, га | объем, тыс. м <sup>3</sup> |
| Бахчисарайский           | 46                               | 68,7                | 2588,05                    | 89   | 118,41              | 5100,9                     |
| Белогорский              | 13                               | 28,84               | 818,2                      | 40   | 122,67              | 4965,3                     |
| Джанкойский              | 0                                | 0                   | 0                          | 25   | 166,3               | 2327,2                     |
| Кировский                | 7                                | 15,76               | 358,45                     | 26   | 49,33               | 975,3                      |
| Красногвардейский        | 13                               | 46,34               | 1705,64                    | 32   | 51,68               | 1610,25                    |
| Краснопереконский        | 0                                | 0                   | 0                          | 11   | 318,8               | 3600,5                     |
| Ленинский                | 0                                | 0                   | 0                          | 3  | 9,4                 | 70,5                       |
| Нижнегорский             | 0                                | 0                   | 0                          | 4  | 21,7                | 424                        |
| Первомайский             | 1                                | 0,05                | 0,5                        | 3  | 3,27                | 95,5                       |
| Раздольненский           | 0                                | 0                   | 0                          | 1  | 16                  | 120                        |
| Сакский                  | 6                                | 18,61               | 982                        | 40   | 339,72              | 4213,95                    |
| Симферопольский          | 26                               | 49,2                | 1643,75                    | 130  | 191,07              | 4236,01                    |
| Советский                | 2                                | 2,75                | 94,5                       | 15   | 218,85              | 2426,6                     |
| Черноморский             | 3                                | 4,4                 | 135                        | 0  | 0                   | 0                          |
| г. Алушта                | 33                               | 51,62               | 2385,1                     | 8  | 2,95                | 119                        |
| г. Джанкой               | 0                                | 0                   | 0                          | 0  | 0                   | 0                          |
| г. Евпатория             | 0                                | 0                   | 0                          | 2  | 6                   | 35                         |
| г. Керчь                 | 0                                | 0                   | 0                          | 0  | 0                   | 0                          |
| г. Симферополь           | 0                                | 0                   | 0                          | 8  | 1,48                | 33,3                       |
| г. Судак                 | 31                               | 104,09              | 4281,94                    | 1  | 0,8                 | 30                         |
| г. Феодосия              | 9                                | 46,35               | 1352,2                     | 9  | 13                  | 187                        |
| г. Ялта                  | 45                               | 20,29               | 719,03                     | 2  | 0,53                | 13                         |
| Итого по Республике Крым | 235                              | 457                 | 17064,36                   | 449  | 1651,96             | 30583,31                   |

Отсюда видно, что резерв водных ресурсов, сосредоточенный в прудах, не большой, однако их нельзя сбрасывать со счетов; эти, на первый взгляд, незначительные объемы воды, особенно в столь критический момент с точки зрения водообеспеченности Крыма, могут играть большую роль в обеспечении продовольственной безопасности.

**Результаты и обсуждение.** Для того чтобы разрешить проблемы водохозяйственного комплекса Республики Крым, необходим комплексный подход: нужно задействовать все водохозяйственные организации, органы государственного управления и надзора, привлечь к решению вопроса население полуострова; необходимо осуществлять комплекс мероприятий, направленный на решение проблем, которые связаны с реконструкцией и реорганизацией водного хозяйства Крыма, использованием воды в различных отраслях жизнедеятельности общества и созданием эффективного собственника процесса водопользования (это организация, комитет, имеющие право активно вмешиваться в процесс доставки воды потребителю).

Несмотря на сложное социально-экономическое положение, есть надежда, что системы водоснабжения и водоотведения городов Крыма все же будут выведены из критического состояния, что проблемы водного хозяйства Крыма, несмотря на их сложность, будут решены. Естественно, решать эти вопросы необходимо поэтапно, с учетом местных условий, за счет различных водных источников, на основе эколого-экономического обоснования, ориентируясь на последние достижения науки и техники.

**Выводы**

1 Отсутствие стратегического планирования использования водных ресурсов ведет к возникновению и накоплению проблем в области водохозяйственного комплекса Республики Крым.

2 Отсутствие реального экономического механизма контроля над использованием водных ресурсов приводит к их «разбазариванию» потребителями.

3 Для развития водохозяйственного комплекса региона необходимо создание единого информационного центра, который бы обслуживал воспроизводство водных ресурсов и помогал осуществлять контроль над их использованием.

**Список использованных источников**

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

2 Иванютин, Н. М. Влияние антропогенной деятельности на подземные воды Крыма / Н. М. Иванютин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 25–31.

3 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.

4 Устойчивый Крым: водные ресурсы / Н. А. Закусилов [и др.]. – Симферополь: Таврида, 2003. – 413 с.

5 Волкова, Н. Е. Нерациональное использование прудов бассейна реки Салгир / Н. Е. Волкова, Р. Ю. Захаров // Экономика строительства и природопользования. – 2017. – № 2. – С. 39–44.

6 Тимченко, Н. С. Использование местных водных ресурсов для орошения / Н. С. Тимченко. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 152 с.

УДК 626/6276:698.175

**Е. О. Скляренко, Э. Н. Вертыганова**

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

**МЕТОДЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ И ВОДОЕМОВ**

*В статье кратко рассмотрены основные методы и способы экранирования оросительных каналов гидромелиоративных систем и водоемов с применением пленочных, геомембранных и геосинтетических водонепроницаемых материалов. Представлены некоторые конструкции противодиффузионных облицовок, приведены их области применения, основные преимущества и недостатки.*

*Ключевые слова: экранирование, противодиффузионное устройство, гидротехническое сооружение, геосинтетик, геомембрана, полимерная пленка.*

\*\*\*\*\*

**Е. О. Sklyarenko, E. N. Vertyganova**

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

**SCREENING METHODS OF IRRIGATION CANALS AND WATER RESERVOIRS**

*The main methods and ways of screening irrigation canals of reclamation systems and reservoirs by applying film, geomembrane and geosynthetic waterproof materials are briefly*

*discussed. Certain designs of seepage-control lining are presented, their application areas, main advantages and disadvantages are given.*

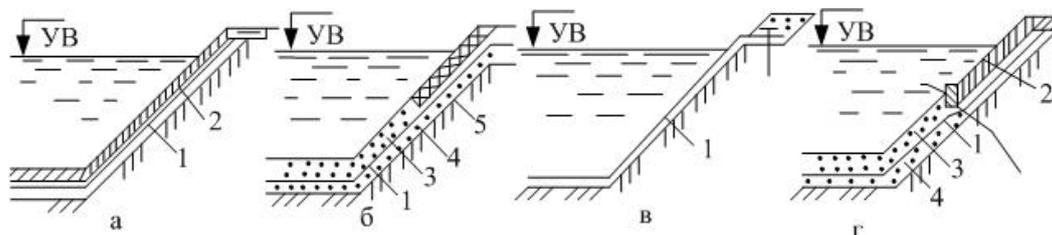
*Key words: screening, seepage-control lining, waterworks, geosynthetic, geomembrane, polymer film.*

Сохранение рельефа дна водоемов – актуальная проблема для искусственных каналов, прудов и прочих объектов. В ходе естественных процессов на дне образуются наносы, откосы водоемов сползают вниз и размываются, что особенно заметно при наличии течения в плоскости воды. Создание эффективных и надежных защитных покрытий на оросительных каналах является важнейшим техническим и экологическим мероприятием, направленным на предотвращение размывов русел каналов и снижение потерь на фильтрацию до минимума. Для борьбы с фильтрацией воды из каналов служат водонепроницаемые экраны из полимерных пленок (пленочно-грунтовых, бетонопленочных), глины, бентонитовых глин и прочих гидроизоляционных элементов.

За длительную историю создания и использования малых водоемов различным аспектам проблем их проектирования, строительства, эксплуатации и использования их водных ресурсов, а также вопросам создания их противофильтрационной защиты были посвящены многие работы, в т. ч. исследования А. Б. Авакяна, М. Н. Багрова, В. Е. Веденяпина, Н. Н. Веригина, Ю. М. Косиченко, С. А. Кремеза, А. В. Караушева, Г. В. Лопатина, А. В. Ищенко, В. А. Белова, Е. О. Скляренко, О. А. Баева и многих других ученых.

Вопрос экранирования водоемов всегда стоял достаточно остро. Хотя они и создаются на достаточно прочных грунтах, потери ввиду трещин и проникновения в нижние слои почвы все равно происходят. В прошлые годы (до 1990-х гг.) применялись различные суглинки, которые имеют низкую водопроницаемость. Часто боковые стенки и дно искусственных водоемов и каналов отделялись бетоном. Это в свою очередь приводило к увеличению затрат на строительство. Кроме этого, бетонные и каменные конструкции со временем разрушались и размывались, что снова приводило к потерям воды.

Первоначальное использование экранирования каналов помогало сохранить воду, так же как и экранирование водоемов в фермерских хозяйствах и водосборных бассейнов в засушливых регионах по всему миру. В своей работе А. В. Ищенко [1] выделяет несколько типов противофильтрационных экранов каналов и водоемов (рисунок 1): бетонопленочные, грунтопленочные, поверхностные и комбинированные.



*a* – бетонопленочные; *б* – грунтопленочные; *в* – поверхностные; *г* – комбинированные;  
 1 – полимерный противофильтрационный экран; 2 – бетонное покрытие;  
 3 – защитный слой грунта; 4 – подстилающий слой; 5 – крепление защитного слоя

### Рисунок 1 – Типы противофильтрационных покрытий с применением полимерных пленок

Грунтопленочные экраны – конструкции, в которых пленочный противофильтрационный элемент уложен под защитный слой грунта [2].

Поверхностные экраны – полимерные противофильтрационные конструкции, укладываемые на поверхность ложа канала без защитного покрытия, как правило из листового полимерного материала [2].

Комбинированные конструкции покрытия выполнены из сочетания двух или нескольких типов покрытий, являются наиболее надежными и могут применяться также на накопителях отходов различного назначения [3].

Последним этапом развития противофильтрационных облицовок на оросительных системах стало применение геосинтетических материалов в сочетании с различными защитными покрытиями для противофильтрационных целей [4]. Традиционные слои уплотненного грунта и глины, которые менее эффективно предотвращают фильтрацию, не гарантируют стабильной и долгосрочной эксплуатации, в то время как геосинтетики являются надежной, экономически эффективной альтернативой.

Геосинтетические материалы – это материалы из синтетических или природных полимеров, контактирующие с грунтом или другими средами, применяемые в строительстве [4]. К ним следует относить геомембраны, бентонитовые маты (бентоматы), геотекстилы, георешетки, геосетки, габионы, геокомпозиаты и др. Согласно усовершенствованной классификации Ю. М. Косиченко и О. А. Баева они разделяются на следующие виды [5]:

- водонепроницаемые (противофильтрационные) – геомембраны, бентонитовые маты;
- водопроницаемые (фильтрующие) – геотекстильные материалы;
- защитные – георешетки, габионы и другие материалы, используемые в качестве защитных покрытий.

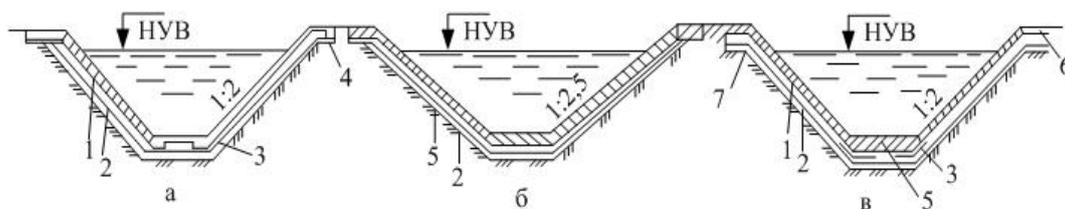
Такие материалы воспринимают значительные растягивающие напряжения, сохраняют прочность даже при больших деформациях, однородны по своему качеству, долговечны, технологичны и эффективны в гидротехническом строительстве.

Опыт применения пленочных экранов начинается с 1951 г., когда в Италии для экранирования водоема Падова объемом 15000 м<sup>3</sup> впервые были использованы полимерные пленки. В дальнейшем они стали широко применяться во многих странах для экранирования различных водохранилищ, причем для этой цели служили главным образом полиэтиленовые (ПЭ) и поливинилхлоридные (ПВХ) пленки толщиной 0,15–0,20 мм [5]. В Советском Союзе пленки начали применять с 1958 г. – сначала для экранирования каналов, а затем и водохранилищ по предложению ВНИИГиМ, АрмНИИГиМ и ВНИИГ. В 1958 г. полимерные пленки были использованы в опытном порядке, а к 1962 г. – в производственных условиях.

Покрытия из полимерных пленок (полиэтилен стабилизированный и нестабилизированный), уложенные без засыпки, разрушились в течение одного вегетационного периода, и поэтому от них пришлось отказаться в стадии опытов. Пленочные экраны, покрытые слоем земли, оказались малоэффективными ввиду их быстрой повреждаемости. В первый год их использования процент потери воды был равен нулю, через год составлял 5 % всего расхода воды в канале, за два года использования увеличивался до 16,6 %. Пленочные экраны, покрытые землей, имеют определенные недостатки: повреждаемость механизмами при очистке каналов, пробиваемость растениями, разрушение пленки из-за оплывания и обрушения грунта присыпки. Установлено, что при отсутствии слоя земли на экранах растения, пробивающие пленки, не могли бы развиваться. Без слоя земли экран остается без защиты от солнечных лучей и повреждений. В связи с этим возникла идея использования конструкции облицовок с применением полимерных экранов и железобетонных сборных облицовок (рисунок 2) [5].

Такой метод имеет абсолютную водонепроницаемость, пленка играет роль гидроизоляции, плиты хорошо принимают осадки за счет возможного взаимного перемещения плит и несколько свободной укладки подстилающей пленки. Имеют неограниченный срок службы, легко заменяются новыми.

При устройстве бетонопленочных облицовок с покрытием из сборных железобетонных плит заложение откосов канала принимают не более 1:1,5, а с покрытием из монолитного бетона или железобетона – 1:2.



*a* – сборные; *б* – монолитные; *в* – сборно-монолитные;  
 1 – сборные железобетонные плиты; 2 – полиэтиленовая пленка; 3 – защитные прокладки; 4 – заплечики из монолитного бетона; 5 – монолитный бетон;  
 6 – заплечики из сборных железобетонных элементов; 7 – металлические шпильки

## Рисунок 2 – Конструкции бетонопленочных облицовок

Современные геомембраны из полиэтилена высокого давления (ПВД) и полиэтилена низкого давления (ПНД) обладают необходимой прочностью, морозоустойчивостью, высокой сопротивляемостью прокалыванию, химической стойкостью, гибкостью и долговечностью. Использование геомембран толщиной 1–3 мм для противofильтрационных устройств в гидротехническом строительстве свидетельствует об их высокой эффективности, превышающей эффективность традиционных конструкций из ПЭ пленки толщиной 0,2 мм на два порядка и более [5].

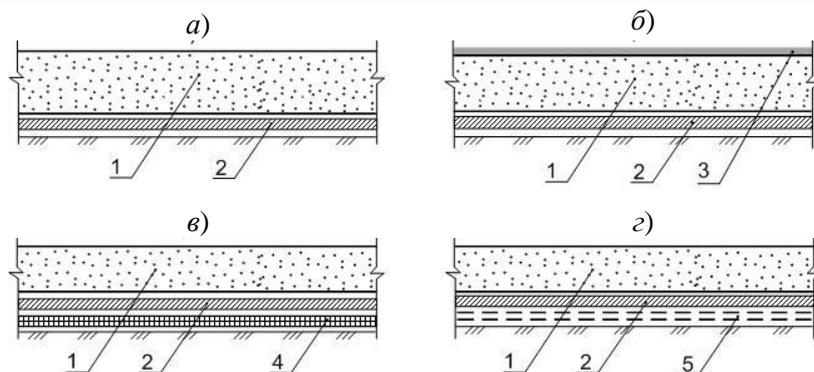
Более высокая экономическая эффективность применения противofильтрационных облицовок с использованием геомембран из ПНД и ПВД по сравнению с традиционными облицовками с ПЭ пленкой обусловлена практически полной водонепроницаемостью этих конструкций, возможностью создания каналов, имеющих сверхвысокий КПД (до 0,97–0,98), и, соответственно, получением чистого дохода от орошения дополнительной площади сэкономленной водой вследствие исключения потерь воды на фильтрацию и повышения долговечности облицовок до 75 лет и более [6, 7].

Разработки в этой области направлены на создание толстых (более 2,5 мм) текстурированных мембран, которые могли бы противостоять случайным повреждениям, а также исключение возможности их сползания по поверхности откоса. Такие мембраны должны содержать наполнители, препятствующие окислению материала и придающие ему стойкость к биологической деструкции.

Бентонитовые маты представляют собой водонепроницаемый материал, который состоит из гранул бентонитовых глин, расположенных между двумя слоями геотекстильного материала, при гидратации разбухающих и значительно увеличивающихся в объеме [8]. Некоторые конструкции противofильтрационных покрытий с использованием бентонитовых матов [8] могут также применяться для экранирования водоемов и каналов (рисунок 3).

Бентонитовые маты обладают низкой водопроницаемостью, а также имеют уникальное свойство саморегенерации (восстановления целостного гидроизоляционного слоя) при механических повреждениях, которые, как правило, неизбежны при транспортировке и монтаже материала. Кроме того, в отличие от глины или других применяемых материалов (пленок или геомембран) бентоматы могут укладываться в любое время года и практически в любых погодных условиях. Они стойки к различным химикатам – бензину, нефти, удобрениям.

Применение бентонитовых матов позволяет сэкономить на стоимости работ, так как стоимость укладки квадратного метра бентонитовых матов гораздо ниже, чем стоимость работ с наплавленными рулонными гидроизоляционными материалами или мембранами. При гидроизоляции сопряжений используется бентонитовый гель (бентонитовые гранулы затворяются водой), в местах прохода инженерных коммуникаций и холодных швах бетонирования применяются бентонитовые шнуры или гидропрокладки [8].



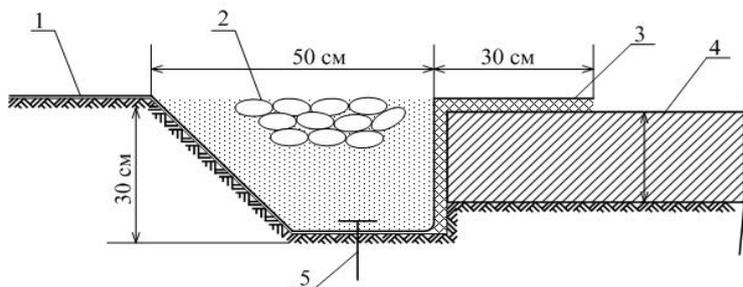
*а* – с защитным покрытием из грунта; *б* – с защитным покрытием из грунта и полимерным закрепителем поверхности; *в* – с защитным покрытием из грунта и армирующим слоем из геосетки; *г* – с защитным покрытием из грунта и дренажным слоем; 1 – защитное покрытие; 2 – противофильтрационный элемент из бентонитовых матов; 3 – полимерный закрепитель грунта; 4 – геосетка; 5 – дренажный слой из геотекстиля

**Рисунок 3 – Конструкции противофильтрационных покрытий водоемов с использованием бентонитовых матов**

Разберем преимущества и недостатки известных нам способов экранирования. Поверхностные экраны из полимерных материалов на основе бутилкаучука обладают высокой стойкостью к атмосферным воздействиям и большой деформативной способностью. Технология строительства таких экранов гораздо проще, чем покрытых земель пленочных экранов, причем срок строительства меньше. Основные достоинства поверхностных противофильтрационных экранов: малые сроки строительства, низкая материалоемкость и трудоемкость устройства, стойкость покрытия к просадкам и пучению грунта, высокая ремонтопригодность, срок службы 20–30 лет. Основным недостатком конструкции – легкий доступ к геомембране и, соответственно, возможность ее повреждения. Кроме того, необходимо устройство ограждения, а возможно, и пункта охраны.

При расположении водоема с поверхностным противофильтрационным экраном в непосредственной близости от животноводческих ферм, складов и сельскохозяйственных построек могут наблюдаться повреждения геомембраны грызунами в виде отверстий. Для предотвращения повреждений следует производить регулярную обработку территории ядохимикатами на полосе шириной не менее 10 м от бровки водоема. Все обнаруженные повреждения необходимо ликвидировать с помощью экструдера или устройства латок из идентичного по химическому составу и физико-механическим характеристикам материала [5, 9].

На рисунке 4 представлена конструкция сопряжения поверхностного экрана, которая может быть использована при гидроизоляции каналов и водоемов.



1 – экран; 2 – каменная наброска; 3 – промазка клеем БК-НМ; 4 – сооружение; 5 – металлическая шпилька

**Рисунок 4 – Конструкция сопряжения поверхностного экрана с бетонным сооружением в верхнем бьефе**

В борьбе с фильтрацией из каналов и водоемов на протяжении последних 60–80 лет использовались различные противофильтрационные мероприятия: от простейших до более совершенных облицовок с применением полимерных материалов. Однако и применение полимерных материалов в виде ПЭ стабилизированных пленок не позволило обеспечить высокую эффективность и долговечность противофильтрационной защиты на оросительных системах. Это было обусловлено тем, что тонкие полимерные пленки в процессе строительства и эксплуатации достаточно легко повреждались строительными механизмами и крупными фракциями грунта основания. При этом в ряде случаев количество повреждений было настолько значительным, что сводило на нет эффект от использования в качестве противофильтрационного элемента полимерных пленок.

В данной работе коротко обобщен опыт применения противофильтрационной защиты на каналах и водоемах: как полимерных пленок, так и современных полимерных материалов – геосинтетических; представлены некоторые конструкции облицовок, нашедшие применение на действующих объектах. На фильтрационные потери на малых водоемах с полимерными противофильтрационными экранами в значительной степени оказывают влияние деформации основания, их размеры и отношение мощности водопроницаемого основания к напору на сооружении. В меньшей степени на фильтрационные потери влияют размеры повреждений экрана и их взаимное расположение. Поэтому настоящая работа призвана привлечь внимание к более широкому внедрению современных геосинтетических материалов при создании противофильтрационных покрытий оросительных каналов и водоемов.

#### **Список использованных источников**

1 Ищенко, А. В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов: монография / А. В. Ищенко. – Ростов н/Д., 2006. – 211 с. – (Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион).

2 Бондарь, К. Я. Полимерные строительные материалы: справ. пособие / К. Я. Бондарь, Б. Л. Ершов, М. Г. Соломенно. – М.: Стройиздат, 1974. – 271 с.

3 Скляренко, Е. О. Экспериментальные исследования противофильтрационных и дренажных защит накопителей промышленных отходов / Е. О. Скляренко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2007. – № 5. – С. 71–72.

4 Косиченко, Ю. М. Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, А. В. Ищенко // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2014. – № 3. – 12 с. – Режим доступа: [http://ivdon.ru/urloads/article/pdf/IVD\\_91\\_kosichenko.pdf\\_55f9154bc5.pdf](http://ivdon.ru/urloads/article/pdf/IVD_91_kosichenko.pdf_55f9154bc5.pdf).

5 Косиченко, Ю. М. Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов: монография / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – 239 с.

6 Скуеро, А. М. Геомембраны – хорошо зарекомендовавшие себя водонепроницаемые системы на гидротехнических сооружениях / А. М. Скуеро, Г. Л. Васкетти // Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. – 2007. – С. 59–68.

7 Щербина, Е. В. Геосинтетические материалы в строительстве / Е. В. Щербина. – М.: АСВ, 2004. – 112 с.

8 Баев, О. А. Противофильтрационные покрытия с применением бентонитовых матов для накопителей жидких отходов / О. А. Баев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2013. – № 3(11). – С. 115–124. – Режим доступа: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec199-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec199-field6.pdf).

9 Косиченко, Ю. М. Гибкие конструкции противофильтрационных и берегоукрепительных покрытий с применением геосинтетических материалов / Ю. М. Косиченко, А. В. Ломакин // Известия высших учебных заведений. Технические науки. – 2012. – № 2. – С. 73–79.

УДК 626.88

**О. А. Баев**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

**А. О. Гезин**

Общество с ограниченной ответственностью «Геопродукт», Москва,  
Российская Федерация

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ**

*В статье представлен краткий обзор современных строительных геосинтетических и геокомпозитных материалов, применяемых в последние годы для противофильтрационных целей на прудах-накопителях, водоемах и каналах гидромелиоративных систем. Дана классификация геокомпозитных материалов, приведено описание полимерных геомембран, бентонитовых матов, жидких полимеров и бетонного полотна. Выполнено сравнение физико-механических и технических характеристик геосинтетиков и геокомпозитов, рассмотрены дальнейшие перспективы исследований по разработке новых противофильтрационных материалов и высокоэффективных конструкций на их основе.*

*Ключевые слова: геосинтетический материал, геокомпозит, противофильтрационное покрытие, фильтрация, геомембрана, бентонитовый мат, бетонное полотно.*

\*\*\*\*\*

**О. А. Баев**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

**A. O. Gezin**

Limited Liability Company "Geoproduct", Moscow, Russian Federation

### **COMPARATIVE ASSESSMENT OF NEW MATERIALS APPLICATION FOR ANTI-FILTRATION OBJECTIVES**

*A brief review of modern construction geosynthetic and geocomposite materials used recently for anti-filtration purposes on storage ponds, reservoirs and canals of irrigation and drainage systems is presented. The classification of geocomposite materials is given, the description of polymer geomembranes, bentonite mats, liquid polymers and concrete cloth is done. The physicommechanical and technical characteristics of geosynthetic materials have been compared, and further research prospects for the development of new anti-filtration materials and highly effective structures based on them have been considered.*

*Key words: geosynthetic material, geocomposite, anti-filtration coating, filtration, geomembrane, bentonite mat, concrete canvas.*

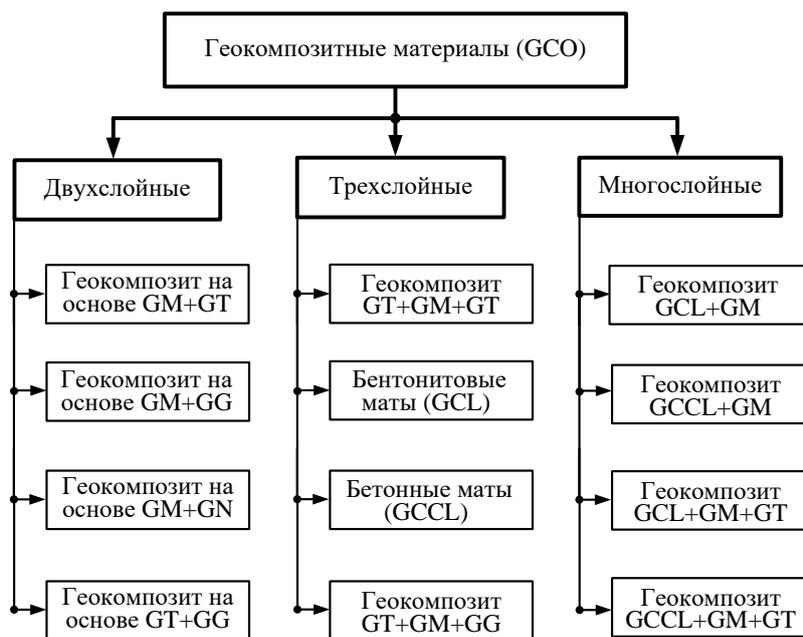
Согласно международному стандарту ISO 10318-1:2015 «Геосинтетика. Термины и определения» [1], разработанному международным техническим комитетом по геосинтетике «CEN/TC 189 Geosynthetics», и на основании представленных в стандарте [2] терминов с их определениями под геосинтетическим материалом понимается изделие из синтетических и природных полимеров и (или) неорганических веществ, контактирующее с грунтом и (или) другими материалами, применяемое в строительстве для различных геотехнических функций. Принятое международное обозначение – «Geosynthetics», или «GSY».

К геосинтетическим материалам относятся геотекстилы (GT), геокомпозиты (GCO), георешетки (GG), геосетки (GN), геоматы (GMA), геомембраны (GM) и мно-

гие другие материалы [2, 3], полная классификация которых для противofильтрационных и дренажных целей представлена в работе Ю. М. Косиченко и др. (2013) [4]. Такие материалы широко используются для целей гидроизоляции, противofильтрационной и дренажной защиты в природоохранном (полигоны твердых бытовых, промышленных и жидких отходов), гидротехническом (каналы, водоемы, плотины, дамбы), гражданском (гидроизоляция фундаментов и подпорных стен), промышленном (создание противofильтрационных завес, армирование грунта), дорожном (укрепление дорог, склонов и насыпей) и ландшафтном (искусственные бассейны и водоемы) строительстве и для многих других целей.

В последние 3–5 лет за рубежом уделяется большое внимание разработке и внедрению новых противofильтрационных материалов – геокомпозитных, которые в различном сочетании с геосинтетическими позволяют создавать высокоэффективные конструкции, выполняющие одновременно ряд задач (противofильтрационную защиту и дренирование, отвод и очистку загрязненного фильтрата, исключение просадок основания и др.).

Под геокомпозитным материалом (GCO) понимается многослойный упрочненный материал, который состоит из скрепленных между собой различных слоев (не менее двух), отличающихся по своей структуре и (или) назначению друг от друга [2, 3]. Классификация геокомпозитных материалов (с учетом требований стандарта ISO 10318-1:2015 [1] по сокращенным обозначениям), применяемых в противofильтрационных целях на каналах, водоемах и накопителях, может быть представлена в следующем виде (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Классификация геокомпозитных материалов для противofильтрационных целей**

В приведенной выше классификации все геокомпозитные материалы, применяемые для противofильтрационных покрытий, подразделены на три нижеследующие группы:

- двухслойные – состоящие из двух геосинтетических материалов, к которым отнесены геокомпозиты на основе геомембран (GM), совмещенных в заводских условиях с геотекстилем (GT), георешеткой (GG), геосеткой (GN) и другими геосинтетиками;
- трехслойные – бентонитовые (GCL) и бетонные (GCCL) маты и другие композиции геосинтетических материалов на основе геомембран и (или) геотекстилей;

- многослойные (комбинированные) – к таким материалам относятся геокомпозиции повышенной надежности с заранее заданными свойствами, сочетающие четыре и более геосинтетика и другие компоненты (наполнители из бентонита или бетона), благодаря которым такие материалы выполняют несколько функций одновременно и являются надежными противофильтрационными покрытиями, стойкими к многократным повреждениям и агрессивной среде на накопителях. К многослойным материалам отнесены совмещенные материалы на основе бентонитовых и бетонных матов, геомембран и геотекстилей.

Для противофильтрационных покрытий прудов-накопителей, каналов гидромелиоративных систем и водоемов в настоящее время целесообразно использовать следующие геосинтетические (геокомпозитные) водонепроницаемые материалы: полимерные геомембраны, геокомпозитные бентонитовые маты, жидкие полимеры, бетонное полотно. Традиционные противофильтрационные покрытия из грунта или глины, пленки, асфальтобетона не рекомендуются к применению, так как они недолговечны, подвержены быстрому разрушению и не соответствуют ряду нормативных документов [5].

Далее подробнее рассмотрим некоторые из вышеперечисленных строительных геосинтетических материалов, используемых для противофильтрационных целей.

Рулонные полимерные геомембраны – плоский непроницаемый геосинтетический материал, используемый для защиты конструкций и (или) элементов конструкций от проникновения жидкостей и (или) газов [1–3]. На такие полимерные геосинтетические материалы разработана соответствующая зарубежная [6, 7] и отечественная [8] нормативная документация, позволяющая производить их серийный выпуск и испытания.

Существует и многие другие геомембранные композиции. Например, в работе В. Н. Щедрина и др. (2012) [9] дано обоснование применения вторичного сырья при производстве полимерных рулонных, листовых и крупнотоннажных материалов. Опытные образцы таких композиций уже разработаны в ФГБНУ «РосНИИПМ», на некоторые из которых получены патенты на изобретения. При этом применение рулонных геомембран (толщиной 0,3–0,7 мм) без защитных покрытий из геотекстильных или геотекстилеподобных материалов ограничивает области их применения (особенно на накопителях) в связи с возможностью (и большой вероятностью) повреждения полимерного противофильтрационного элемента от воздействия защитных и (или) подстилающих слоев грунта (защитного покрытия). В связи с этим для обеспечения водонепроницаемости появляется необходимость использования защитных прокладок, что в целом приводит не только к удорожанию всей конструкции противофильтрационного экрана, но и к увеличению срока и объема строительного-монтажных работ.

Полимерные жидкие композиции представляют собой жидкий композиционный материал, состоящий из двух и более компонентов, один из которых полимерный [10].

Как правило, такие материалы используются для обработки металлических конструкций и бетонных поверхностей для защиты от коррозии и с целью продления срока их службы. Известны способы и конструктивно-технические решения создания противофильтрационных покрытий с применением жидких полимеров путем обработки (стабилизации) поверхности грунта (или его послойного перемешивания) [11]. Такие конструкции ограничены в применении (например, на водохозяйственных объектах) и обладают низким противофильтрационным эффектом и небольшим сроком службы (до 25–30 лет).

Геокомпозитные бентонитовые маты – рулонный материал, состоящий из двух слоев тканого и нетканого геотекстиля, между которыми расположены гранулы натриевого и (или) кальциевого бентонита, соединенные между собой иглопробивным (или иным) способом [1, 2]. Для большей надежности и водонепроницаемости бентонитовые маты могут быть выполнены с полимерной гладкой геомембраной. В таком слу-

чае нижний слой нетканого геотекстиля соединяется с непроницаемой мембраной термоскреплением.

Бентонитовые маты нашли широкое применение за рубежом и в последние 5–7 лет используются в качестве противофильтрационных покрытий накопителей, водоемов и каналов гидромелиоративных систем и в нашей стране. Данный материал от других геосинтетиков отличает регенерация (самозалечивание) образующихся в процессе эксплуатации или строительства повреждений. За последние годы разработано значительное количество конструктивно-технических решений (конструкций, способов создания, соединения, контроля сплошности и ремонта) противофильтрационных экранов применительно к каналам, водоемам и прудам – накопителям отходов [4].

Геокompозитное бетонное полотно – противофильтрационный материал, представляющий собой два геотекстильных слоя, соединенные текстильными волокнами, между которыми расположена сухая смесь на основе цемента. С внутренней стороны полотно покрыто слоем поливинилхлорида для обеспечения большей водонепроницаемости [12].

Бетонное полотно (или бетонные маты) недавно (2–3 года назад) появилось на отечественном рынке строительных материалов, применяется пока в основном за рубежом для укрепления откосов, дамб, насыпей, обвалования и создания открытых (без защитных слоев) облицовок на оросительных каналах, водоемах и водохранилищах.

В таблице 1 представлены осредненные (по данным различных источников [4, 12–14]) физико-механические и технические характеристики геосинтетических и геокompозитных материалов.

**Таблица 1 – Физико-механические и технические характеристики геосинтетических и геокompозитных материалов**

| Наименование показателя                     | Противофильтрационный геосинтетический (геокompозитный) материал |                       |                  |                  |
|---|--|-----------------------|------------------|------------------|
|   | Геомембрана  | Полимерная композиция | Бентонитовый мат | Бетонное полотно |
| Коэффициент фильтрации, см/с                | $10^{-8}$  | $10^{-7}$             | $10^{-11}$       | $10^{-10}$       |
| Срок службы, лет                            | 50–75  | 25–30                 | > 75             | > 50             |
| Толщина противофильтрационного элемента, мм | 0,4  | 0,15                  | 5,6              | 8,0              |
| Прочность при растяжении, кН/м              | 27   | 2,6                   | 12               | 28,9             |
| Прочность на статический прокол, кН         | 0,5  | 0,4                   | 1,8              | 2,2              |
| Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>   | 938  | 90                    | 180              | –                |
| Стоимость, руб./м <sup>2</sup>              | 215  | –                     | 290              | 2850             |

Приведенные в таблице 1 сравнительные физико-механические и технические характеристики геомембран, жидких полимерных композиций, геокompозитных бентонитовых и бетонных матов являются предварительными и осредненными. Для более детального сравнения необходимо проведение лабораторных испытаний и исследований.

Многие зарубежные (Naue, GSE, Carpi, Terram, Mizubichi и др.) и российские («Техполимер», «Геопродукт», «БентИзол», «Геотех» и др.) компании-производители работают над совершенствованием геосинтетических (геокompозитных) материалов с целью обеспечения их полной водонепроницаемости, стойкости к повреждениям и различным нагрузкам при эксплуатации. Так, отечественной компанией «Геопродукт» ведутся исследования и разрабатываются современные геосинтетические и геокompозитные материалы повышенной надежности и долговечности, на многие из которых уже имеется техническая документация на серийный выпуск и испытания [13, 14].

Накоплен положительный опыт по применению полимерных геомембран, геотекстилей, георешеток и других материалов в дорожном, водохозяйственном и природоохранном строительстве [15].

Выполненный обзор и накопленный опыт позволяют сделать выводы о том, что многослойные геокомпозиции с заранее заданными свойствами в настоящее время являются самыми надежными элементами гидротехнических и природоохранных сооружений, обеспечивающими их эксплуатационную надежность, безопасность и долговечность.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в создании новых высоконадежных геокомпозиционных материалов и разработке высокоэффективных конструкций противофильтрационных покрытий (облицовок, экранов) на их основе для применения в сложных инженерных условиях и на особо опасных (токсичных) объектах.

#### Список использованных источников

1 ISO 10318-1:2015. International standard. Geosynthetics. Pt. 1: Terms and definitions. – 8 p.

2 ГОСТ 33068-2014 (EN 13252:2005). Международный стандарт. Материалы геосинтетические для дренажных систем. Общие технические требования. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 48 с.

3 ОДМ 218.5.005-2010. Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству. – М.: Росавтодор, 2010. – 18 с.

4 Косиченко, Ю. М. Классификация геосинтетических материалов и их применение для противофильтрационных устройств / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Актуальные вопросы гидротехники и мелиорации на юге России: сб. науч. тр. / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2013. – С. 108–116.

5 Мелиоративные системы и сооружения: СП 81.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.07.03-85: введ. в действие с 01.07.86. – М., 1986. – 23 с.

6 GRI – GM13. Test methods. Test properties and testing frequency for high density polyethylene smooth and textured geomembranes. – 2016. – 11 p.

7 GRI – GM17. Test methods. Test properties and testing frequency for linear low density polyethylene smooth and textured geomembranes. – 2016. – 11 p.

8 ГОСТ Р 56586-2015. Геомембраны гидроизоляционные полиэтиленовые рулонные. Технические условия. – Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 9 с.

9 Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 163 с.

10 ГОСТ 32794-2014. Композиты полимерные. Термины и определения. – Введ. 2015-09-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 98 с.

11 Метелкин, В. В. Инновационные методы обработки грунтовых покрытий при подготовке к эксплуатации мелиоративных объектов и мелиоративных защитных сооружений: информ. сб. / В. В. Метелкин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2008. – 120 с.

12 Concrete canvas [Electronic resource]. – Mode of access: <http://concretecanvas.com>, 2018.

13 СТО 65396612-016-2017. Bentonитовые маты гидроизоляционные марки «Bento-GP». Технические условия. – М.: Геопродукт, 2017. – 23 с.

14 СТО 65396612-017-2017. Материал рулонный профилированный гидроизоляционный – геомембрана марки «GP» типов: «Эко», «Стандарт», «Гео». Технические условия. – М.: Геопродукт, 2017. – 21 с.

15 Геопродукт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geoproduct.ru/projects>, 2018.

УДК 627.133:502.56/.568

**В. Р. Енакаева, Н. М. Попова**

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

### **РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОГО ВРЕДА ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ НА СУДОХОДНОМ ГИДРОУЗЛЕ**

*В настоящей статье описана технология расчета вероятного вреда при гидродинамической аварии на судоходном Канале имени Москвы. В качестве примера-аналога выбран объект гидроузел № 5, расположенный на северном склоне Канала имени Москвы, соединяющего реки Волгу и Москву. Состав гидроузла № 5: шлюз № 5, насосная станция № 185, восточная дамба отводящего канала насосной станции № 185, западная дамба подводящего канала насосной станции № 186, дамбы канала № 288, дюзера № 92.*

*Ключевые слова: гидродинамическое моделирование, MIKE 11, волна прорыва, авария судоходного гидротехнического сооружения, ущербы жилому фонду и имуществу граждан, ущербы элементам транспорта и связи, социальный ущерб.*

\*\*\*\*\*

**V. R. Enakayeva, N. M. Popova**

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russian Federation

### **THE PREDICTED RESULTS OF PROBABLE DAMAGE AT HYDRODYNAMIC ACCIDENT AT NAVIGABLE HYDRAULIC WORKS**

*The technology of calculating the possible damage in a hydrodynamic accident on the Moscow Ship Canal is described. As an example analogue, the hydraulic works number 5 located on the northern slope of Moscow Canal connecting the rivers Volga and Moscow was chosen. The structure of the hydraulic works number 5 is the following: gateway no. 5, pump station no. 185, the eastern dam of the diversion canal of pump station no. 185, the western dam of the headrace canal of pump station no. 186, the dam of channel no. 288, the inverted syphons no. 92.*

*Key words: hydrodynamic modeling, MIKE 11, breakthrough wave, accident of the navigational hydraulic structure, damage to the housing and property of citizens, damage to the elements of transport and communication, social damage.*

Компьютерная технология расчета вероятного вреда при гидродинамической аварии включает расчет волны прорыва, определение зон затопления, расчет вероятного вреда.

Схема расчета вероятного вреда разрабатывалась с учетом особенностей рассматриваемого каскада судоходных гидротехнических сооружений (СГТС) и включает сбор и обработку исходных данных по сооружениям гидроузлов № 4, 5, 6, населенным пунктам, дорожным и промышленным сооружениям и т. п.; приобретение топографической, гидрологической и другой информации; создание детальной цифровой модели задамбовых территорий гидроузла № 5 (каналов № 287, 288) с применением ГИС-технологий; разработку сценариев возможной гидродинамической аварии и их согласование с заказчиком; разработку компьютерных гидродинамических моделей распространения волны прорыва; расчет волны прорыва шлюза № 5, насосной станции № 185, восточной дамбы подводящего канала насосной станции № 186, канала № 288, дюзера № 92, а также построение зон затопления в зависимости от параметров волны прорыва;

отображение зон затопления на топографических картах; оценку возможных последствий аварии СГТС с использованием карт зоны затопления; сбор и анализ информации об объектах, на которых оказывает негативное воздействие авария; определение размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии СГТС; определение величины страховой суммы по договору обязательного страхования СГТС.

Основной производственной задачей гидроузла № 5 является осуществление бесперебойного судопропуска, поддержание уровней воды в канале № 288 и перекачка воды насосной станцией № 185.

Основными документами, регламентирующими размер вреда от возможных гидродинамических аварий гидроузлов, являются «Методика определения размера вреда», утвержденная Приказом МЧС России и Минтранса России от 02.10.2007 № 528/143, «Порядок определения размера вреда», утвержденный совместным Приказом МЧС России, Минэнерго России, МПР России, Минтранса России, Госгортехнадзора России от 18.05.02 № 243/150/270/68/89 [1, 2]. Расчет вреда проводился с учетом Федерального закона от 27.07.2010 № 225-ФЗ, который увязывает страховые суммы с предельными размерами страховой выплаты потерпевшему [3–5]

Технические характеристики гидротехнических сооружений и гидрологическая обстановка в период аварии взяты из акта преддекларационного обследования гидроузла № 5 в составе: шлюза № 5, насосной станции № 185, восточной дамбы отводящего канала насосной станции № 185, западной дамбы подводящего канала насосной станции № 186, дамб канала № 288, дюкера № 92 – от 06.03.2013 и декларации безопасности по гидроузлу № 5 в составе: шлюза № 5, насосной станции № 185, восточной дамбы отводящего канала насосной станции № 185, западной дамбы подводящего канала насосной станции № 186, дамб канала № 288, дюкера № 92 – 2014 г. [6, 7].

В основе расчета параметров гидродинамической аварии и прохождения волны прорыва использовался программный комплекс MIKE 11, разработанный Датским гидравлическим институтом. Программный комплекс MIKE 11 реализует квазидвумерную неявную разностную схему решения уравнений Сен-Венана, описывающую неустановившееся движение воды в речных сетях. На основе чертежей гидроузлов, карт, космических снимков и гидрологических данных была создана компьютерная гидродинамическая модель гидроузла № 5, включая шлюзы, насосные станции, водосбросы, затворы, а также участки канала между шлюзами с учетом труб и дюкеров.

Характерной особенностью рассматриваемой системы водохранилищ и каналов северного склона и водораздельного бьефа Канала имени Москвы является то, что в период высоких половодий судоходство не осуществляется. Поэтому с учетом того, что именно ущербы судоходству в данном случае являются преобладающими, все сценарии возможных гидродинамических аварий рассматриваются для условий навигации в летне-осеннюю межень при поддержании нормальных подпорных уровней (НПУ) в бьефах и на фоне средних за навигацию расходов воды. При рассмотрении сценариев гидродинамических аварий были проанализированы данные о работе шлюза № 5 в период навигации 2015 г.

Предварительный перечень сценариев возможных аварий составлялся исходя из особенностей конструкции, условий эксплуатации, оценки риска аварий, оценки потенциальных зон затопления, последствий аварий. Поражающие факторы, возникающие при авариях на гидротехнических сооружениях, определялись в соответствии с составом этих сооружений и особенностями их работы. Из предварительного перечня были выделены сценарии с наиболее тяжелыми и наиболее вероятными авариями. Рассматривались шесть сценариев возникновения аварии, приводящие к возникновению вреда из-за прохождения прорывной волны.

**Сценарий 1 (авария на шлюзе № 5).** Прорыв напорного фронта в результате

разрушения нижних двустворчатых ворот шлюза при открытом сегментном затворе верхней головы. В момент аварии одно судно ожидает шлюзования в нижнем бьефе гидроузла № 5 и одно судно находится в камере шлюза № 5.

**Сценарий 2 (авария на насосной станции № 185).** Недостаточный запас верха насыпок и береговых примыканий из-за осадки и (или) повышения уровня верхнего бьефа, перелив через обратную насыпку, размыв обратной насыпки, прорыв напорного фронта.

**Сценарий 3 (авария на восточной дамбе отводящего канала насосной станции № 185).** Снижение фильтрационной прочности грунта обратной насыпки восточной дамбы или контактная фильтрация, повышение градиента напора в нижний бьеф до критического значения, незатухающий суффозионный вынос грунта обратной насыпки, образование сквозного хода из верхнего в нижний бьеф глубиной 0,1 м ниже НПУ (154,00 м Москва-Волгострой) с вымыванием обратной насыпки, прорыв напорного фронта в р. Икшу.

**Сценарий 4 (авария на западной дамбе подводящего канала насосной станции № 186).** Снижение фильтрационной прочности грунта обратной насыпки западной дамбы или контактная фильтрация, повышение градиента напора в нижний бьеф до критического значения, незатухающий суффозионный вынос грунта обратной насыпки, образование сквозного хода из верхнего в нижний бьеф глубиной 0,1 м ниже НПУ (154,00 м Москва-Волгострой) с вымыванием обратной насыпки, прорыв напорного фронта в подводящий канал к дюкеру № 92 (р. Икша).

**Сценарий 5 (авария на дамбах канала № 288).** Разрушение верхового откоса и гребня западной и восточной дамб канала на расстоянии 400 м от верхнего оголовка дюкера № 92 в сторону шлюза № 6 при стоянии воды на отметке НПУ 154,00 м, суффозия и просадка грунта в теле прилегающих дамб канала № 288 в результате высокой фильтрации, образование небольшого прорана с отметкой дна ниже на 0,1 м отметки уровня воды верхнего бьефа, дальнейший размыв прорана за счет больших скоростей водного потока до твердых пород и образование прорывной волны. Излив воды через проран в подводящий канал к дюкеру № 92 и в р. Икшу.

**Сценарий 6 (авария на дюкере № 92).** Аварийное разрушение дюкера из-за нарушения водонепроницаемости противофильтрационных элементов дюкера, увеличения фильтрационных расходов, дальнейший суффозионный вынос грунта по контакту с бетоном дюкера, образование сквозного хода в зоне сопряжения дюкера и восточной дамбы канала № 288, разрушение верхового откоса и образование прорана. Излив воды через проран в русло р. Икши.

Для перечисленных сценариев была разработана модель. Проведены численные исследования для шести сценариев гидродинамической аварии с прорывом шлюза, сооружений насосной станции, напорных дамб каналов, из которых для оценки ущерба были выбраны сценарии наиболее вероятной и наиболее тяжелой аварии. В расчетах параметров волны прорыва получены максимальные уровни воды и зоны затопления, максимальные скорости течения, исследована динамика прохождения прорывной волны, результаты отображены на картах-схемах различного масштаба.

Как показали расчеты, основные виды ущерба для гидроузла № 5 будут связаны с повреждениями судов.

При прорыве напорного фронта шлюза № 5 по сценарию 1 грузовое судно, находящееся у причальной стенки в нижнем бьефе, может получить слабые повреждения, пассажирское судно попадает в зону сильных разрушений. Волна прорыва проходит в бровках дамб обвалования (ниже бечевника более чем на 1 м) канала, поэтому затоплений в нижнем бьефе не происходит. Скорости прохождения волны неразмывающие (менее 0,9 м/с).

При сценарии 2 волна прорыва проходит в бровках дамб обвалования канала

№ 287, поэтому затоплений в нижнем бьефе не происходит. Скорости прохождения волны размывающие (менее 0,1–0,2 м/с).

При развитии аварии по сценарию 3 распространение волны прорыва с западной стороны ограничено восточной дамбой отводящего канала насосной станции № 185, а с восточной – рельефом местности с отметками выше максимального уровня воды в р. Икше.

При развитии аварии по сценарию 4 распространение волны прорыва ограничено западной дамбой подводящего канала насосной станции № 186 и железнодорожной насыпью. Таким образом, в результате прорыва происходит излив воды через проран в подводящий канал к дюкеру № 92 с пропускной способностью, значительно большей, чем расход воды в проране.

При развитии аварии по сценарию 6 распространение волны прорыва ограничено восточной дамбой канала № 288 и рельефом местности с отметками выше максимального уровня воды в р. Икше. Прорывная волна пройдет в берегах русловой части р. Икши, поскольку прорывной расход значительно ниже пропускной способности русла.

Последствия аварий по сценариям 2–6 не повлияют на судоходную обстановку в канале, авария не повлечет за собой потери судоходной глубины. Суда, находящиеся между гидроузлами № 4 и 5, успеют уйти в другие бьефы и не получают повреждений. Суда, находящиеся в верхнем бьефе гидроузла № 5, находятся на ходу и успеют войти в шлюз № 6. При аварии, развивающейся по сценариям 1–6, затопление жилых домов и территорий садовых участков не происходит,

Стоимостная оценка ущерба от аварии СГТС состоит из следующих расчетов: ущерба основным и оборотным фондам, ущерба готовой продукции предприятий, ущерба элементам транспорта и связи, ущерба жилому фонду и имуществу граждан, число погибших и пострадавших при возникновении аварии, расходы на ликвидацию последствий аварии, ущерб сельскому, лесному и рыбному хозяйству, а также экологический ущерб, ущерб по верхнему бьефу, прочие виды реального ущерба. Социальный ущерб следует определять в натуральном выражении (в виде возможного числа погибших и пострадавших при аварии СГТС).

При выполнении расчетов были приняты следующие допущения:

- население будет предупреждено о начале аварии и успеет эвакуироваться;
- для малых населенных пунктов предполагаем, что население от нижней до верхней отметки населенного пункта размещено равномерно, для городов население зон затопления определялось пропорционально площади этих зон;
- в промышленной зоне сосредоточено  $\approx 90\%$  основных и оборотных фондов и складов готовой продукции, в жилой зоне –  $10\%$ ;
- ущерб объектам промышленности в промзоне рассчитывается пропорционально площади зон затопления, в жилой зоне – пропорционально населению;
- на одном этаже многоквартирного дома четыре квартиры, в малоэтажных деревянных домах проживает одна семья, средний размер семьи – 3 чел.;
- ущерб мостам при разрушении в 10 раз превышает ущерб от разрушения автодороги той же протяженности (мост – сложное сооружение);
- исходя из размеров страховых выплат по договору обязательного страхования [5] выплаты родственникам погибших составят 2025 тыс. руб. при условии, что они являются кормильцами семей, 25 тыс. руб. – если не являются.

При прорыве напорного фронта шлюза № 5 по сценарию 1 грузовое судно, находящееся у причальной стенки в нижнем бьефе, получит *слабые повреждения*, *пассажирское судно попадет в зону сильных разрушений*. По принятому допущению пассажирское судно попадает в зону сильных разрушений, происходит утечка в водную среду топлива и машинного масла (5 т из каждого пассажирского и самоходного грузового судна, 0,3 т из маломерных судов), при слабых повреждениях утечка не происхо-

дит, сброс в водную среду нефтепродуктов в пределах лимита составляет 27550 руб./т, причем для рек бассейна р. Волги в Московской области установлен повышающий коэффициент 1,2, учитывающий экологическое состояние водного бассейна. За сверхлимитный сброс загрязнителя плата возрастает в 5 раз.

Оценка вреда от возможной гидродинамической аварии гидротехнических сооружений судоходства проводилась с использованием рекомендаций В. А. Есиновского и др. [8]. Особенностью возможных аварий ворот шлюзов является то, что все виды вреда от гидродинамических аварий связаны с повреждением судов и их груза и с нанесением ущерба здоровью пассажиров, а не с затоплением местности. При расчете ущерба судам степень утери их стоимости принимаем равной:  $K_1 = 0,8$  для сильных повреждений,  $K_2 = 0,4$  для средних повреждений,  $K_3 = 0,1$  для слабых повреждений (по аналогии с ущербом элементам транспорта и связи) – и при расчете ущерба перевозимому грузу равной:  $K_1 = 0,7$  для сильных повреждений,  $K_2 = 0,3$  для средних повреждений,  $K_3 = 0,1$  для слабых повреждений (по аналогии с ущербом готовой продукции предприятий).

Для пассажирских и грузовых судов местного плавания ущерб личной собственности пассажиров и экипажа не учитывается. При оценке расходов на ликвидацию последствий аварии и прочих ущербов учитываются ущерб судам (по аналогии с ущербом элементам транспорта и связи), перевозимым грузам (по аналогии с ущербом готовой продукции предприятий, хранящейся на складах), ущерб личной собственности экипажа (по аналогии с ущербом жилому фонду и личной собственности граждан).

Поскольку определение ущерба проводилось с использованием методики укрупненных оценок, для вычисления необходимых параметров принимались официальные статистические данные по рассматриваемому субъекту Российской Федерации – Московской области по состоянию на 31 декабря 2010 г. с соответствующей их корректировкой на настоящий период. Экономический ущерб от возможной аварии объектам населенных пунктов: основным ( $I_1$ ) и оборотным ( $I_{об}$ ) фондам предприятий, готовой продукции предприятий ( $I_2$ ), жилому фонду и личной собственности граждан ( $I_4$ ) – оценивается пропорционально числу жителей зон сильных, средних и слабых разрушений. При выполнении расчетов были определены размеры общего реального ущерба с учетом социального вреда (днем и ночью).

Для облегчения выполнения трудоемких типовых расчетов вероятного вреда была разработана вычислительная технология в среде Excel, позволяющая по заданным исходным данным определять суммарный ущерб и выдавать в табличном виде необходимые для формирования отчетов материалы. С помощью разработанной вычислительной технологии были проведены расчеты по шести сценариям и в денежном выражении произведена оценка вероятного вреда (реального ущерба) (таблица 1).

**Таблица 1 – Денежная оценка вероятного вреда в результате аварий на судоходных гидротехнических сооружениях. Сценарий 1**

В млн руб.

| Вид ущерба   | И        | Сценарий 1 |
|--|----------|------------|
| 1  | 2        | 3          |
| Основным фондам предприятий                          | $I_1$    | 0,00       |
| Оборотным фондам предприятий                         | $I_{об}$ | 0,00       |
| Готовой продукции предприятий, хранящейся на складах | $I_2$    | 0,00       |
| Элементом транспорта и связи                         | $I_3$    | 243,0      |
| Жилому фонду и личной собственности граждан          | $I_4$    | 21,14      |
| Расходы на ликвидацию последствий аварии             | $I_5$    | 52,83      |
| Сельскохозяйственному производству                   | $I_6$    | 0,00       |
| От потери леса как сырья для промышленности          | $I_{7с}$ | 0,00       |
| От затопления лесов (экологический)                  | $I_{7э}$ | 0,00       |

## Продолжение таблицы 1

| 1   | 2                | 3            |
|---|------------------|--------------|
| Окружающей природной среде                                    | И <sub>8</sub>   | 0,83         |
| Водоснабжению населенных пунктов                              | И <sub>9</sub>   | 0,00         |
| Объектам водного транспорта                                   | И <sub>10</sub>  | 0,00         |
| Рыбному хозяйству   | И <sub>11</sub>  | 0,00         |
| Прочие виды реального ущерба                                  | И <sub>12</sub>  | 31,70        |
| <b>Общий реальный ущерб И<sub>общ</sub></b>                   | <b>И</b>         | <b>349,5</b> |
| Социальный вред при аварии, днем                              | И <sub>соц</sub> | 31,23        |
| Социальный вред при аварии, ночью                             |                  | 66,03        |
| <b>Общий реальный ущерб с учетом социального вреда, днем</b>  |                  | <b>380,7</b> |
| <b>Общий реальный ущерб с учетом социального вреда, ночью</b> |                  | <b>415,5</b> |

Особенностью возможных аварий на гидроузле № 5 является то, что все виды вреда от гидродинамических аварий связаны с повреждением судов и их груза и с нанесением ущерба здоровью пассажиров, а не с затоплением местности.

**Список использованных источников**

1 Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]: утв. Приказом МЧС России и Минтранса России от 02.10.2007 № 528/143. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/192710/>, 2018.

2 Порядок определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения [Электронный ресурс]: утв. Приказом МЧС РФ, МПР, Минтранса РФ и Госгортехнадзора РФ от 18.05.2002 № 243/15/270/68/89: зарег. в Минюсте РФ 3 июня 2002 г. – Рег. № 3493. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12127012/>, 2018.

3 Правила определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидротехнического сооружения [Электронный ресурс]: утв. Постановлением Правительства РФ от 18.12.2001 № 876. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12125163/>, 2018.

4 О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Постановление Правительства РФ от 17 мая 2011 г. № 376 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-17052011-n-376/>, 2018.

5 Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте: Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12177579/>, 2018.

6 Декларация безопасности гидроузла № 5 в составе: шлюз № 5, насосная станция № 185, восточная дамба канала № 288 / ФГУП «Канал имени Москвы». – М., 2014. – 24 с.

7 Акт преддекларационного обследования гидротехнических сооружений гидроузла № 5 в составе: шлюз № 5, насосная станция № 185, восточная дамба канала № 288 / ФГУП «Канал имени Москвы». – М., 2013. – 30 с.

8 Особенности определения размера вреда жизни, здоровью, имуществу физических и юридических лиц в результате аварий судоходных гидротехнических сооружений / В. А. Есиновский [и др.] // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 6. – С. 4–10.

УДК 626/627.001.25

**А. М. Кореновский, Л. В. Юченко**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

**ОБСЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ЦЕЛЬЮ  
ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
КРЮКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

*Целью исследований являлся ретроспективный анализ аварий и повреждений (с 1972 по 2017 г.), вызванных специфическими гидрогеологическими особенностями строения основания Северной дамбы Крюковского водохранилища. Путем проведения полевых обследований и синтеза исследований в смежных областях знаний выявлены наиболее значимые гидродинамические и инженерно-геологические факторы, которые привели к аварийной ситуации. В заключение предложены мероприятия, которые позволят повысить безопасность рассматриваемого гидротехнического сооружения.*

*Ключевые слова: дамба, гидротехническое сооружение, надежность, безопасность, разрушение, авария.*

\*\*\*\*\*

**A. M. Korenovskiy, L. V. Yuchenko**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

**SURVEY AND EVALUATION OF TECHNICAL STATE  
WITH A FOCUS ON SAFETY ENHANCEMENT OF HYDRAULIC  
STRUCTURES OF KRYUKOVSKIY RESERVOIR**

*The purpose of the research was a retrospective analysis of accidents and damages (from 1972 to 2017), caused by specific hydrogeological peculiarities of the Northern dam base structure of the Kryukovskiy reservoir. By carrying out field surveys and synthesis of research in related fields of knowledge the most essential hydrodynamic and engineering-geological factors that led to an emergency situation were identified. In conclusion the measures to increase the safety of the hydraulic structure under consideration are proposed.*

*Key words: dam, hydraulic structure, reliability, safety, destruction, accident.*

Крюковское водохранилище является объектом, завершающим комплекс мероприятий по осушению Закубанского плавневого массива в Краснодарском крае. Основной причиной заболачивания массива служил паводковый сток 22 горных рек, который стекал на массив и, не имея выхода в р. Кубань из-за высокой прирусловой гряды и оградительного вала реки, скапливался на массиве, образуя так называемые Закубанские плавни площадью до 35 тыс. га. На подходах к плавням русла горных речек, заросшие и заросшие кустарником, не пропускали паводковых расходов, вода выливалась на прилегающие поля, в результате затапливалось и подтапливалось еще 36,2 тыс. га пашни. После катастрофического паводка 1956 г. колхозами-землепользователями был поднят вопрос об осушении плавневых земель, в связи с чем в 1959 г. Краснодарским филиалом института «Кубаньгипроводхоз» была разработана схема осушения Закубанских плавней [1].

Крюковское водохранилище расположено в Северском районе у южной окраины сел Ананьевского, Львовского и Михайловского, образовано путем всестороннего обвалования Крюковского лимана – естественного водоприемника для пяти рек – Песчанка, Иль, Бугай, Эйбза и Хабль. Крюковское водохранилище было построено в 1967–1972 гг.

и принято в эксплуатацию в 1972 г. Оно образовано водоградительными дамбами – Северной, Западной и Юго-Восточной, включающими в чашу водохранилища Крюковский лиман и часть прилегающих к нему прибрежных земель.

Проектные показатели водохранилища приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Проектные показатели водохранилища**

| Наименование показателя   | Единица измерения  | Количество |
|---------------------------|--------------------|------------|
| 1 Отметка НПУ             | м                  | 14,40      |
| 2 Объем при НПУ           | млн м <sup>3</sup> | 111,0      |
| 3 Площадь зеркала при НПУ | км <sup>2</sup>    | 40,2       |
| 4 Отметка ФПУ             | м                  | 16,50      |
| 5 Отметка УМО             | м                  | 11,35      |
| 6 Длина                   | км                 | 8,0        |
| 7 Объем при ФПУ           | млн м <sup>3</sup> | 203,0      |

В ночь с 29 на 30 марта 2017 г. на Крюковском водохранилище на участке Северной дамбы (с. Михайловское) протяженностью около 300 м произошла просадка гребня с характерными трещинами по верху дамбы и со стороны сухого откоса.

В результате руководством ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» было принято решение о снижении уровня воды в водохранилище до отметки УМО (11,35 м) и переводе Крюковского водохранилища на работу в транзитном режиме.

Анализ произошедших деформаций, а также материалы прошлых лет [2–4] позволяют сделать следующий вывод о причине случившегося. Подобные ситуации на этом участке дамбы происходили с момента ее постройки (1972 г.) не менее трех раз. Актом обследования Крюковского водохранилища от 14.09.1983 установлено, что на северном участке водоградительной дамбы в границах ПК 45 + 00 – ПК 48 + 00 происходит непрерывная осадка. В 1978 г. осадка была равна 0,80 м. Летом 1979 г. произведен ремонт. В августе 1983 г. осадка дамбы составила 1,10 м. Однако после произведенной досыпки дамбы ее дальнейшая осадка продолжилась. Причиной происходящих осадок, согласно геологическим исследованиям, является наличие под основанием дамбы погребенного староречья, заполненного истым грунтом полужидкой консистенции. Это связано с тем, что основание дамбы попадает на пойменную часть русла р. Сухой Аушедз, истые отложения которого изначально не были замещены качественным грунтом, не было это сделано и при реконструкции дамбы, выполненной в 2016 г. группой компаний ООО «Инсайт».

На рисунках 1 и 2 показаны выпор грунта на дренажном канале и просевшая часть Северной дамбы Крюковского водохранилища.



**Рисунок 1 – Выпор грунта в дренажном канале  
(автор фото А. М. Кореновский)**



**Рисунок 2 – Просевшая часть Северной дамбы  
(автор фото А. М. Кореновский)**

Основными инженерно-геологическими процессами, вызвавшими аварию на Северной дамбе Крюковского водохранилища, являются процессы, приводящие в неустойчивое состояние дамбу на исследуемом участке. В результате этого на дамбе вдоль гребня мокрого откоса и вдоль гребня рисбермы сухого откоса появились продольные трещины вертикального заложения. Ширина трещин составила 5,0–20 см, глубина – 1,0–1,5 м. Также появились поперечные трещины просадочного типа, оконтуривающие просадочный участок. После этого началась активная часть просадки участка дамбы, которая достигла за несколько дней в центральной части участка глубины 1,5–3,5 м.

Просадочный процесс происходил по вертикали без смещения массы в горизонтальном направлении. Несколько позже со стороны сухого откоса в дренажном канале, проходящем в 20 м от основания дамбы, начало происходить выдавливание (выпор) мягкопластичного грунта с образованием вала выпирания по днищу канала. В последующем в течение нескольких дней после начала просадки грунт полностью заполнил канал на данном участке. Сразу же после начала ликвидации аварии были организованы круглосуточные геодезические наблюдения за динамикой просадочного процесса. Проседание дамбы, по результатам геодезического мониторинга, продолжалось еще несколько дней (с 4 по 5 апреля) с величиной осадки от 3 до 10 см/сут и несколько стабилизировалось с 6 по 11 апреля с амплитудой 1–3 см, после ликвидации аварии и вывода техники с 11 по 17 апреля осадка составляла от 0,1 до 3,0 см.

На момент активизации просадки грунтов фильтрация через тело дамбы не отмечалась на всем ее протяжении, за исключением одного свища, расположенного на берме сухого откоса в районе ПК 47 + 50. Расход свища составил около 50 л/с. Вода из свища вытекала более мутная, чем в чаше водохранилища, что может говорить о незначительной суффозии. В последующие дни, в период с 01.04.2017 по 04.04.2017, фильтрация на данном участке дамбы была ликвидирована с помощью цементации и водоизлияние через свищ полностью прекратилось. Судя по характеру выносимых через свищ грунтов, а они были как желто-коричневого, так и серо-бурого цвета, фильтрация происходила по границе между насыпными грунтами дамбы и коренными глинами основания и ее причиной, ввиду локальности, является небольшая в размерах неоднородность в разрезе грунтов. Характерной особенностью является то, что, с одной стороны, процесс проседания участка дамбы не сопровождался перемещением его в пониженные участки сухого откоса основания дамбы, с другой стороны, при бурении не обнаружены плоскости скольжения, что не позволяет классифицировать активный процесс как оползневый. Механизм перемещения грунтов характеризуется как процесс вертикального проседания дамбы с сильным сжиманием грунтов основания и выпором их в основании сухого откоса.

Основными причинами выпора грунтов на Северной дамбе Крюковского водохранилища являются:

- увеличение внешней нагрузки на основание дамбы и откос из-за расширения ее при реконструкции 2015–2016 гг.;

- снижение сцепления и трения грунтов при их увлажнении, что возможно при повышении уровня подземных вод и длительных осадках, произошедших накануне аварии;

- неправильное назначение расчетных характеристик прочности грунтов основания при проектировании реконструкции дамбы;

- влияние взвешивающего действия воды на грунты в основании дамбы при повышении уровня воды в водохранилище;

- динамические воздействия – движение транспорта, применение виброкатков.

В период строительства и в первый год эксплуатации дамба трижды проседала. Первая осадка дамбы была катастрофически быстрой (за 1 сут). Последующие осадки были более медленными. Тело дамбы на этом участке проходит в месте, где в достроительный период находилось болото Круглый Лиман, которое примыкало к Крюковскому лиману, входящему в заболоченный массив, называемый Закубанскими плавнями, а аварийный участок полностью совпадает с границами бывшего болота Круглый Лиман.

По отдельно сохранившимся материалам изысканий, непосредственно на этом участке подошва дамбы на 1990 г. залегала на абсолютных отметках 12,0–13,0 м [5]. На момент проведения аварийно-восстановительных работ и в период выполнения изыскательских работ (4–9 апреля 2017 г.), по результатам изысканий, подошва дамбы залегает на абсолютных отметках 9,1–10,3 м. Это говорит о том, что максимальная величина просадки за период с 1990 по 2017 г. составляет до 4,0 м (в среднем до 2 м). Объем просадки и выпора грунтов ориентировочно составляет от 15 до 18 тыс. м<sup>3</sup> грунта.

В результате обследования в 2017 г. специалистами ФГБНУ «РосНИИПМ» были пробурены скважины и заложены шурфы. Установлено, что в основании Северной дамбы залегают слабые, высокопористые, неконсолидированные грунты, содержащие органику, заторфованные и имеющие низкую несущую способность. Эти грунты имеют высокие значения полной влагоемкости грунта, однако в результате увеличения давления и продолжительного замачивания при весьма высоком потенциале по влагоемкости и способности к набуханию потеряли свою структурную прочность, перешли в пластическое состояние, т. е. приобрели все свойства весьма близких по всем параметрам к слабым глинам, и начали сильно сжиматься и выдавливаться.

В результате реконструкции Северной дамбы на данном участке было произведено уширение в сторону сухого откоса и поднятие гребня дамбы, тем самым была увеличена нагрузка на основание дамбы. Ориентировочная дополнительная нагрузка составила 0,05 МПа. Кроме того, по технологической дороге постоянно двигался большегрузный строительный транспорт, создающий динамические нагрузки, тем самым создавая условия для нарушения структурных связей и разуплотнения подстилающих грунтов. Следует учесть, что, по результатам единовременного замера 9 апреля 2017 г., грунтовые воды вскрывались несколько ниже настоящего основания дамбы, установившийся уровень фиксировался в теле дамбы, а в скважинах за пределами активного участка установившийся уровень фиксируется ниже основания дамбы. Это свидетельствует о возможной фильтрации воды из Крюковского водохранилища через тело дамбы на данном участке, что замачивает основание дамбы и создает дополнительную гидродинамическую нагрузку.

После проведения исследований и обобщения материалов полевых работ ФГБНУ «РосНИИПМ» рекомендует провести следующие мероприятия:

- ввиду значительных коэффициентов фильтрации в основании сооружения провести предпроектные работы по технико-экономическому и научному обоснованию

противофильтрационных мероприятий, т. е. сравнить способ «стена в грунте» и как альтернативу проект локального водопонижения;

- провести компьютерное моделирование процессов фильтрации для рассмотрения возможности применения противофильтрационных завес из композитных материалов;

- создать сеть наблюдательных скважин для отслеживания уровня грунтовых вод на дамбе и в зоне расположения ГТС;

- устранить разуплотнения в основании дамбы путем закачки в них жидких композитных материалов;

- восстановить уплотнения деформационных швов на откосах Северной дамбы.

#### **Список использованных источников**

1 Проектное задание строительства Крюковского водохранилища в Краснодарском крае. – Краснодар, 1965. – 45 с.

2 Переустройство рисового орошаемого участка в колхозе «Родина» Северского района на площади 514 га / Кубаньгипроводхоз. – Краснодар, 1982. – 138 с.

3 Улучшение технического состояния орошаемого участка на площади 625 га в колхозе «Родина» Северского района / Кубаньгипроводхоз. – Краснодар, 1988. – 240 с.

4 Капитальный ремонт дамбы Крюковского водохранилища / Кубаньгипроводхоз. – Краснодар, 1990. – 310 с.

5 Реконструкция головного водозаборного сооружения Крюковского водохранилища / ООО «Геопроектстрой». – М., 2006. – 128 с.

УДК 626.823.6:627.844

**М. В. Вайнберг**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

#### **ПРИБОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДОУЧЕТА ДЛЯ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*В статье описаны основные требования к приборному обеспечению водоучета, рекомендованы технологии водоучета и водоизмерения, приведены средства измерения, разработанные как отечественной, так и зарубежной промышленностью, позволяющие организовать полную автоматизацию процесса измерения для напорных трубопроводов оросительных систем. Выполненный анализ средств измерения показал, что при решении технических вопросов кроме достоверности измерения необходимо также учитывать надежность, удобство в обслуживании, стоимость того или иного средства измерения.*

*Ключевые слова: водоучет, водоизмерение, приборное обеспечение, напорный трубопровод, измерительные комплексы.*

\*\*\*\*\*

**M. V. Vainberg**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

#### **WATER METERING INSTRUMENTATION FOR PRESSURE PIPELINES OF IRRIGATION SYSTEMS**

*The main requirements for water metering instrumentation are described, water measurement and water metering technologies are recommended, gauge devices developed both by domestic and foreign industry allowing to organize the complete automation of the measurement process for pressure pipelines of irrigation systems are given. The carried out*

*analysis of the measuring means has shown that in solving technical problems in addition to the measurement reliability it is also necessary to take into account reliability, ease of maintenance and the cost of any measuring means.*

*Key words: water metering, water measurement, instrumentation, pressure pipeline, measuring systems.*

Основным условием рационального использования водных ресурсов на оросительных системах является обеспечение точного и достоверного учета подачи, потребления и сброса воды на мелиоративных системах (водоучета и водоизмерения) [1]. В настоящее время эксплуатационные организации, обслуживающие современные оросительные системы, заинтересованы в применении средств водоизмерения и их метрологическом обеспечении.

Приборное обеспечение водоучета должно формироваться из средств измерения и специального оборудования и должно представлять собой унифицированные контрольно-измерительные комплексы, которые различаются в зависимости от вида объекта (открытая оросительная сеть, закрытая оросительная сеть) и состава измеряемых параметров [2].

Для уменьшения стоимости средств водоучета и водоизмерения, а также достижения необходимой метрологической надежности получаемой информации рекомендованы следующие технологии:

- при водоучете для проведения учетных (коммерческих) операций должна использоваться технология определения объема стока воды на основе применения контрольно-измерительных комплексов различной конфигурации, установленных на стандартизованном гидрометрическом сооружении. Такая технология обеспечивает более высокое метрологическое качество выходной информации. Возможно использование традиционного определения объема стока воды на основе «ручных» методов измерения параметров водного потока на стандартизованном гидрометрическом сооружении. Такая технология, дополняя основную, позволяет использовать минимальный набор простейших средств измерений, существующих на объектах мелиоративных систем. В случае отказа в работе контрольно-измерительного комплекса традиционная технология может являться основной;

- при водоизмерении предусматривается упрощенная технология измерения контролируемых параметров водного потока на основе «ручных» методов, что позволит использовать минимальный набор простейших средств измерений, существующих на объектах мелиоративных систем. В дальнейшем предусматривается переход на технологии водоизмерений с использованием специализированных контрольно-измерительных комплексов.

Средства водоучета должны обеспечивать [3]:

- высокую точность и достоверность измерений;
- сохранение однозначности измеряемых параметров во всем диапазоне измерений;
- защищенность показаний приборов, фиксируемых параметров от вмешательств извне;

- возможность в любой момент времени проконтролировать состояние средств водоучета и водоизмерения;

- возможность в короткий срок замены и ремонта средств измерений.

Одними из обязательных условий применения измерительных комплексов должны быть:

- стабильность работы в условиях нестабильного энергоснабжения;
- наличие стандартных выходных сигналов для передачи информации через телекоммуникационные системы;
- блочное построение для безопасного демонтажа оборудования на зимнее хранение.

Оснащение мелиоративных систем измерительными приборами должно проходить в несколько этапов.

На первом этапе все пункты водоучета должны оснащаться неконтактными расходомерами-счетчиками для обеспечения учетных операций. Пункты и контрольные точки водоизмерения должны быть оснащены простейшими аттестованными средствами измерений технологических параметров.

На втором этапе пункты водоучета и водоизмерения должны быть оснащены автоматизированными уровнемерами с неконтактными датчиками уровня для обеспечения текущего контроля состояния водопроводящей сети. Пункты водоизмерения по необходимости дополняются неконтактными расходомерами для обеспечения регулирования водораспределения.

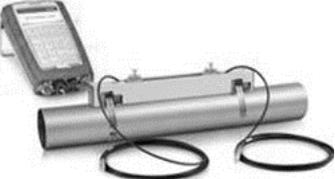
На третьем этапе средства контроля и измерения объединяются в автоматизированную систему водоизмерения, необходимым компонентом которой является телекоммуникационное оборудование с соответствующим техническим и программным обеспечением.

Современное положение на рынке измерительных приборов и оборудования позволяет обеспечить закупку любых видов и типов измерительных приборов и оборудования с целью применения их на напорных трубопроводах оросительных систем. Таким образом, на основе вышеизложенного для организации эффективной системы водоучета и водоизмерения предложено рекомендуемое приборное обеспечение для напорных трубопроводов оросительных систем (таблица 1).

**Таблица 1 – Рекомендуемые средства измерения параметров водного потока для организации водоучета и водоизмерения на напорных трубопроводах**

| Наименование продукции, изготовитель   | Рисунок   | Основные технические характеристики   | Стоимость, руб. |
|--|---|---|-----------------|
| 1  | 2   | 3   | 4               |
| Расходомер-счетчик ультразвуковой «Днепр-7» (Россия) [4]                       |  | Типы датчиков – накладные. Диапазон измерения 0,1–43429 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 20...1600 мм. Напряжение питания 12 В. Среднее время наработки на отказ 7500 ч. Аналоговый сигнал 0–5; 4–20 мА. Погрешность измерения ±1,5 %. Средний срок службы не менее 8 лет         | от 32000        |
| Расходомеры ультразвуковые со счетчиком модели УЗР-В-М «Акустрон» (Россия) [5] |  | Типы датчиков – врезные, накладные. Диапазон измерения 0,00063–31,5 м <sup>3</sup> /с при D <sub>y</sub> = 50...2400 мм. Напряжение питания 220 В. Среднее время наработки на отказ 4000 ч. Аналоговый сигнал 4–20 мА. Погрешность измерения ±1,5 %. Средний срок службы не менее 8 лет | 20000           |

## Продолжение таблицы 1

| 1  | 2   | 3   | 4      |
|--|---|---|--------|
| Ультразвуковой расходомер-счетчик «Взлет МР» (УРСВ) (Россия) [6] |    | Типы датчиков – врезные, накладные. Диапазон измерения 0,0002–0,03 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 50...4200 мм. Напряжение питания 220 В. Среднее время наработки на отказ 75000 ч. Аналоговый сигнал 4–20 мА. Погрешность измерения ±1,5 %. Средний срок службы 12 лет | 76900  |
| Расходомер SLS-700 F (США) [7]                                   |    | Типы датчиков – накладные. Диапазон измерения 0,9–650000 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 15...6000 мм. Напряжение питания 8–36 В. Среднее время наработки на отказ 60000 ч. Аналоговый сигнал 4–20 мА. Погрешность измерения ±1,0 %. Гарантийный срок службы 5 лет       | 53000  |
| Расходомер ультразвуковой «Акрон-01» (Россия) [8]                |   | Типы датчиков – накладные. Диапазон измерения 8–40000 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 40...2000 мм. Напряжение питания 220 В. Среднее время наработки на отказ 67000 ч. Аналоговый сигнал 0–5; 0–20; 4–20 мА. Погрешность измерения ±1,5 %. Средний срок службы 10 лет   | 53800  |
| Ультразвуковой расходомер Optisonic 6300 P (Нидерланды) [9]      |  | Типы датчиков – накладные. Диапазон измерения 0,1–20 м/с при D <sub>y</sub> = 15...4000 мм. Напряжение питания 24 В. Среднее время наработки на отказ 67000 ч. Аналоговый сигнал 4–20 мА. Погрешность измерения ±1 %. Средний срок службы 10 лет                                | 285240 |
| «Омега-Р» расходомер-счетчик электромагнитный (США) [10]         |  | Типы датчиков – накладные. Диапазон измерения 0,01–3600 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 6...400 мм. Напряжение питания 12 В. Среднее время наработки на отказ 75000 ч. Аналоговый сигнал 0–5; 4–20 мА. Погрешность измерения ±1 %. Средний срок службы 12 лет            | 120000 |

Продолжение таблицы 1

| 1   | 2   | 3  | 4     |
|---|---|--|-------|
| <p>Электромагнитный расходомер M2000 Badger Meter (США) [11]</p>            |    | <p>Типы датчиков – накладные. Диапазон измерения 0,03–10 м/с при <math>D_y = 15 \dots 1400</math> мм. Напряжение питания 24 В. Среднее время наработки на отказ 50000 ч. Аналоговый сигнал 0–20; 4–20 мА. Погрешность измерения <math>\pm 0,5</math> %. Средний срок службы 10 лет</p>                     | 80027 |
| <p>Ультразвуковой расходомер-счетчик UFM-005 (Россия) [12]</p>              |    | <p>Типы датчиков – накладные и врезные. Диапазон измерения 0,03–36000 м<sup>3</sup>/ч при <math>D_y = 15 \dots 1600</math> мм. Напряжение питания 220 В. Среднее время наработки на отказ 6500 ч. Аналоговый сигнал 4–20 мА. Погрешность измерения <math>\pm 1</math> %. Средний срок службы 12 лет</p>    | 39950 |
| <p>Ультразвуковой расходомер Sitrans F US (Украина) [13]</p>                |   | <p>Типы датчиков – накладные. Диапазон измерения 0,3–45000 м<sup>3</sup>/ч при <math>D_y = 50 \dots 4000</math> мм. Напряжение питания 220 В. Среднее время наработки на отказ 50000 ч. Аналоговый сигнал 0–5; 0–20; 4–20 мА. Погрешность измерения <math>\pm 0,5</math> %. Средний срок службы 10 лет</p> | 82093 |
| <p>Расходомер воды корреляционный ультразвуковой ДРК-4-ОП (Россия) [14]</p> |  | <p>Типы датчиков – накладные. Диапазон измерения 2,7–452000 м<sup>3</sup>/ч при <math>D_y = 80 \dots 4000</math> мм. Напряжение питания 36 В. Среднее время наработки на отказ 50000 ч. Аналоговый сигнал 0–5; 0–20; 4–20 мА. Погрешность измерения <math>\pm 1,5</math> %. Средний срок службы 8 лет</p>  | 47377 |
| <p>Примечание – <math>D_y</math> – диаметр условного прохода.</p>           |   |  |       |

Анализ применимости средств водоучета и водоизмерения для напорных трубопроводов оросительных систем проводился в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями:

- диапазон измерения расхода, стока;
- типы датчиков;
- допустимая погрешность измерения;
- наличие интерфейса для связи с системами удаленного сбора информации или автоматики;

- напряжение питания устройства;
- завоздушенность водного потока;
- средний срок службы;
- среднее время наработки на отказ;
- стоимость устанавливаемого прибора.

Очевидно, что метрологические характеристики расходомеров для напорных трубопроводов сходны:

- погрешность измерений колеблется от  $\pm 0,5$  до  $\pm 1,5$  %;
- выходной информацией данных расходомеров является стандартный аналоговый сигнал 0–5; 4–20; 0–20 мА;
- величиной измерения является объемный расход.

Исходя из сравнения технических характеристик, можно сделать следующие выводы:

- накладные датчики более удобны при их установке и последующем использовании, однако имеют большую погрешность измерений, чем врезные. Это связано с коррозией внутренних стенок напорных труб при длительной эксплуатации и, как следствие, изменением их шероховатости и толщины, учитываемой программным обеспечением расходомера;
- диаметр измерений условного прохода колеблется в обширных пределах в зависимости от типа расходомера, что позволяет потребителю выбрать подходящую модель;
- наибольший срок службы имеют ультразвуковые расходомеры в связи с тем, что они не погружаются в измеряемую среду и тем самым исключается их загрязнение.

Выполненный анализ средств измерения показал, что при решении технических вопросов кроме достоверности измерения необходимо также учитывать надежность, удобство в обслуживании, стоимость того или иного средства измерения.

#### Список использованных источников

1 Провести исследования и разработать проект свода правил «Правила эксплуатации. Оснащение мелиоративных систем средствами водоучета»: отчет о НИР (заключ.): 1.14 / ФГНУ «РосНИИПМ»; рук.: Щедрин В. Н. – Новочеркасск, 2010. – 92 с. – Исполн.: Щедрин В. Н. [и др.]. – № ГР 01201066566. – Инв. № 02201058062.

2 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 ВИНТИ 27.04.12, № 196-В2012.

3 Шепелев, А. Е. Требования к организации водоучета на оросительных системах, определяющие основные положения нормативного документа / А. Е. Шепелев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2013. – Вып. 51. – С. 123–128.

4 Расходомер-счетчик ультразвуковой Днепр-7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pribor-s.ru/opisanie/dnepr-7>, 2018.

5 Расходомеры ультразвуковые со счетчиком модели УЗР-В-М Акустрон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://td-str.ru/file.aspx?id=26181>, 2018.

6 Ультразвуковой расходомер-счетчик Взлет МР (УРСВ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://vzljet-msk.ru/products/ultrazvukovoy\\_rashodomer/rashodomer-schet-chik-ultrazvukovoj-vzlet-mr-ispolnenij-ursv-5hh-ts/](http://vzljet-msk.ru/products/ultrazvukovoy_rashodomer/rashodomer-schet-chik-ultrazvukovoj-vzlet-mr-ispolnenij-ursv-5hh-ts/), 2018.

7 Расходомер SLS-700 F [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://промприбор.москва/catalog/streamlux-sls-700f/>, 2018.

8 Расходомер ультразвуковой АКРОН-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://теплоприбор.рф/catalog/akron-01/>, 2018.

9 Ультразвуковой расходомер Optisonic 6300 P. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/41058753-Optisonic-6300-p-portativnyy-ultrazvukovoy-nakladnoy-rashodomer-rukovodstvo-po-ekspluatcii.html>, 2018.

10 ОМЕГА-Р расходомер-счетчик электромагнитный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://td-rashodomer.ru/catalog/rashodomery-schetchiki/elektromagnitnye/omega-r.htm>, 2018.

11 Электромагнитный расходомер M2000 BadgerMeter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://all-pribors.ru/opisanie/49859-12-badzher-meter-m2000-52863>, 2018.

12 Ультразвуковой расходомер-счетчик UFM-005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://flowmeter.ru/ufm.html>, 2018.

13 Ультразвуковой расходомер SITRANS F US [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://petroplanpro.spb.ru/catalog/kontrolno-izmeritelnye\\_pribory\\_siemens/rashodomery/sitrans\\_f\\_us\\_ultrazvukovoj\\_rashodomer.html](https://petroplanpro.spb.ru/catalog/kontrolno-izmeritelnye_pribory_siemens/rashodomery/sitrans_f_us_ultrazvukovoj_rashodomer.html), 2018.

14 Расходомер воды корреляционный ультразвуковой ДРК-4-ОП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://staroruspribor.ru/catalog/drk-4/>, 2018.

УДК 627.133;502.56/568

**А. А. Бубер, Ю. А. Хомутов**

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

### **РАЗРАБОТКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОДОРАЗДЕЛЬНОГО ГОРОДСКОГО БЬЕФА ВЫШНЕВОЛОЦКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ И РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОГО ВРЕДА В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ГТС**

*В статье описана разработка гидродинамической модели водораздельного городского бьефа Вышневолоцкой водной системы и рассмотрен технологический цикл расчета вероятного вреда при аварии на Верхнецуцинской, Нижнецуцинской и Старотверецкой плотинах. На основании данных расчетов была определена величина страховой суммы при страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте.*

*Ключевые слова: гидродинамическое моделирование, MIKE 11, страхование ГТС, авария на ГТС, расчет ущерба при аварии на ГТС, сценарии аварии на ГТС, волна прорыва, размыв плотины.*

\*\*\*\*\*

**A. A. Buber, Yu. A. Khomutov**

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russian Federation

### **THE DEVELOPMENT OF THE HYDRODYNAMIC MODEL OF THE WATERSHED MUNICIPAL POOL OF THE VYSHNEVOLOTSLAYA WATER SYSTEM AND CALCULATION OF PROBABLE DAMAGE CAUSED BY THE HYDRAULIC STRUCTURE ACCIDENT**

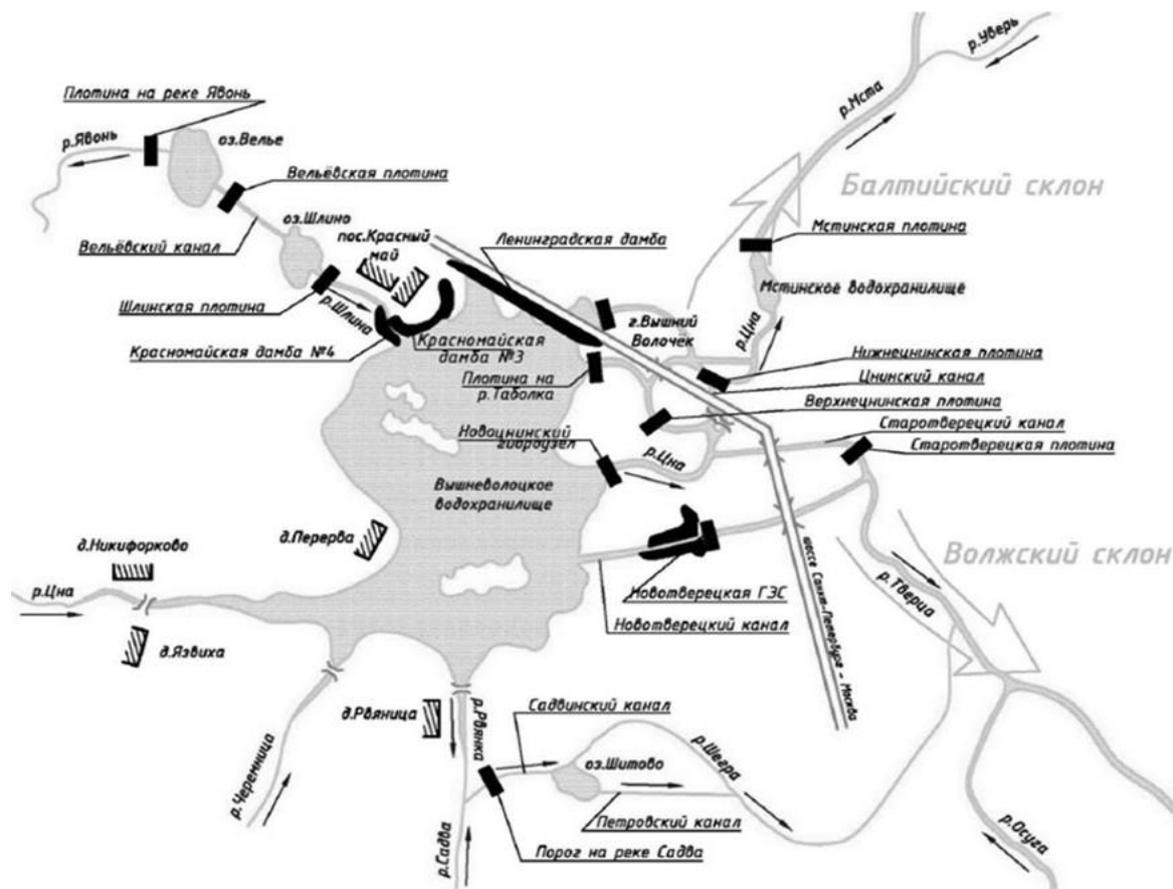
*The development of the hydrodynamic model of the watershed municipal pool of the Vyshnevolotsk water system is described and the technological cycle for calculating the probable damage of the Verkhnetsninskaya, Nizhnetninskaya and Starotveretskaya dam accidents are considered. Based on these calculations, the insured amount for liability insurance of an owner of a hazardous facility against damage resulting from an accident at a hazardous facility was determined.*

*Key words: hydrodynamic modeling, MIKE 11, hydraulic structure insurance, accident at hydraulic structure, calculation of damage at hydraulic accident, scenarios of hydraulic accident, breakthrough wave, dam washout.*

Целью настоящей работы является расчет параметров волн прорыва, зон затопления и ущерба при различных сценариях гидродинамической аварии на городском во-

дораздельном бьефе Вышневолоцкой водной системы, включающем в себя Верхнецнинскую, Нижнецнинскую и Старотверецкую плотины.

Верхнецнинская, Нижнецнинская и Старотверецкая плотины являются гидроузлами, с помощью которых поддерживается промежуточный водораздельный бьеф г. Вышнего Волочка на постоянном уровне (157,0 м). В паводок через Верхнецнинскую плотину сбрасывается излишняя вода, поступающая в водораздельный бьеф из Вышневолоцкого водохранилища по Новоцнинскому лотку. В начальный период паводка открываются запорные щиты верхнего ряда. По мере нарастания паводка открываются нижние щиты. Запорные стойки не снимаются. В паводок через Нижнецнинскую плотину сбрасывается вода, поступающая в водораздельный бьеф из Вышневолоцкого водохранилища по Новоцнинскому лотку, а также из р. Тверцы через Новоцнинскую гидроэлектростанцию. Обычно плотина в закрытом состоянии, и только при повышении уровня выше отметки 157,0 м производится открытие щитов для сброса воды. Излишняя вода сбрасывается в р. Цну. Верхнецнинская плотина перекрывает устье Старотверецкого канала. В пропуске паводка не участвует, так как горизонт воды в р. Тверце в это время бывает выше горизонта воды в водораздельном бьефе. Плотина в паводок частично открывается для санитарной промывки водораздельного бьефа из р. Тверцы. При увеличении расхода в р. Тверце до 100–120 м<sup>3</sup>/с открываются затворы плотины на высоту до 1,5 м для пропуска воды в водораздельный бьеф города. Обычно плотина в закрытом состоянии. Попуски воды из водораздельного бьефа в р. Тверцу в санитарных целях производятся в размере 0,26–0,30 млн м<sup>3</sup>/месяц [1–3]. Схема расположения ГТС Вышневолоцкой системы приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема расположения сооружений Вышневолоцкого каскада водохранилищ**

Для оценки возможных последствий аварии в среде программного комплекса MIKE 11 (Датского гидравлического института) была разработана гидродинамическая

модель участка [4, 5]: нижний бьеф (НБ) Новоцнинской плотины, левый рукав р. Цны, включая Верхнецнинскую плотину, правый рукав р. Цны, включая Цнинский канал и Нижнецнинскую плотину, участок р. Цны от точки слияния левого и правого рукавов до устья р. Цны – впадения в Мстинское водохранилище (оз. Мстино), Старотверецкий канал, Старотверецкая плотина, участок р. Тверцы от НБ Старотверецкой плотины до створа р. Тверцы на расстоянии 1570 м от створа плотины. В дальнейшем моделируемый участок называется «Городской водораздельный бьеф Вышневолоцкой системы».

Для создания модели были выполнены следующие работы:

- разработана координатная привязка карты-подложки для моделирования в среде MIKE 11;

- на карту-подложку нанесены 34 пойменных поперечных сечения, сформированных по цифровой модели рельефа. Поперечные сечения привязаны к продольному профилю расчетного участка (рисунок 2);

- для водохранилища городского водораздельного бьефа Вышневолоцкой системы задана отметка уровня;

- определена на основе калибровки шероховатость по пойменной части русла;

- выполнены расчеты для шести сценариев возможного разрушения фронта плотин;

- проанализированы гидравлические результаты расчетов.



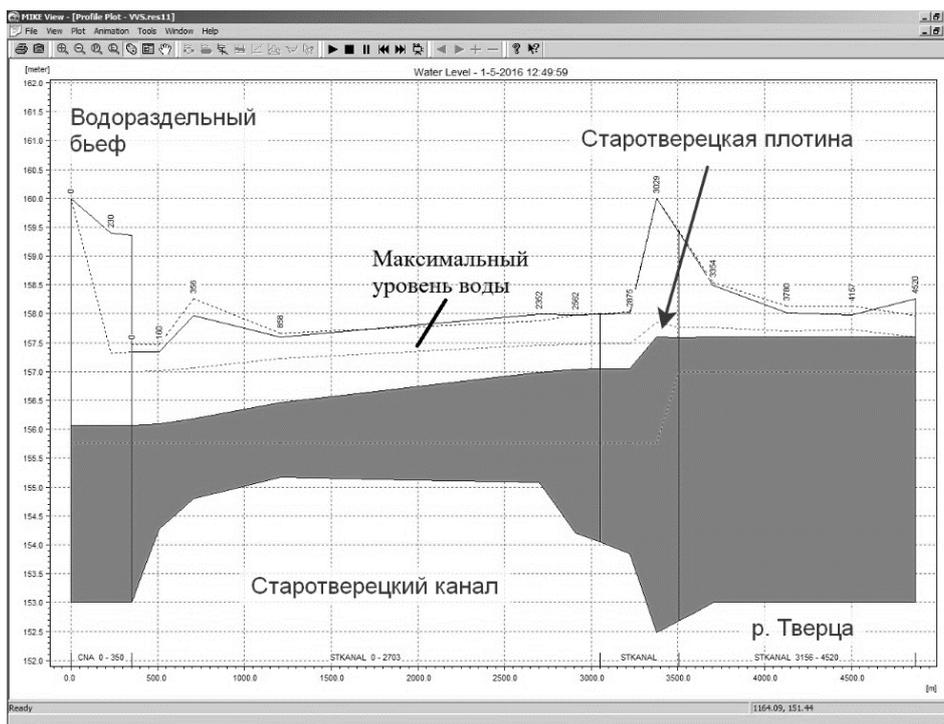
**Рисунок 2 – Фрагмент карты-подложки с оцифрованной речной сетью и плановой привязкой поперечных сечений в среде MIKE 11**

В статье приведен расчет самого неблагоприятного сценария развития аварии. При уровне воды в НБ Старотверецкой плотины на отметке НПУ (157,6 м) и уровне воды в водохранилище городского водораздельного бьефа на отметке 156 м (уровне воды для санитарной промывки из р. Тверцы) в результате просадки грунта на гребне плотины возникает начальный проран глубиной 0,2 м и шириной 1 м. Дальнейшее формирование прорана определяется гидродинамическим воздействием протекающей жидкости на грунт, из которого возведена плотина [6].

Начальный уровень воды в Старотверецком канале и р. Тверце был получен при пропуске расхода 5 м<sup>3</sup>/с, соответствующего среднемуголетнему расходу в летне-осеннюю межень.

Результаты моделирования представляются за весь расчетный интервал времени в программном комплексе MIKE View. В период прохождения весеннего половодья по р. Тверце произошло разрушение откоса и гребня земляной части плотины, в результате образовался проран, его дальнейшее размывание происходит за счет больших

скоростей водного потока. На рисунке 3 представлено прохождение волны прорыва при разрушении левобережной дамбы Старотверецкой плотины.



**Рисунок 3 – Продольный профиль волны прорыва левобережной дамбы Старотверецкой плотины в период половодья в MIKE View**

На основе полученных в MIKE View максимальных уровней воды с помощью геоинформационной системы были сформированы карты с зонами затопления для сценария возможного разрушения фронта плотины, представленные на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Зоны затопления при прохождении волны прорыва по пойме р. Тверцы и Цны**

Наиболее вероятный и наиболее тяжелый сценарий определен в зависимости от времени суток наступления аварии (день, ночь) при расчетах ущерба.

При расчете размера вреда от возможных гидродинамических аварий на ГТС

были использованы: «Методика определения размера вреда...», утвержденная Приказом МЧС России и Минтранса России от 02.10.2007 № 528 [7]; «Порядок определения размера вреда...», утвержденный совместным Приказом МЧС России, Минэнерго России, МПР России, Минтранса России, Госгортехнадзора России от 18.05.02 № 243 [8]. Расчет вреда проводился с учетом Федерального закона от 27.07.2010 № 225-ФЗ, который увязывает страховые суммы и предельные размеры страховой выплаты потерпевшему [9].

Оценка величины вероятного вреда от аварии судоходных ГТС (СГТС) состоит из следующих расчетов [7]: ущербы основным и оборотным фондам, ущербы готовой продукции предприятий, ущербы элементам транспорта и связи, ущербы жилому фонду и имуществу граждан, определение числа погибших и пострадавших при возникновении аварии, расходы на ликвидацию последствий аварии, ущерб сельскому, лесному и рыбному хозяйствам, экологический ущерб, ущербы по верхнему бьефу, прочие виды реального ущерба, социальный ущерб (следует определять в натуральном выражении – в виде возможного числа погибших и пострадавших при аварии СГТС).

Расчет ущерба в целом проводился по методике укрупненных оценок в связи с отсутствием обоснованных и достоверных данных о балансовой стоимости конкретных объектов промышленности, степени амортизации и т. п., стоимости жилья, инфраструктуры и т. п., которые могут подвергнуться разрушению при аварии на ГТС. На основе параметров прорывной волны (уровня, скорости, продолжительности затопления), среднестатистических характеристик субъекта РФ (из ежегодных статистических сборников), а также картографических материалов по зонам затопления выполняется приближенная оценка величины ущерба. При подсчете количества домов, попавших в зону затопления, использовался метод наложения слоев, полученная информация подвергалась дополнительному редактированию вручную, уточнялась при помощи снимков, опубликованных в сети интернет, и по космоснимку, далее в соответствии с результатами расчетов, цифровой моделью и таблицей 3.3 «Методики определения размера вреда...» [7] определялось, в какую зону разрушений попадают жилые дома.

Назначение сценариев гидродинамической аварии выполнялось на основании рекомендаций, изложенных в «Методике определения размера вреда...» [7], и согласовывалось с заказчиком.

При рассматриваемых авариях на Верхнецнинской и Нижнецнинской плотинах территория г. Вышнего Волочка не затопляется. Поэтому ущербов при прорыве напорного фронта Верхнецнинской и Нижнецнинской плотин не возникает.

Для расчета вероятного вреда от гидродинамической аварии на Старотверецкой плотине были выбраны два сценария развития аварии. По сценарию 1 затопления жилых домов и территорий садовых участков не происходит. По сценарию 2 затопляется часть Тверецкой набережной: жилые 1-, 2-этажные дома № 52, 56, 62, 66, 70, 74, 80, 84а, 88, 90, 94, 98, 100, 102, 106, 108, далее нежилые строения; часть набережной Валентины Терешковой: жилые 1-, 2-этажные дома № 1, 1а, 1б, 1в.

Денежная оценка вероятного вреда, сгруппированная согласно показателям социально-экономических последствий аварий, сведена в таблицу 1.

**Таблица 1 – Денежная оценка вероятного вреда, сгруппированная согласно показателям социально-экономических последствий аварий на судоходных гидротехнических сооружениях**

В млн руб.

| Вид ущерба                   | Обозначение ущерба | Старотверецкая плотина |
|------------------------------|--------------------|------------------------|
|                              |                    | Сценарий 2             |
| 1                            | 2                  | 3                      |
| Основным фондам предприятий  | И <sub>1</sub>     | 0,00                   |
| Оборотным фондам предприятий | И <sub>об</sub>    | 0,00                   |

## Продолжение таблицы 1

| 1   | 2                | 3     |
|---|------------------|-------|
| Готовой продукции предприятий (на складах)      | И <sub>2</sub>   | 0,00  |
| Элементом транспорта и связи                    | И <sub>3</sub>   | 0,00  |
| Жилому фонду и личной собственности граждан     | И <sub>4</sub>   | 7,44  |
| Расходы на ликвидацию последствий аварии        | И <sub>5</sub>   | 1,49  |
| Сельскохозяйственному производству              | И <sub>6</sub>   | 0,00  |
| От потери леса как сырья промышленности         | И <sub>7с</sub>  | 0,49  |
| От затопления лесов (экологический)             | И <sub>7э</sub>  | 3,45  |
| Окружающей природной среде                      | И <sub>8</sub>   | 0,00  |
| Водоснабжению населенных пунктов                | И <sub>9</sub>   | 0,00  |
| Объектам водного транспорта                     | И <sub>10</sub>  | 0,00  |
| Рыбному хозяйству                               | И <sub>11</sub>  | 0,00  |
| Прочие виды реального ущерба                    | И <sub>12</sub>  | 0,89  |
| Общий реальный ущерб И <sub>общ</sub>           | И                | 9,82  |
| Социальный вред при аварии, днем                | И <sub>соц</sub> | 0,24  |
| Социальный вред при аварии, ночью               |                  | 0,42  |
| Общий реальный ущерб с учетом социального вреда | день             | 10,06 |
| Общий реальный ущерб с учетом социального вреда | ночь             | 10,24 |

Таким образом, при возникновении гидродинамической аварии согласно проведенным расчетам общий реальный ущерб составит 9,82 млн руб., с учетом социального вреда ночью (сценарий 2а) – 10,24 млн руб., с учетом социального вреда днем (сценарий 2б) – 10,06 млн руб.

Страховая сумма по договору обязательного страхования (Федеральный закон РФ от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ) [9] при возникновении аварии составляет 10 млн руб. (для иных опасных объектов, в отношении которых предусматривается обязательная разработка декларации промышленной безопасности или декларации безопасности гидротехнического сооружения).

#### Список использованных источников

1 Основные положения правил использования водных ресурсов Вышневолоцкой водной системы. – М.: Госводхоз РСФСР, 1963. – 12 с.

2 Декларации безопасности Верхнецнинской, Нижнецнинской и Старотверецкой плотин / ФГУП «Канал имени Москвы». – М., 2016. – 102 с.

3 Акты преддекларационного обследования гидротехнических сооружений Верхнецнинской, Нижнецнинской и Старотверецкой плотин / ФГУП «Канал имени Москвы». – М., 2016. – 45 с.

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

5 Компьютерное моделирование систем рек и каналов MIKE 11. – М.: Науч. консалтинговая фирма «Волга», 2013. – 47 с.

6 Прудовский, А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины / А. М. Прудовский // Безопасность энергетических сооружений: сб. / НИИЭС. – М.: НИИЭС, 1998. – № 2–3. – С. 67–79.

7 Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]: утв. Приказом МЧС России и Минтранса России от 2 октября 2007 г. № 528/143. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/192710>, 2018.

8 Порядок определения размера вреда, который может быть причинен жизни,

здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения [Электронный ресурс]: утв. Приказом МЧС РФ, МПР, Минтранса РФ и Госгортехнадзора РФ от 18 мая 2002 г. № 243/15/270/68/89: зарегистрирован в Минюсте РФ 3 июня 2002 г. – Регистр. № 3493. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12127012>, 2018.

9 Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12177579>, 2018.

УДК 631.674.6

**А. С. Штанько, В. Н. Шкура**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

### **КОМПОНОВОЧНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ НАПОРООБРАЗУЮЩИХ УЗЛОВ САМОНАПОРНЫХ КАПЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Цель исследования – разработка компоновочно-конструктивных схем напоробразующих узлов самонапорных систем капельного орошения. Объект исследования – конструктивные элементы напоробразующих узлов самонапорных систем капельного орошения. Предмет исследования – схемы конструктивных решений напоробразующих узлов и их основных элементов. Результат исследования – предложенные конструктивно-компоновочные решения (конструкции) напорных бассейнов (аванкамер) и напороаккумулирующих трубопроводов, составляющих напоробразующие узлы самонапорных систем капельного орошения растений.*

*Ключевые слова: самонапорная оросительная система, система капельного орошения, напоробразующий узел, напорный бассейн, напороаккумулирующий трубопровод.*

\*\*\*\*\*

**A. S. Shtanko, V. N. Shkura**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

### **CONSTRUCTIVE-LAYOUT ARRANGEMENTS OF HEAD-GENERATING UNITS IN GRAVITY DRIP IRRIGATION SYSTEMS**

*The purpose of the research is the development of constructive-layout schemes of head generating units of gravity drip irrigation systems. The object of the research is the structural elements of head-generating units of gravity drip irrigation systems. The subject of the research is the schemes of constructive decisions for head-generating units and their basic elements. The result of the research is the proposed constructive-layout arrangements (constructions) of head ponds (headbays) and pressure accumulating pipelines, which make up the head-generating units of gravity drip irrigation systems.*

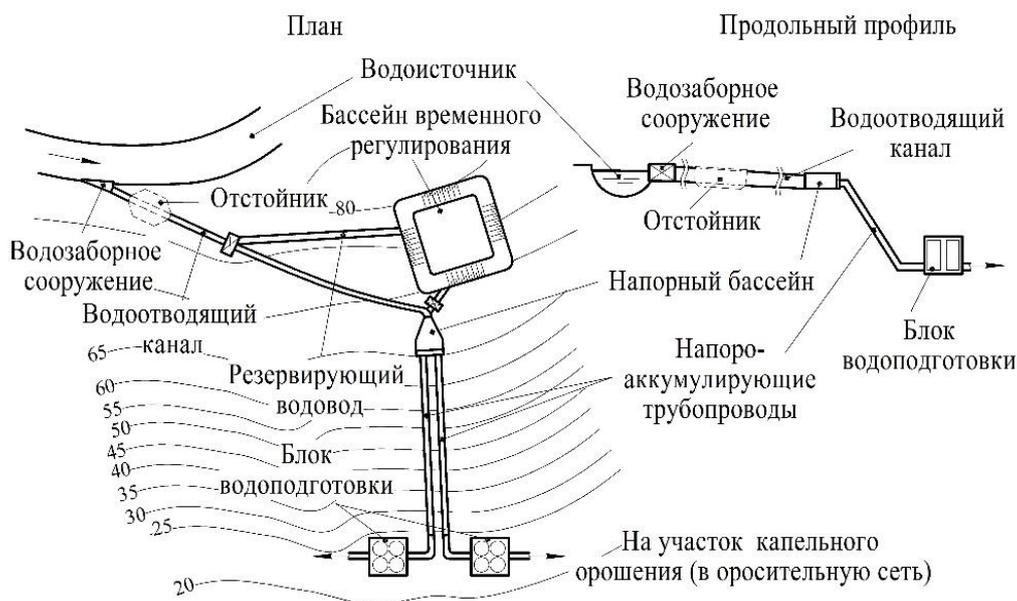
*Key words: gravity irrigation system, drip irrigation system, pressure forming unit, pressure pool, pressure accumulating pipeline.*

**Введение.** Современная оросительная система является сложным природно-техногенным комплексом, функционирование которого обеспечивается за счет потребления как внутренних, так и внешних ресурсов и значительного объема энергии. Необходимая для обеспечения функционирования технологического оборудования оросительных систем энергия в традиционно применяемых компоновочно-конструктивных решениях принудительно напорных систем капельного орошения поступает из внеш-

них источников – проводных электрических сетей или автономных электрогенераторов (электростанций). Подаваемая извне электрическая энергия обеспечивает функционирование входящего в состав техногенной компоненты оросительных систем насосно-силового оборудования, в которых она преобразуется в необходимую для работы капельных систем орошения механическую энергию протекающего по трубопроводной сети системы водного потока. В результате энергопреобразования в системе водоводов и технологическом оборудовании (блоке водоподготовки, агрохимическом узле и оросительной сети), составляющем капельные системы орошения, образуется необходимый(ое) для его функционирования напор (внутритрубопроводное давление) воды. В отличие от принудительно напорных (включающих насосно-силовое оборудование) систем орошения в самонапорных капельных системах исключается, а в частично самонапорных системах существенно уменьшается потребление энергии, поставляемой из внешних источников. Необходимый напор в полносамонапорной капельной системе орошения образуется за счет гидроэнергетических ресурсов территории ее расположения (наличия и использования положительного перепада высотных (геодезических) отметок между уровнем воды в вышерасположенном источнике орошения и высотным положением поверхности земли на орошаемом участке).

В состав самонапорной системы капельного орошения растений в качестве ее энергетического источника входит напорообразующий узел, состоящий из напорного бассейна и напороаккумулирующего трубопровода, разработка компоновочно-конструктивных решений которых определена целью настоящего исследования.

Компоновочное решение самонапорной капельной системы орошения, включающей напорообразующий узел, проиллюстрировано рисунком 1.



**Рисунок 1 – Схема самонапорной системы капельного орошения**

**Материалы и методы.** В качестве аналогов и исходного материала для разработки компоновочно-конструктивных решений напорообразующих узлов самонапорных систем капельного орошения приняты конструкции напорных бассейнов и водоводов, используемых в деривационных гидроэлектростанциях [1]. Адаптация известных инженерных решений к новым условиям использования и их совершенствование проведено методами поискового конструирования гидротехнических сооружений.

**Результаты и обсуждение.** Компоновочно-конструктивные решения напорообразующих узлов самонапорных систем капельного орошения должны учитывать природно-климатические, инженерно-геологические, морфометрические (пространствен-

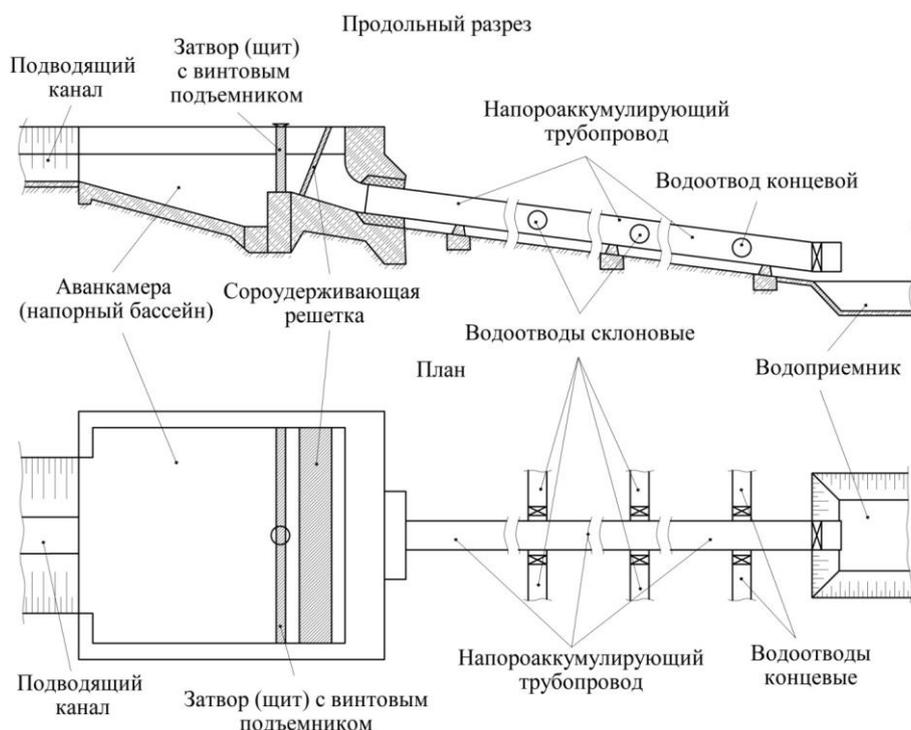
но-рельфные) и хозяйственно-экономические условия, природоохранные (экологические) требования и ограничения по их созданию и использованию.

Определяющим условием устройства полносамонапорной капельной системы орошения является наличие крутосклонных участков местности между вышерасположенным водоисточником (рекой, каналом, озером, прудом и др.) и орошаемым участком с необходимым для функционирования технологического оборудования положительным перепадом отметок между уровнем воды в водном объекте и поверхностью земли на поливаемом угодье.

Напорообразующий узел включает в себя напорный бассейн (аванкамеру), из которого оросительная вода подается в напороаккумулирующий трубопровод. Последний трансформирует положительный перепад местности в энергию воды (напор). Напороаккумулирующий трубопровод может быть устроен в подземном, наземном, надземном и комбинированном исполнении. Как правило, напороаккумулирующий трубопровод трасируется по наибольшему уклону склона  $i_m$  в диапазоне  $0,2-0,3 > i_m > 0,002-0,003$ . В концевой части напороаккумулирующего трубопровода предусматривается устройство водосброса (водоспуска), обеспечивающее регламентное или аварийное опорожнение трубопровода, и водоотводящего сооружения, обеспечивающего отвод воды в водоприемник. При необходимости (по прочностным или технологическим ограничениям) на сетевых водоотодах из напороаккумулирующего трубопровода предусматривается устройство ограничителей напора.

Указанные обстоятельства учитываются при выборе расположения и конструировании напорообразующего узла самонапорных капельных систем орошения растений.

Основными конструктивными элементами напорообразующего узла являются напорный бассейн (аванкамера) и напороаккумулирующий трубопровод. Принципиальная конструктивная схема напорообразующего узла приведена на рисунке 2

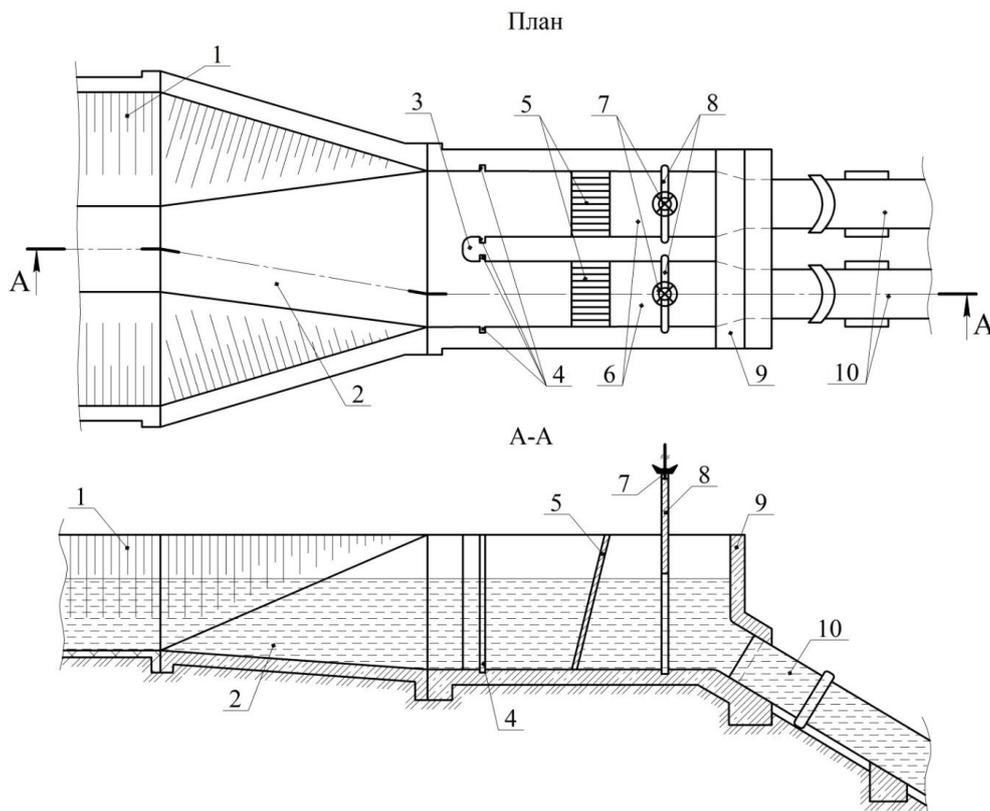


**Рисунок 2 – Схема напорообразующего узла самонапорной системы капельного орошения**

Напорный бассейн (аванкамера) устраивается в верхней части напорообразующего узла и предназначен для регулируемой подачи воды в напороаккумулирующий трубопровод, предупреждения попадания в водовод плавника и наносов, исключения

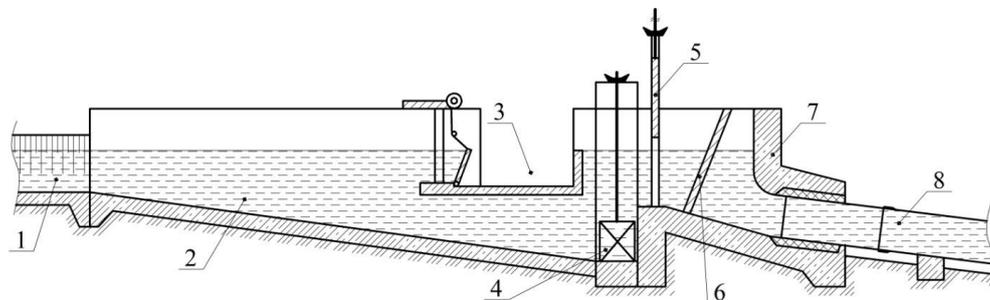
засасывания в трубопровод воздуха и предотвращения возникновения в нем гидравлического удара или поглощения воздействия гидроударной волны.

В зависимости от условий устройства и функционирования напорных бассейнов (аванкамер напороаккумулирующих трубопроводов) они могут устраиваться одно- и двухкамерными заглубленными и одноуровненными. В их состав могут включаться мусоро- и наносоаккумулирующие и отводящие устройства. Конструктивно отличаются условия сопряжения напорных бассейнов и камер с входным оголовком напороаккумулирующих водоводов. Примеры конструктивных решений напорных бассейнов и оголовков напороаккумулирующих трубопроводов приведены на рисунках 3–6.



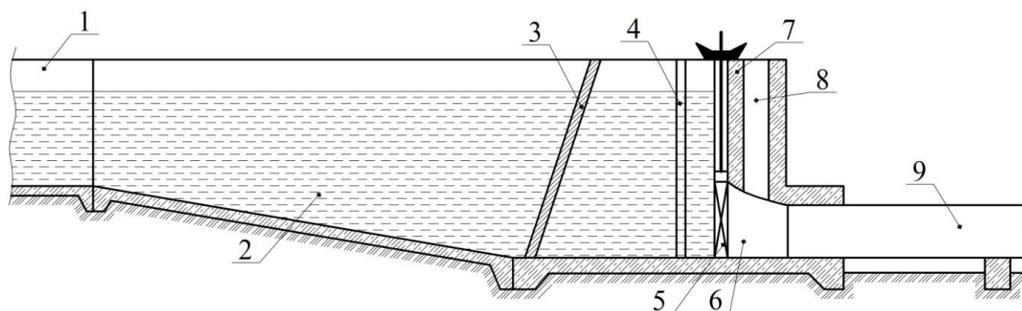
1 – подводящий канал; 2 – аванкамера; 3 – разделительный бык; 4 – пазы ремонтных шандоров; 5 – сороудерживающая решетка; 6 – водоприемные камеры; 7 – винтовой подъемник; 8 – щит; 9 – напорная стенка; 10 – напороаккумулирующий трубопровод

**Рисунок 3 – Конструктивное решение двухпролетного напорного бассейна и оголовка напороаккумулирующего трубопровода**



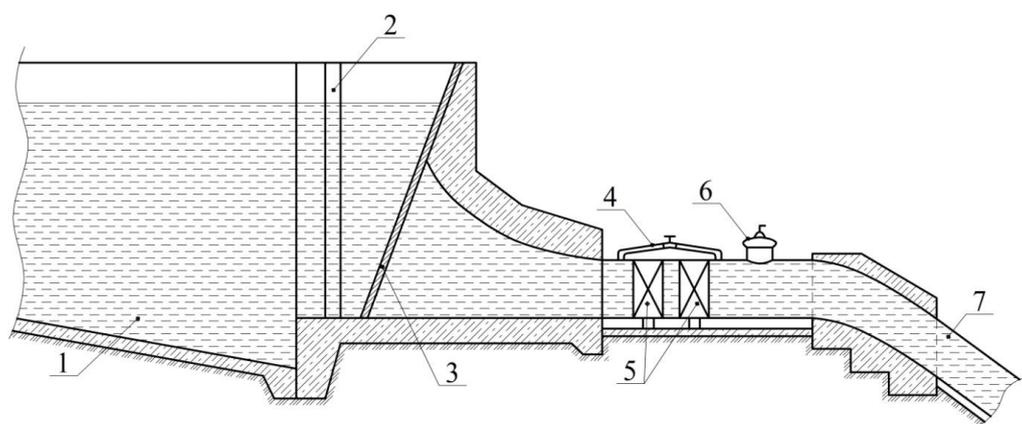
1 – подводящий канал; 2 – аванкамера; 3 – водосброс; 4 – донный промывной щит; 5 – щит с винтовым подъемником; 6 – сороудерживающая решетка; 7 – напорная стенка; 8 – напорный трубопровод

**Рисунок 4 – Продольный разрез напорного бассейна с переменной глубиной и устройствами для отвода мусора и наносов**



1 – подводящий канал; 2 – аванкамера; 3 – решетка; 4 – пазы ремонтных шандоров;  
5 – щит с винтовым подъемником; 6 – входной оголовок; 7 – напорная стенка;  
8 – воздухоподводящая труба; 9 – напороаккумулирующий трубопровод

**Рисунок 5 – Напорный бассейн со щитом, непосредственно перекрывающим вход в напороаккумулирующий трубопровод**



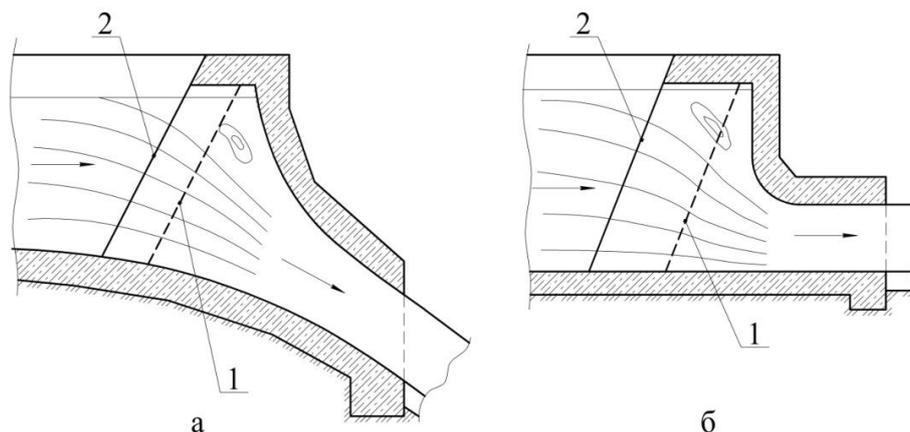
1 – аванкамера; 2 – пазы ремонтных шандоров; 3 – решетка; 4 – обводной затвор;  
5 – затворы; 6 – воздушный клапан; 7 – напороаккумулирующий трубопровод

**Рисунок 6 – Схема напорного бассейна с затворами на трубопроводе**

Выбор конструкции напорного бассейна и головной части напороаккумулирующего трубопровода определяется условиями устройства и функционирования напорообразующего узла и системы в целом.

Напороаккумулирующий трубопровод предназначен для транспортирования воды по склоновому участку местности и обеспечивает аккумуляцию (увеличение) напора в нем по мере протекания потока во внутритрубном пространстве от входного до выходного оголовка. При конструировании напороаккумулирующего трубопровода рассматриваются варианты устройства одной или двух ниток. Напороаккумулирующие трубопроводы устраивают из стеклопластиковых, полиэтиленовых или металлических (с антикоррозийным покрытием) труб различного диаметра. Параметры трубопровода определяются гидравлическим расчетом, а конструктивные решения его отдельных элементов принимаются на основе прочностных расчетов. Конструктивное решение входного оголовка принимается в соответствии со схемами, приведенными на рисунках 4–6. Выбор конструкции входного оголовка осуществляется с учетом создания регламентных условий гидравлического сопряжения втекающего в трубопровод из напорного бассейна водного потока. Примеры вариантов сопряжения течений в бассейне и на входе в водовод проиллюстрированы рисунком 7.

Проектирование конструктивных элементов напорообразующих узлов ведется в соответствии с имеющимися нормативными и методическими документами [2–6].



*a* – при крутом спуске трубопровода; *б* – при горизонтальном выводе трубопровода  
 1 – решетка, расположенная непосредственно у входа в воронку;  
 2 – решетка, расположенная на расстоянии от воронки

### Рисунок 7 – Характер течений во входных оголовках напорноаккумулирующих трубопроводов

#### Выводы

1 Напорообразующий узел, устраиваемый в составе самонапорных систем капельного орошения, обеспечивает функционирование технологического оборудования и оросительной сети за счет механической энергии (напора) водного потока, создаваемой(го) благодаря положительному перепаду отметок между уровнем воды в водисточнике и поверхностью земли на орошаемом участке.

2 Предложенные конструктивно-компоновочные решения напорных бассейнов и напорноаккумулирующих трубопроводов рекомендуются к использованию при проектировании напорообразующих узлов самонапорных систем капельного орошения.

#### Список использованных источников

1 Гидроэлектрические станции: учеб. для вузов / Н. Н. Аршеневский [и др.]; под ред. Ф. Ф. Губина, Г. И. Кривченко. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1980. – 368 с.

2 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 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

3 ГОСТ 18599-01. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. – Введ. 2003-01-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

4 ГОСТ 539-80. Трубы и муфты асбестоцементные напорные. Технические условия. – Введ. 1982-01-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

5 ГОСТ Р 51613-2000. Трубы напорные из непластифицированного поливинилхлорида. Технические условия. – Введ. 2001-07-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

6 Мелиорация и водное хозяйство. Сооружения. Строительство: справочник / под ред. А. В. Колганова, П. А. Полад-заде. – М.: Ассоциация ЭкоСт, 2002. – 601 с.

УДК 626.88

**А. Ю. Гарбуз**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

### **НАТУРНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАНАЛОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ**

*Целью натурных обследований являлась оценка технического состояния Азовского магистрального и Багаевского распределительного каналов (Бг-Р-7). Объект исследования – русло и откосы каналов. Предмет исследования – противофильтрационные облицовки из бетонных и бетонопленочных покрытий. По результатам проведенных исследований были выявлены значительные повреждения противофильтрационных облицовок: сползание защитного бетонного покрытия, повреждения противофильтрационного элемента, разрушение, коррозия бетона и арматуры, расхождение деформационных швов.*

*Ключевые слова: канал, фильтрация, облицовка, противофильтрационный экран, бетон, бетонопленочное покрытие, земляное русло, техническое состояние.*

\*\*\*\*\*

**A. Ju. Garbuz**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

### **FIELD SURVEYS AND TECHNICAL STATE ANALYSIS OF HYDROTECHNICAL SYSTEMS CANALS**

*The purpose of field surveys was to assess the technical state of the Azov main canal and the Bagaevskiy distribution channel (Bg-R-7). The object of the research is the canals' bed and slopes. The subject of the research is concrete and anti-filtration linings from concrete and concrete film coatings. Based on the results of the research conducted, the significant damage to anti-filtration linings, namely, protective concrete coating sliding, anti-filtration element damage, destruction, concrete and reinforcement corrosion, driven joints divergence were found out.*

*Key words: canal, filtration, lining, anti-filtration screen, concrete, concrete film coating, earthen bed, technical state.*

**Введение.** В Российской Федерации функционирует водохозяйственный комплекс, являющийся одним из крупнейших в мире и включающий более 30 тыс. водохранилищ и прудов различного назначения с общим объемом свыше 800 км<sup>3</sup> и полезным объемом 342 км<sup>3</sup> [1]. Сеть каналов межбассейнового и внутрибассейнового перераспределения стока, водохозяйственных систем водотранспортного назначения общей протяженностью более 3 тыс. км позволяет осуществлять переброску стока в объеме до 17 км<sup>3</sup>/год [2].

Для защиты поселений, объектов экономики и сельскохозяйственных угодий от негативного воздействия вод возведено свыше 10 тыс. км дамб и других объектов инженерной защиты, и многие из них оборудованы противофильтрационными и берегоукрепительными сооружениями. При этом общий объем потерь воды на фильтрацию только из каналов гидромелиоративных систем приближается к 5,0 км<sup>3</sup>/год [1].

Сокращение потерь воды в каналах и водоемах требует реконструкции и модернизации систем водоподачи, восстановления и устройства облицовок, реконструкции оросительных сетей с применением современных материалов и технологий [3].

Согласно ФЦП «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначе-

ния России на 2014–2020 годы» [4] планируется осуществить строительство и реконструкцию мелиоративных систем и гидротехнических сооружений на инновационной технологической основе.

В рамках данного проекта [4] планируется проведение реконструкции порядка 350 объектов гидромелиоративных систем, в т. ч. около 100 каналов различного назначения, находящихся в государственной собственности.

В настоящее время в России действует 34 крупных системы межбассейнового и 11 систем внутрибассейнового перераспределения стока. Они включают такие крупные каналы, как Большой Ставропольский, Донской магистральный, Невинномысский, Терско-Кумский, им. Москвы, Волго-Донской и многие другие [2]. Большинство таких каналов используются комплексно для целей водоснабжения, орошения, судоходства, деривации, обводнения маловодных водотоков гидрографической сети и других целей.

Только в Ростовской области насчитывается более семи крупных оросительных каналов (Донской магистральный, Азовский, Верхне-Сальский, Багаевский и др.) с общей протяженностью межхозяйственной сети более 7990 км, и только около 5 % от общей протяженности имеют противодиффузионные покрытия. Расходы магистральных каналов составляют 20–54 м<sup>3</sup>/с, а расход Донского магистрального канала – 80 м<sup>3</sup>/с.

В связи с длительным сроком эксплуатации оросительных систем, составляющим от 40 до 60 лет и более, около 45,0 % каналов гидромелиоративных систем находятся в неудовлетворительном техническом состоянии и нуждаются в проведении реконструкции, в то время как в хорошем техническом состоянии только 5,8 % каналов [5].

Характерным показателем технического состояния каналов гидромелиоративных систем является коэффициент полезного действия (КПД). Значительное количество магистральных и крупных распределительных каналов (около 88 %) имеет КПД от 0,60 до 0,90 [2, 6]. Однако, как уже было сказано ранее и согласно СП 81.13330.2012 [7], нормативное значение КПД магистральных и распределительных каналов должно составлять не менее 0,90–0,93. Оросительных каналов с таким КПД на юге России только 12 % (рисунок 1). Это позволяет сделать вывод о низком техническом уровне магистральных и распределительных каналов вследствие значительного удельного веса каналов в земляном русле (около 70 %) и недостаточной эффективности существующих традиционных противодиффузионных покрытий (грунтовых, бетонных и бетонопленочных) [5].

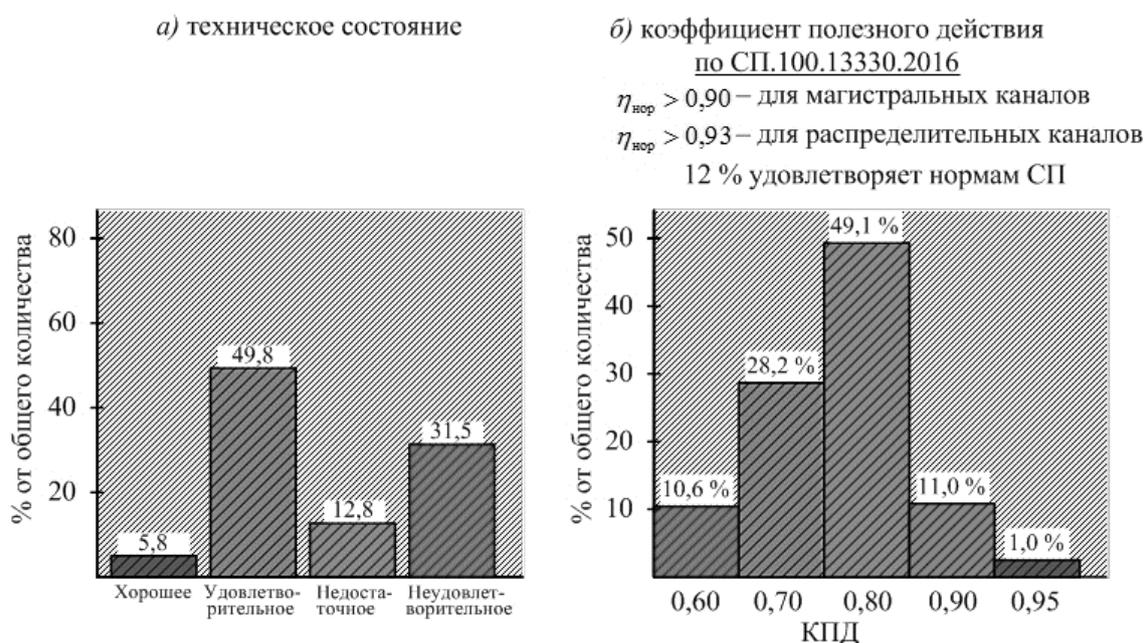


Рисунок 1 – Техническое состояние и значения КПД каналов гидромелиоративных систем юга России

Ниже приведен перечень только некоторых каналов, расположенных в Южном федеральном округе и подлежащих согласно ФЦП [4] реконструкции (таблица 1), что позволит предотвратить выход из строя около 200170 га сельскохозяйственных угодий [4].

**Таблица 1 – Перечень каналов гидромелиоративных систем ЮФО, подлежащих реконструкции**

| Наименование объекта   | Мощность | Срок      | Ожидаемый результат  |
|--|----------|-----------|--|
| 1 Донской магистральный канал (I очередь реконструкции), Ростовская область  | 60,0 км  | 2016–2020 | Предотвращение выбытия из оборота 82500 га сельскохозяйственных угодий |
| 2 Нижне-Донской магистральный канал Нижне-Донской оросительной системы, Ростовская область   | 73,9 км  | 2017–2020 | Предотвращение выбытия из оборота 36570 га сельскохозяйственных угодий |
| 3 Пролетарская ветвь Донского магистрального канала Пролетарской оросительной системы, Ростовская область                                      | 83,4 км  | 2014–2020 | Предотвращение выбытия из оборота 24800 га сельскохозяйственных угодий |
| 4 Азовский магистральный канал Азовской оросительной системы, Ростовская область   | 92,3 км  | 2017–2020 | Предотвращение выбытия из оборота 30000 га сельскохозяйственных угодий |
| 5 Магистральный канал Варнавинской оросительной системы, Крымский район, Краснодарский край  | 8700 га  | 2017–2018 | Предотвращение выбытия из оборота 8700 га сельскохозяйственных угодий  |
| 6 Распределительный канал Р-17 Федоровской оросительной системы  | 2300 га  | 2017–2019 | Предотвращение выбытия из оборота 2300 га сельскохозяйственных угодий  |
| 7 Канал Р-1 с ПК 0 по ПК 603 и Р-3 с ПК 0 по ПК 257 Райгородской оросительно-обводнительной системы, Светлоярский район, Волгоградская область | 13000 га | 2017–2019 | Предотвращение выбытия из оборота 13000 га сельскохозяйственных угодий |
| 8 Черноземельский магистральный канал Черноземельской обводнительно-оросительной системы, Яшкульский район, Республика Калмыкия                | 70,0 км  | 2017–2020 | Предотвращение выбытия из оборота 9700 га сельскохозяйственных угодий  |
| 9 Приозерный канал Черноземельской обводнительно-оросительной системы, Республика Калмыкия   | 10,4 км  | 2014–2018 | Предотвращение выбытия из оборота 6200 га сельскохозяйственных угодий  |
| 10 Канал Р-1 Сарпинской обводнительно-оросительной системы, Малодербетовский район, Республика Калмыкия  | 65,8 км  | 2016–2017 | Предотвращение выбытия из оборота 6400 га сельскохозяйственных угодий  |

Примечание – В таблице представлены обобщенные данные некоторых планируемых мероприятий по реконструкции каналов в ЮФО согласно приложению № 4 ФЦП [4].

**Материалы и методы.** При выполнении натурных обследований участков Азовского магистрального и Багаевского распределительного каналов использовались следующие материалы: мерная лента, щелемер (для измерения величины развития трещин на бетонной облицовке), молоток Кашкарова, нивелир и мерная рейка.

**Результаты и обсуждение.** Проведенные в 2017 г. обследования земляного русла участков Азовского магистрального канала (рисунок 2) и Багаевского распределителя (Бг-Р-7) (рисунок 3), частично выполненного с бетонопленочным покрытием, подтверждают приведенные сведения о неудовлетворительном техническом состоянии значительной части каналов.



**Рисунок 2 – Участок Азовского магистрального канала за перегораживающим сооружением (автор фото О. А. Баев)**



**Рисунок 3 – Общий вид участка канала Бг-Р-7 (автор фото О. А. Баев)**

По результатам выполненных обследований участка Азовского магистрального канала было выявлено, что практически все русло не имеет противофильтрационных и берегоукрепительных покрытий, а бетонная часть и гидротехническая арматура многих перегораживающих и запорно-регулирующих сооружений частично разрушены, наблюдается оползание плит, коррозия бетона и арматуры. При этом земляное русло имеет различного рода деформации грунта, размывы ложа и откосов (многие из которых обрушены и заросли кустарником и деревьями) и нуждается в проведении ремонта (реконструкции).

Вода в Багаевско-Садковскую оросительно-обводнительную систему забирается из Донского магистрального канала и подается по Багаевскому каналу с расходом

до  $Q = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ . Средняя глубина в канале Бг-Р-7 колеблется от 1,3 до 1,5 м, данный участок канала выполнен с противofильтрационным бетонопленочным покрытием (противofильтрационный элемент представляет собой полиэтиленовую пленку, поверх которой уложено защитное покрытие из железобетонных плит НПК).

При проведении натурных обследований участка канала Бг-Р-7 обнаружены значительные повреждения бетонной облицовки, а именно: оползания, сдвиг и выпор бетонных плит, различного рода дефекты в бетоне в виде трещин, сколов, отшелушивания бетона и оголения арматуры и т. д. (рисунок 4). На некоторых участках наблюдается сползание плит с образованием значительных промоин в грунтовых откосах канала, повреждение плитами противofильтрационного элемента из полиэтиленовой пленки.



**Рисунок 4 – Повреждения защитного покрытия из бетонных плит на участке канала Бг-Р-7 (автор фото О. А. Баев)**

В ходе проведения натурных обследований также выявлено заилиение дна канала с толщиной слоя наносов от 0,15 до 0,35 м, что свидетельствует о малых скоростях течения и, как следствие, низкой пропускной способности участков каналов.

#### **Выводы**

1 Анализ проведенных исследований и статистика облицованности каналов показывают, что в связи с длительным сроком эксплуатации около 45 % каналов находятся в неудовлетворительном техническом состоянии и нуждаются в проведении реконструкции, при этом коэффициент полезного действия большинства каналов составляет 0,70–0,75, а потери воды на фильтрацию – до 30 % от всего транспортируемого объема.

2 Для дальнейшего предотвращения потерь воды при ее транспортировке и, как следствие, снижения вероятности образования аварийных ситуаций, подтопления, вторичного засоления и заболачивания приканальных территорий необходимо проведение реконструкции каналов с созданием надежных и долговечных противofильтрационных облицовок. В настоящее время достичь этого можно только при использовании современных инновационных строительных материалов – геосинтетических и геокомпозитных. Ремонт мелких повреждений на бетонном защитном покрытии рекомендуется выполнять жидкими полимерами путем их распыления на очищенную и подготовленную поверхность.

#### **Список использованных источников**

1 Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. – М.: НИИ-Природа, 2009. – 40 с.

2 Косиченко, Ю. М. Исследования фильтрационных потерь из каналов оросительных систем / Ю. М. Косиченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 24–25.

3 Высоконадежные конструкции противofильтрационных облицовок каналов и водоемов с применением инновационных материалов / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Ищенко, О. А. Баев; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2013. – 24 с. – Деп. в ВИНТИ 13.01.14, № 7-В 2014.

4 О федеральной целевой программе «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы»: Постановление Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 922 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70478356/>, 2018.

5 Ищенко, А. В. Оценка эффективности противofильтрационного экрана на Донском магистральном канале / А. В. Ищенко, О. А. Баев // Градостроительство и архитектура. – 2017. – Т. 7, № 4. – С. 51–56.

6 Косиченко, Ю. М. Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, А. В. Ищенко // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2014. – № 3. – 12 с. – Режим доступа: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_91\\_-kosichenko.pdf\\_55f9154bc5.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_91_-kosichenko.pdf_55f9154bc5.pdf).

7 Мелиоративные системы и сооружения: СП 81.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.07.03-85. – Введ. 1986-07-01. – М., 1986. – 23 с.

УДК 631.671

**Е. В. Федотова**

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

### **ОПЕРАТИВНЫЙ РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ ДЛЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ**

*В статье приводится оценка потенциала природных ресурсов тепла и влаги, расчет параметров режима орошения для овощных культур по среднемноголетним метеоданным (36 лет), также проведена оперативная корректировка поливов по фактическим метеоданным 2016 г. для территории Забайкальского края. Определена фактическая оросительная норма по метеоданным за 2016 г.: 230 мм (2300 м<sup>3</sup>/га) для моркови и 208 мм (2080 м<sup>3</sup>/га) для капусты поздней, по среднемноголетним метеоданным: 261 мм (2610 м<sup>3</sup>/га) для моркови и 269 мм (2690 м<sup>3</sup>/га) для капусты поздней.*

*Ключевые слова: коэффициент увлажнения, режим орошения, суммарное водопотребление, оросительная норма, поливная норма, оперативная корректировка режима орошения.*

\*\*\*\*\*

**E. V. Fedotova**

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russian Federation

### **OPERATIONAL COMPUTATION OF THE OPTIMAL IRRIGATION SCHEDULING FOR IRRIGATION SYSTEMS OF THE TRANSBAIKAL TERRITORY**

*The potential assessment of heat and moisture environmental resources and the computation of the irrigation scheduling parameters for vegetable crops according to the average annual meteorological data (36 years) are given in the article; the operative adjustment of irrigation according to the actual meteorological data of 2016 for the territory of the Transbaikal Territory was carried out. The actual irrigation water requirement for meteorological data of 2016 was determined: 230 mm (2300 m<sup>3</sup> per ha) for carrots and 208 mm (2080 m<sup>3</sup> per ha) for late cabbage, according to the average annual meteorological data: 261 mm (2610 m<sup>3</sup> per ha) for carrots and 269 mm (2690 m<sup>3</sup> per ha) for late cabbage.*

*Key words: moistening coefficient, irrigation water requirement, total water consumption, irrigation norm, water application rate, operational adjustment of irrigation scheduling.*

Экологические проблемы во многом связаны с недостаточной изученностью процессов, протекающих в агроландшафтах, низким качеством управления агротехнологиями и переувлажнением почвы во время мелиорации. Аграрный ландшафт может выполнять функцию воспроизводства, сбалансированного экологического и экономического развития только в том случае, если техногенное воздействие не превысило экологически допустимых норм. Это может выполняться только в том случае, если в агроландшафте поддерживается водный, тепловой, пищевой режимы почвы, учитывающие природные особенности территории.

Оценка сложившейся ситуации в орошаемом земледелии и возможностей природных ресурсов территории Забайкальского края показывает, что для обеспечения устойчивого и высокопродуктивного сельскохозяйственного производства требуется дифференцированный подход к применению мелиорации, в т. ч. орошения. Для этого необходим обязательный учет реального потенциала природных ресурсов, их изменчивости, сохранности и восстановления.

Большое влияние на режим орошения имеют природные условия орошаемой территории. Для оценки этих условий в методиках ФГНУ ВНИИ «Радуга» введен интегральный показатель – коэффициент увлажнения, характеризующий тепло- и влагообеспеченность периодов в различные по обеспеченности годы [1].

Расчетами, произведенными при помощи компьютерной программы ROCK.xls, были установлены количественные значения потенциала тепла и влаги (испаряемости, атмосферных осадков и коэффициента увлажнения) для лет различной обеспеченности за теплый период года с температурой воздуха выше 5 °С (таблица 1), а также параметры режима орошения.

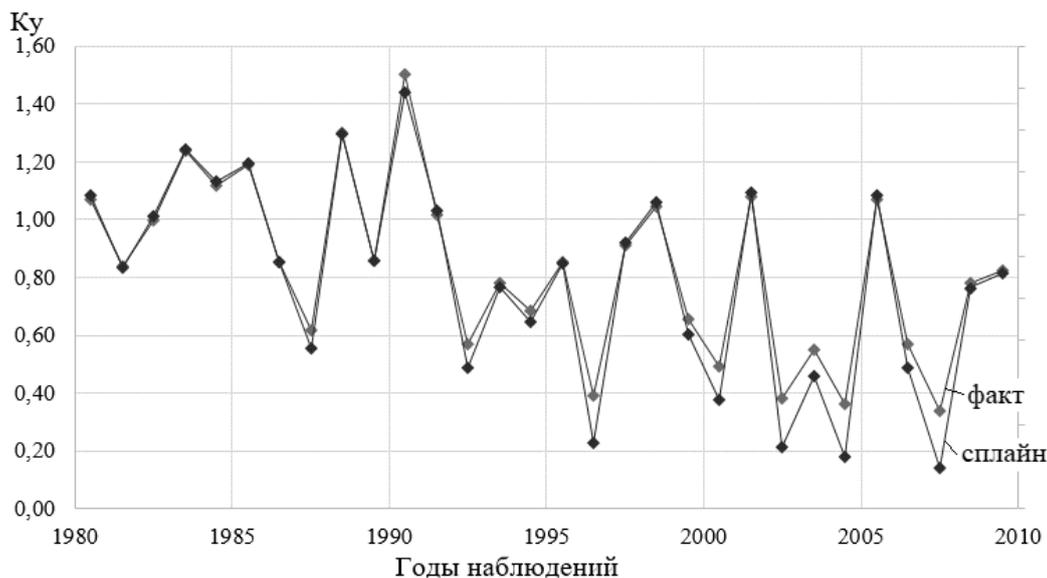
**Таблица 1 – Атмосферные осадки, испаряемость и коэффициент увлажнения по метеостанциям Забайкальского края за период с температурой воздуха выше 5 °С в разные по увлажненности (обеспеченности) годы**

| Метеостанция                 | Обеспеченность за теплый период года с температурой воздуха выше 5 °С |      |      |      |      |      |
|------------------------------|---|------|------|------|------|------|
|                              | 5 %   | 25 % | 50 % | 75 % | 85 % | 95 % |
| Атмосферные осадки $P$ , мм  |   |      |      |      |      |      |
| Чита                         | 321   | 296  | 272  | 233  | 207  | 186  |
| Александровский завод        | 318   | 301  | 214  | 200  | 172  | 140  |
| Шилка                        | 294   | 220  | 203  | 143  | 131  | 91   |
| Испаряемость $E$ , мм        |   |      |      |      |      |      |
| Чита                         | 135   | 230  | 376  | 467  | 562  | 669  |
| Александровский завод        | 195   | 255  | 387  | 477  | 653  | 674  |
| Шилка                        | 113   | 205  | 323  | 487  | 503  | 614  |
| Коэффициент увлажнения $K_y$ |   |      |      |      |      |      |
| Чита                         | 0,88  | 0,74 | 0,69 | 0,51 | 0,44 | 0,41 |
| Александровский завод        | 0,79  | 0,73 | 0,68 | 0,50 | 0,43 | 0,40 |
| Шилка                        | 0,75  | 0,71 | 0,60 | 0,49 | 0,41 | 0,40 |

По значениям коэффициента увлажнения 95 % обеспеченности за теплый период года с температурой воздуха выше 5 °С из таблицы 1 видно, что территория Забайкальского края относится к умеренно сухой степной природной зоне.

Продолжительность солнечного сияния на территории Забайкальского края велика, она достигает 2400–2600 ч/год, из них 60–65 % приходится на вегетационный период. Количество суммарной солнечной радиации составляет 110–115 ккал/(см<sup>2</sup>·год).

Определив цикличность изменения коэффициента увлажнения за многолетний период (рисунок 1), можно увидеть, что на территории Забайкальского края наблюдается неравномерное распределение количества атмосферных осадков по годам и недостаток увлажненности.



**Рисунок 1 – Динамика величины коэффициента природного увлажнения на примере метеостанции Чита**

Поэтому реальные погодные условия Забайкальского края неблагоприятны, так как в них наблюдается неравномерное распределение сравнительно малого количества атмосферных осадков, высокие температуры, значительная продолжительность солнечного сияния, и осуществление поливов по проектным режимам орошения без учета погодных условий может привести к подаче на орошаемые поля недостаточного или избыточного количества воды.

Для установления параметров орошения и поливных режимов овощных культур, т. е. суммарного водопотребления, дефицитов водопотребления (оросительных норм), были проведены расчеты по компьютерной программе ROCK.xls [2].

Расчитанные значения суммарного водопотребления и дефицитов водопотребления для моркови и капусты поздней приведены в таблицах 2 и 3.

**Таблица 2 – Суммарное водопотребление  $E_v$  моркови и капусты поздней по метеостанциям Забайкальского края за периоды с температурами выше 5 °С в разные по увлажненности (обеспеченности) годы**

В мм

| Метеостанция           | Вероятностное (обеспеченное) значение суммарного водопотребления $E_v$ |      |      |      |      |      |
|------------------------|--|------|------|------|------|------|
|                        | 5 %  | 25 % | 50 % | 75 % | 85 % | 95 % |
| <b>Морковь</b>         |  |      |      |      |      |      |
| Чита                   | 284  | 297  | 341  | 366  | 387  | 406  |
| Александровский завод  | 269  | 281  | 318  | 355  | 366  | 436  |
| Шилка                  | 301  | 316  | 363  | 391  | 412  | 431  |
| <b>Капуста поздняя</b> |  |      |      |      |      |      |
| Чита                   | 273  | 338  | 387  | 438  | 475  | 521  |
| Александровский завод  | 258  | 304  | 329  | 343  | 389  | 541  |
| Шилка                  | 290  | 339  | 374  | 379  | 435  | 561  |

**Таблица 3 – Оросительная норма (дефицит водопотребления)  $\Delta E_v$  для моркови и капусты поздней по метеостанциям Забайкальского края за периоды с температурами выше 5 °С в разные по увлажненности (обеспеченности) годы**

В мм

| Метеостанция           | Вероятностное (обеспеченное) значение оросительной нормы $\Delta E_v$ |      |      |      |      |      |
|------------------------|---|------|------|------|------|------|
|                        | 5 %   | 25 % | 50 % | 75 % | 85 % | 95 % |
| <b>Морковь</b>         |   |      |      |      |      |      |
| Чита                   | 48  | 78   | 136  | 179  | 202  | 261  |
| Александровский завод  | 30  | 52   | 79   | 131  | 168  | 201  |
| Шилка                  | 51  | 90   | 119  | 204  | 245  | 324  |
| <b>Капуста поздняя</b> |   |      |      |      |      |      |
| Чита                   | 39  | 66   | 106  | 197  | 188  | 269  |
| Александровский завод  | 21  | 40   | 66   | 113  | 154  | 209  |
| Шилка                  | 42  | 85   | 149  | 220  | 230  | 332  |

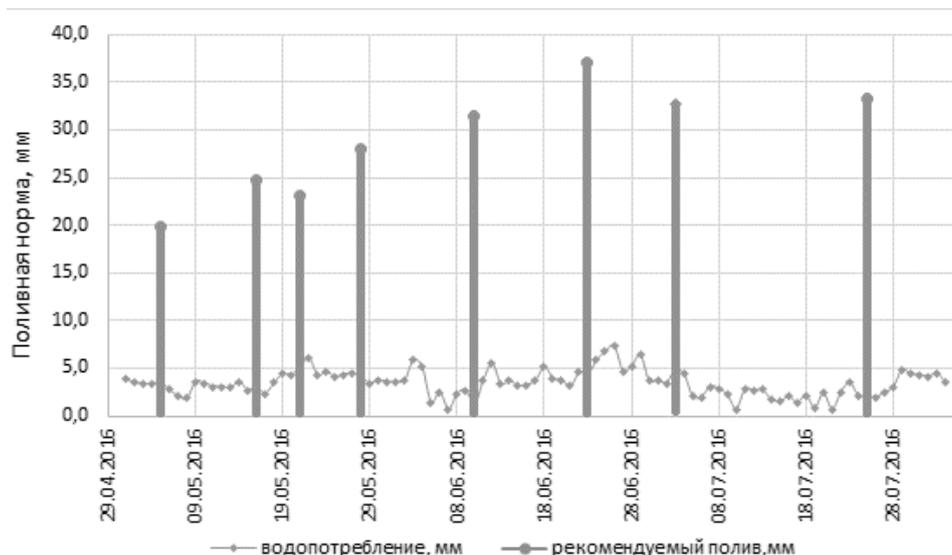
Установленная оросительная норма в умеренно сухостепной зоне Забайкальского края по среднемноголетним метеоданным для 95 % обеспеченности в среднем равна 261 мм (2610 м<sup>3</sup>/га) для моркови и 269 мм (2690 м<sup>3</sup>/га) для капусты поздней.

Для оперативной корректировки режимов орошения на территории Забайкальского края произведен расчет по фактическим метеоданным 2016 г.

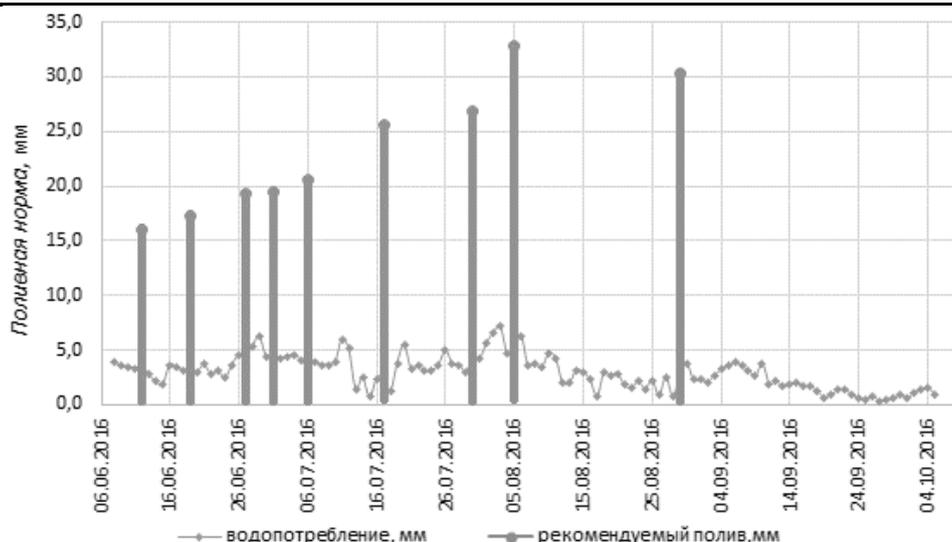
Метеоданные сняты с сайтов Pogoda-service.ru (температура и скорость ветра, м/с), Eurometeo.ru (осадки, мм) и Rp5.ru (относительная влажность, %) и собраны в формате, требуемом для расчета в программе оперативной корректировки режимов орошения Raduga Irrigation [3–6].

В основе оперативной корректировки режима орошения лежит расчетный метод, базирующийся на оценке уравнения водного баланса применительно к почвенному слою, в котором происходит активный влагообмен. Приходные статьи баланса (осадки, поливы) учитываются непосредственным изменением, а расходная часть уравнения (суммарное испарение с поля) рассчитывается по метеорологическим данным.

По этим результатам установлено, что сезон 2016 г. по метеопказателям был очень сухим (95 % обеспеченности). Результаты корректировки полива овощных культур на основе фактических метеоданных 2016 г. представлены на рисунках 2, 3, также представлены даты и нормы полива этих культур (таблица 4).



**Рисунок 2 – Результат оперативного расчета для моркови**



**Рисунок 3 – Результат оперативного расчета для капусты поздней**

**Таблица 4 – Нормы и сроки полива овощных культур на территории  
Забайкальского края на основе фактических метеоданных 2016 г.**

В мм

| Культура        | Дата полива (день, месяц) |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|-----------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|                 | Норма полива              |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
| Морковь         | 07.05                     | 18.05 | 23.05 | 30.05 | 12.06 | 25.06 | 05.07 | 27.07 |       |  |
|                 | 19,8                      | 24,8  | 23,0  | 27,9  | 31,5  | 37,0  | 32,7  | 33,2  |       |  |
| Капуста поздняя | 12.06                     | 19.06 | 27.06 | 01.07 | 06.07 | 17.07 | 30.07 | 05.08 | 29.08 |  |
|                 | 15,9                      | 17,3  | 19,2  | 19,5  | 20,6  | 25,6  | 26,8  | 32,9  | 30,3  |  |

Для капусты поздней по фактическим метеорологическим данным было рекомендовано девять поливов с оросительной нормой 208 мм (2080 м<sup>3</sup>/га).

Для моркови по фактическим метеорологическим данным было рекомендовано восемь поливов с оросительной нормой 230 мм (2300 м<sup>3</sup>/га).

В процессе расчета выявлено, что осредненное количество осадков за многолетний период отличается от значений фактических данных за 2016 г.

Оросительные нормы, полученные в результате оперативного расчета (230 мм (2300 м<sup>3</sup>/га) для моркови и 208 мм (2080 м<sup>3</sup>/га) для капусты поздней), отличаются от показателей, рассчитанных по среднемноголетним данным (262 мм (2620 м<sup>3</sup>/га) для моркови и 270 мм (2700 м<sup>3</sup>/га) для капусты поздней).

При оперативной корректировке режимов орошения даты и нормы полива указаны более точно и в необходимое для полива время, что благотворно скажется на экономии водных ресурсов и снизит возможность подачи на орошаемые поля Забайкальского края недостаточного или избыточного количества воды.

**Список использованных источников**

1 Планирование водопользования при орошении сельскохозяйственных культур: инструктив.-метод. изд. / Г. В. Ольгаренко, Т. А. Капустина, Д. Г. Ольгаренко, Ф. К. Цекоева. – М.: Росинформагротех, 2014. – 171 с.

2 Расчет параметров режимов орошения сельскохозяйственных культур (ROCK.xls): свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610996, дата регистрации 22.04.2004.

3 Расчет динамики агроклиматических ресурсов и их регулирование (Raduga Irrigation): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009610137 / Ольгаренко Г. В. [и др.], дата регистрации 11.01.2009.

4 Метеоданные (температура и скорость ветра) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://pogoda-service.ru/archive\\_gsod\\_res.php](http://pogoda-service.ru/archive_gsod_res.php), 2018.

5 Метеоданные (осадки) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eurometeo.ru/russia/chitinskaya-oblast/chita/archive/2016>, 2018.

6 Метеоданные (относительная влажность) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Чите](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Чите), 2018.

УДК 626.82.004.68:330.322

**М. В. Власов**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

### **РАСЧЕТ ПОЛНОГО СРОКА ОКУПАЕМОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В РЕКОНСТРУКЦИЮ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Целью исследований являлось получение формулы для расчета полного срока окупаемости инвестиций в реконструкцию оросительных систем. В результате исследований установлено, что в указанной формуле должны учитываться строительный лаг, лаг освоения и величина, обратная коэффициенту общей эффективности инвестиций. Также указывается, что особое внимание необходимо уделять вариантам, попавшим в зону оптимума, так как с учетом вероятностного характера исходных данных варианты реконструкции, полный срок окупаемости которых колеблется в пределах  $\pm 5\%$ , можно считать равноценными с экономической точки зрения.*

*Ключевые слова: инвестиции, инвестиции в реконструкцию, окупаемость инвестиций, срок окупаемости инвестиций, реконструкция оросительных систем.*

\*\*\*\*\*

**M. V. Vlasov**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

### **CALCULATION OF THE FULL PAYBACK PERIOD OF INVESTMENT IN IRRIGATION SYSTEMS RECONSTRUCTION**

*The aim of the research was to derive a formula for calculating the full payback period of investments in the irrigation systems reconstruction. As a result of the studies it was found that the construction lag, the development lag and the reciprocal of the coefficient of the general return on investments should be taken into account in this formula. It is also pointed out that special attention should be paid to options that get into the optimum zone, since taking into account the stochastic nature of the initial data, the reconstruction options, which full payback period fluctuates within  $\pm 5\%$  can be considered equivalent from the economic point of view.*

*Key words: investments, investments into reconstruction, return on investments, payback period, irrigation systems reconstruction*

Эффективность инвестиций в реконструкцию оросительных систем определяется сопоставлением величины вложенных средств с эффектом от ее осуществления. Определение эффективности реконструкции оросительных систем базируется на системном подходе к оценкам эффективности намечаемых мероприятий, предполагающем выявление не только ближайших непосредственных эффектов и затрат, но и дальнейших последствий, рассмотренных во взаимной связи и обусловленности в рамках единой системы.

Показатель общей эффективности инвестиций в реконструкцию оросительных систем определяет целесообразность ее осуществления и представляет собой отноше-

ние суммарного (совокупного) годового эффекта к инвестициям, вызывающим этот эффект. При этом эффективность инвестиций в реконструкцию должна определяться с учетом того, что главной целью реконструкции может быть даже не улучшение технико-экономических показателей, а предотвращение их существенного ухудшения, которое неизбежно возникло бы при отказе от ее проведения.

При определении общей (абсолютной) эффективности реконструкции используется система стоимостных и натуральных показателей, предусмотренная для обоснования нового строительства [1, 2].

Коэффициент общей (абсолютной) эффективности инвестиций в реконструкцию оросительных систем  $E$  определяется по формуле:

$$E = \frac{\mathcal{E}}{I},$$

где  $\mathcal{E}$  – величина суммарного годового эффекта от реконструкции, руб.;

$I$  – размер инвестиций, руб.

Прогнозирование величины суммарного годового эффекта от реконструкции следует выполнять в два этапа. На первом этапе прогнозируется суммарный годовоей эффект от общественных (социально-экономических), экологических и технико-экономических показателей, характеризующих состояние оросительной системы и сельхозпроизводства без проведения реконструкции, а второй этап предусматривает прогнозирование изменения этих показателей в результате реконструкции.

Коэффициент общей эффективности или обратная ему величина, срок окупаемости, рассчитывается на год полного освоения реконструированного объекта, когда будут достигнуты проектные значения показателей.

При расчетах и анализе эффективности инвестиций необходимо учитывать разрыв во времени (лаг) между осуществлением инвестиций и получением эффекта, который состоит из строительного лага и лага освоения.

Строительный лаг представляет собой период времени, необходимый для превращения авансированных инвестиций в новые фонды и производственные мощности. Продолжительность строительного лага определяется по формуле:

$$L_{\text{стр}} = \frac{n(K_1 - \Phi_1) + (n-1)(K_2 - \Phi_2) + \dots + (K_n - \Phi_n)}{K_1 + K_2 + \dots + K_n},$$

где  $L_{\text{стр}}$  – лаг строительства, лет;

$n$  – общая продолжительность строительства, лет;

$K_n$  – инвестиции  $n$ -го года строительства, руб.;

$\Phi_n$  – инвестиции, превращаемые в основные производственные фонды в  $n$ -м году строительства, руб.

Лаг строительства характеризует средневзвешенную длительность замораживания инвестиций, близкую к половине срока строительства.

Лаг освоения определяет среднее время, необходимое для достижения предусмотренного проектом уровня отдачи введенных в действие основных фондов. Величина лага освоения на реконструируемых объектах, как правило, значительно больше, чем на объектах нового строительства. Продолжительность лага освоения определяется по формуле:

$$L_{\text{осв}} = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{\alpha_i}{100} \right),$$

где  $L_{\text{осв}}$  – лаг освоения, лет;

$n$  – длительность периода освоения, лет;

$\alpha_i$  – доля полученной урожайности сельскохозяйственных культур, в % от ее проектной величины по годам [3].

Тогда полный срок окупаемости инвестиций в реконструкцию оросительных систем необходимо определять с учетом строительного лага и лага освоения:

$$T_{\text{полн}} = L_{\text{стр}} + T_{\text{НП}} + L_{\text{осв}},$$

где  $T_{\text{полн}}$  – полный срок окупаемости инвестиций в реконструкцию, лет;

$T_{\text{НП}}$  – срок окупаемости инвестиций, равный И/Э, лет.

Объективная оценка целесообразности реконструкции оросительных систем возможна лишь при достоверных исходных данных. Определять с абсолютной точностью основные показатели, существенно влияющие на оценку, учитывая вероятностный характер исходных данных, принципиально невозможно. Особое внимание необходимо уделять вариантам, попавшим в зону оптимума. Имея в виду вероятностный характер исходных данных, варианты реконструкции, полный срок окупаемости которых колеблется в пределах  $\pm 5\%$ , можно считать равноценными с экономической точки зрения.

#### Список использованных источников

1 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: утв. Минэкономки России, Минфином России, Госстроем России 21.06.99 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

2 Мелиорация и водное хозяйство. Экономика: справочник / сост. Е. И. Сердюк [и др.]; под. ред. В. Ф. Моховикова. – М.: Колос, 1984. – 255 с.

3 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации сельскохозяйственных земель: РД-АПК 300.01.003-03: утв. М-вом сел. хоз-ва Рос. Федерации 24.01.03 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

УДК 626.823

**Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, В. Ф. Сильченко**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

#### УТОЧНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

*Целью исследования являлась разработка методики гидравлического расчета введенного в эксплуатацию канала для уточнения его параметров на примере Бурлинского магистрального канала в Алтайском крае. На основе использования основного уравнения равномерного движения воды в открытом русле была предложена методика гидравлического расчета канала при двух расчетных расходах (нормальном и эксплуатационном). По результатам проведенных расчетов установлено, что принятые в проекте Бурлинского магистрального канала параметры и расчетные гидравлические характеристики при расходе, равном  $36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , для первого и четвертого бьефов не соответствуют требуемой пропускной способности при принятой нормальной глубине соответственно 3,40 и 3,42 м. Определено, что ошибка при подсчете нормальной глубины составила от 5,5 до 18,3 %. При расчетном расходе, равном  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ , во всех бьефах наблюдается несоответствие принятого по проекту расхода требуемой пропускной способности. Ошибка принятой по проекту нормальной глубины составила от 6,0 до 7,0 %.*

*Ключевые слова: гидравлический расчет, уточнение параметров канала, уравнение для расчета каналов, формула Шези.*

\*\*\*\*\*

**Yu. M. Kosichenko, D. V. Baklanova, V. F. Sil'chenko**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

## UPDATING THE HYDRAULIC PARAMETERS OF THE MAIN CANAL OF TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION

*The aim of the research was to develop a methodology for the hydraulic calculation of a canal put into service to detail its parameters using the example of the Burlin Main Canal in Altai Territory. On the usage of the basic equation of uniform water motion in the open channel, the methodology for hydraulic computation of the canal with two computed discharges (normal and operating) was proposed. It was found out by conducted calculations that the parameters and calculated hydraulic characteristics adopted in the Burlinsky Main Canal project at a flow rate of 36.5 m<sup>3</sup>/s for the first and the fourth pools did not correspond to the required discharge capacity at the assumed normal depth, respectively, 3.40 and 3.42 m. It was found that the error in calculating the normal depth was from 5.5 to 18.3 %. At a design flow rate of 10 m<sup>3</sup>/s, in all pools there is a discrepancy between the projected flow rate of the required discharge capacity. The error of the normal depth accepted by the project was from 6.0 to 7.0 %.*

*Key words: hydraulic computation, updating the canal parameters, equation for canal calculation, Chezy formula.*

**Введение.** При эксплуатации крупных каналов возникают проблемы их эксплуатационной надежности и гидравлической эффективности, в т. ч. больших потерь на фильтрацию [1–8]. В связи с этим исследования гидравлики крупных каналов, к которым относится и Бурлинский магистральный канал (МК) в Алтайском крае, представляют значительный интерес.

История создания Бурлинского МК вместе с Бурлинской оросительной системой (ОС) насчитывает длительный период, начиная с 1961 г. Строительство Бурлинской ОС было начато в 1983 г., и в 2010 г. возраст первого и второго бьефа МК составил 27 лет [9]. Подача воды предусматривалась по Бурлинскому МК из Новосибирского водохранилища расходом 36,5 м<sup>3</sup>/с в р. Бурлу, что должно было решить вопросы обводнения бессточного бассейна Кулундинской степи.

Проектными организациями ГУГНПЦ «Ленводпроект» и ОАО «Алтайводпроект» планировалось орошение земель в бассейне р. Бурлы только в Алтайском крае на площади 55 тыс. га, в связи с чем в 1975 г. был разработан технический проект орошения в бассейне р. Бурлы Алтайского края и начато строительство Бурлинской ОС и МК, превратившееся в долгострой [9, 10]. В 1983 г. трест «Каменьводстрой» приступил к выполнению работ первой очереди строительства, в рамках которой началось возведение Бурлинского МК. Проект несколько раз пересматривался в связи с необходимостью обновления запроектированной устаревшей дождевальной техники. Технический проект первой очереди (утвержденный вновь в 1989 г.) имел площадь орошения земель 9224,6 га. Общая стоимость строительства составляла более 90 млн руб. при планируемой проектной рентабельности первой очереди 61 %. Однако данная рентабельность имела завышенные показатели [9].

С 1991 г. строительство Бурлинской ОС было приостановлено в связи с отсутствием бюджетного финансирования. К этому времени были выполнены работы по строительству МК и насосных станций НС-1 и НС-2. Незавершенным осталось строительство насосных станций НС-3 и НС-4 на МК и ряда оросительных объектов в Бурлинском и Крутихинском районах.

Схема подачи воды по Бурлинскому МК приведена на рисунке 1. Она включала четыре бьефа на МК с подачей воды из Новосибирского водохранилища в озеро Приганское с общей высотой геодезического подъема воды 74 м и расходом 36,5 м<sup>3</sup>/с.

С 1991 по 2002 г. произошла большая трансформация взглядов на возможность и необходимость дальнейшего строительства Бурлинского МК и переоценка целевого

назначения строительства Бурлинской ОС. Первоначальное назначение этой системы – орошение земель на больших площадях – было признано нецелесообразным. В 2002 г. Минсельхоз России как государственный заказчик определил новую стратегию строительства системы. Было принято решение о продолжении строительства только сооружений МК с целью обеспечения подачи воды из Новосибирского водохранилища для обводнения озер в нижнем течении р. Бурлы [9].

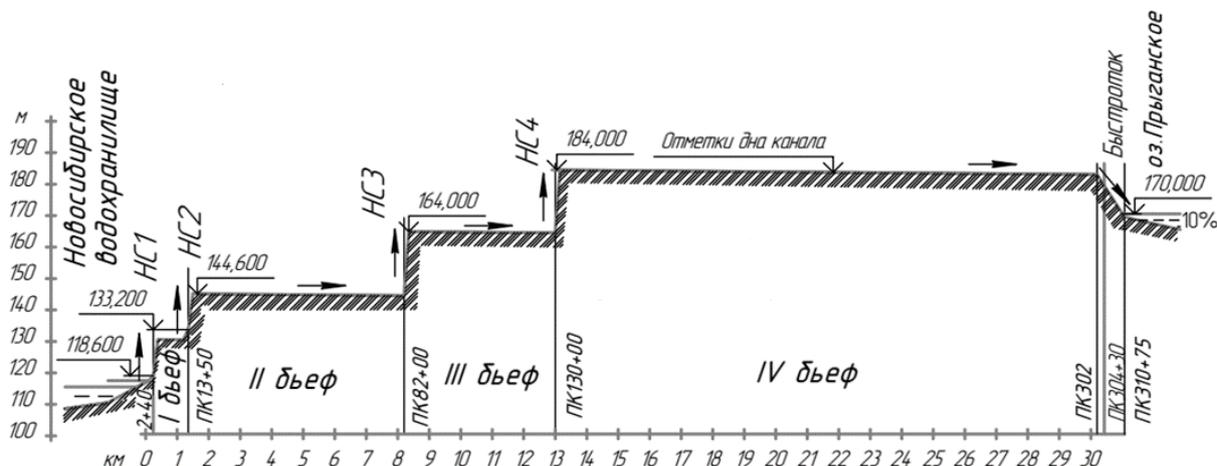


Рисунок 1 – Схема подачи воды по Бурлинскому МК

С 2003 по 2010 г. были продолжены работы по строительству комплекса водоподводящих сооружений на МК, и в 2011 г. Бурлинский МК был принят в эксплуатацию с расходом  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ .

На наш взгляд, эксплуатация МК со сниженным эксплуатационным расходом целесообразна на первом этапе, а в дальнейшем необходимо рассмотреть мероприятия по развитию орошения в бассейне р. Бурлы на площади до 55 тыс. га с увеличением подачи воды из Новосибирского водохранилища до  $36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Целью настоящего исследования являлась разработка методики гидравлического расчета для определения основных параметров Бурлинского МК при двух расчетных расходах: проектном  $36,5 \text{ м}^3/\text{с}$  и эксплуатационном (на первом этапе)  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ .

**Материалы и методы.** Методика гидравлического расчета канала основывается на использовании основного уравнения равномерного движения воды в открытом русле (формула Шези) [11]:

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{R \cdot i}, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega$  – площадь живого сечения канала,  $\text{м}^2$ ;

$C$  – коэффициент Шези,  $\text{м}^{0,5}/\text{с}$ ;

$R$  – гидравлический радиус, м;

$i$  – уклон дна канала.

Входящие в зависимость (1) параметры определяем по следующим формулам:

- площадь живого сечения канала  $\omega$ ,  $\text{м}^2$ :

$$\omega = (b + mh) \cdot h,$$

где  $b$  – ширина канала по дну, м;

$h$  – глубина канала, м;

$m$  – коэффициент заложения откоса;

- коэффициент Шези по рекомендуемой формуле Н. Н. Павловского [11]:

$$C = \frac{1}{n} R^y,$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости русла;

$y$  – показатель степени, зависящий от величины коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса ( $y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1)$ ); при  $R > 1$  м заменяют на приближенный  $y = 1,3\sqrt{n}$ ;

$$R = \frac{\omega}{\chi},$$

где  $\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}$  – смоченный периметр, м.

Средняя скорость в живом сечении канала  $v$ , м/с, вычисляется по формуле:

$$v = \frac{Q}{\omega}, \tag{2}$$

и затем сравнивается с допускаемой незаилающей по формуле [11]:

$$v_{\text{нез}} = 0,3 \cdot R^{0,25}. \tag{3}$$

Особенностью гидравлического расчета Бурлинского МК является то, что канал должен рассчитываться при двух расчетных расходах: нормальном, соответствующем проекту  $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$  и эксплуатационном, соответствующем первой очереди  $Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$ . К задаваемым параметрам канала также относятся параметры  $b$ ,  $m$ ,  $i$  и  $n$ , которые изменяются в зависимости от бьефа канала. При этом учтем, что коэффициент шероховатости земляного русла из суглинка согласно СП 100.13330.2012 [11] следует принимать равным: при  $Q_n > 25 \text{ м}^3/\text{с}$   $n = 0,020$ , при  $Q_n = 1 \dots 25 \text{ м}^3/\text{с}$   $n = 0,0225$ .

Расчет параметров МК заключается в вычислении расхода  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , по формуле (1) и подборе методом итераций нормальной глубины  $h_n$ , м, соответствующей заданным значениям расхода при нормальной глубине  $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$ . Кроме того, определяется средняя скорость потока  $v$ , м/с, по формуле (2) и сравнивается с незаилающей  $v_{\text{нез}}$ , м/с, по формуле (3). В случае, если  $v \leq v_{\text{нез}}$ , будет происходить заилиние русла МК наносами, а следовательно, данный режим его эксплуатации считается нецелесообразным. Алгоритм расчета канала представлен на рисунке 2.

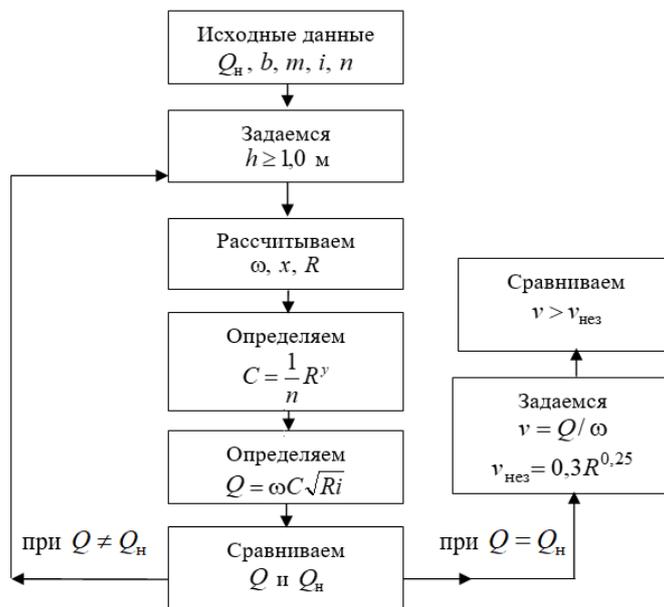


Рисунок 2 – Алгоритм уточнения гидравлических параметров Бурлинского МК

**Результаты и обсуждение.** Результаты гидравлического расчета Бурлинского МК при проектных режимах работы канала по четырем участкам (бьефам) приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты гидравлического расчета Бурлинского МК для уточнения параметров при проектных режимах работы канала по участкам (бьефам)**

| Участок канала (бьеф)  | Задаваемый параметр по проекту |     |         |        | Расчетный гидравлический параметр |                           |                       |                     |                          |                              |                              |                              |
|--|--------------------------------|-----|---------|--------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|  | $b$ , м                        | $m$ | $i$     | $n$    | $h$ , м                           | $\omega$ , м <sup>2</sup> | $\chi$ , м            | $R$ , м             | $C$ , м <sup>0,5/с</sup> | $Q$ , м <sup>3/с</sup>       | $v$ , м/с                    | $v_{нез}$ , м/с              |
| $Q_H = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$  |                                |     |         |        |                                   |                           |                       |                     |                          |                              |                              |                              |
| I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)  | 5,0                            | 2,5 | 0,0001  | 0,020  | <u>3,40</u><br>3,60               | <u>45,90</u><br>50,40     | <u>23,31</u><br>24,39 | <u>1,97</u><br>2,07 | <u>56,64</u><br>57,16    | <u>28,83</u><br><b>36,50</b> | <u>0,628</u><br>0,724        | <u>0,355</u><br>0,360        |
| II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)   | 5,0                            | 3,0 | 0,00006 | 0,020  | 3,63                              | 57,68                     | 27,96                 | 2,06                | 57,13                    | 36,63                        | 0,635                        | 0,359                        |
| III бьеф (ПК 82 – ПК 130)  | 5,0                            | 3,0 | 0,00006 | 0,020  | 3,63                              | 57,68                     | 27,96                 | 2,06                | 57,13                    | 36,63                        | 0,635                        | 0,359                        |
| IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)  | 5,0                            | 3,0 | 0,00006 | 0,020  | 3,63                              | 57,68                     | 27,96                 | 2,06                | 57,13                    | 36,63                        | 0,635                        | 0,359                        |
| IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)   | 10,0                           | 4,0 | 0,00006 | 0,020  | <u>3,42</u><br>2,89               | <u>80,98</u><br>62,64     | <u>38,20</u><br>33,91 | <u>2,12</u><br>1,85 | <u>57,36</u><br>55,98    | <u>52,38</u><br><b>36,50</b> | <u>0,647</u><br>0,583        | <u>0,362</u><br>0,350        |
| $Q_H = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$  |                                |     |         |        |                                   |                           |                       |                     |                          |                              |                              |                              |
| I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)  | 5,0                            | 2,5 | 0,00001 | 0,0225 | <u>1,85</u><br>1,99               | <u>17,81</u><br>20,00     | <u>14,97</u><br>15,77 | <u>1,19</u><br>1,27 | <u>45,98</u><br>46,55    | <u>8,93</u><br><b>10,0</b>   | <u>0,501</u><br>0,504        | <u>0,313</u><br>0,318        |
| II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)   | 5,0                            | 3,0 | 0,00006 | 0,0225 | <u>2,01</u><br>2,13               | <u>22,17</u><br>22,44     | <u>17,71</u><br>18,53 | <u>1,25</u><br>1,32 | <u>46,43</u><br>46,91    | <u>8,91</u><br><b>10,0</b>   | <u>0,402</u><br>0,410        | <u>0,317</u><br>0,322        |
| III бьеф (ПК 82 – ПК 130)  | 5,0                            | 3,0 | 0,00004 | 0,0225 | <u>2,22</u><br>2,34               | <u>25,88</u><br>28,32     | <u>19,04</u><br>19,86 | <u>1,36</u><br>1,43 | <u>47,19</u><br>47,63    | <u>9,58</u><br><b>10,0</b>   | <u>0,386</u><br>0,360        | <u>0,324</u><br>0,328        |
| IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)  | 5,0                            | 3,0 | 0,00003 | 0,0225 | <u>2,38</u><br>2,50               | <u>28,89</u><br>31,25     | <u>20,05</u><br>20,81 | <u>1,44</u><br>2,50 | <u>47,72</u><br>48,11    | <u>9,06</u><br><b>10,0</b>   | 0,390                        | 0,328                        |
| IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)   | 10,0                           | 4,0 | 0,00003 | 0,0225 | <u>1,82</u><br>1,94               | <u>31,45</u><br>34,97     | <u>25,01</u><br>26,16 | <u>1,26</u><br>1,34 | <u>46,47</u><br>47,03    | <u>8,97</u><br><b>10,0</b>   | <u>0,320</u><br><b>0,286</b> | <u>0,318</u><br><b>0,323</b> |
| <p>Примечания</p> <p>1 В числителе приведены расчетные параметры по данным проекта, в знаменателе – уточненные расчетные параметры в соответствии с уравнением равномерного движения (формулой Шези).</p> <p>2 Квадраты, закрашенные серым цветом, характеризуют несоответствие проектного расхода на участке канала его пропускной способности по формуле Шези, а темно-серым цветом – недопустимые режимы работы канала.</p> |                                |     |         |        |                                   |                           |                       |                     |                          |                              |                              |                              |

Анализ результатов показывает, что принятые в проекте параметры и расчетные гидравлические характеристики канала при расходе  $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$  для первого и четвертого бьефов (ПК 210 – ПК 304 + 30) не соответствуют требуемой пропускной способности при принятой нормальной глубине  $h_n$  соответственно 3,40 и 3,42 м:  $Q_1 \leq Q_n$  ( $28,83 \text{ м}^3/\text{с} < 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и  $Q_4 \leq Q_n$  ( $52,38 \text{ м}^3/\text{с} < 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Поэтому в результате уточнения расчетов по принятому алгоритму (рисунок 2) нормальные глубины соответственно составили  $h_1 = 3,60 \text{ м}$  (вместо 3,40 м) и  $h_4 = 2,8 \text{ м}$  (вместо 3,42 м). Таким образом, ошибка при подсчете нормальной глубины составила от 5,5 до 18,3 %.

При расчетном расходе  $Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$  во всех бьефах наблюдается несоответствие принятого расхода по проекту требуемой пропускной способности. Ошибка принятой по проекту нормальной глубины составила от 6,0 до 7,0 %. Наряду с этим для данного случая в четвертом бьефе на двух участках при сравнении уточненных значений скорости с незаилающей получены недопустимые режимы работы канала, когда будет происходить заиление русла. Очевидно, здесь необходима разработка специальных мероприятий.

Следует отметить, что при  $Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$  было неправильно принято значение коэффициента шероховатости канала. Так, при снижении расхода в канале с  $36,5$  до  $10,0 \text{ м}^3/\text{с}$  согласно СП 100.13330.2012 [11] коэффициент шероховатости будет увеличиваться с 0,020 до 0,0225, что подтверждается результатами натурных исследований на многих крупных каналах [12, 13]. Принятие неправильного значения коэффициента шероховатости с ошибкой более 10 % привело к заниженным значениям расхода на каждом участке в пределах 5–10 %, а также к заниженным значениям нормальной глубины.

**Выводы.** Таким образом, на основании вышеизложенного можно заключить, что разработанная методика гидравлического расчета параметров канала на примере Бурлинского МК позволяет получать наглядные результаты и уточнять их с помощью предложенного алгоритма.

#### Список использованных источников

- 1 Карасев, И. Ф. Руслые процессы при переброске стока / И. Ф. Карасев. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 288 с.
- 2 Алтунин, В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. – М.: Колос, 1979. – 255 с.
- 3 Железняков, Г. В. Пропускная способность русел каналов и рек / Г. В. Железняков. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 311 с.
- 4 Угинчус, А. А. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов / А. А. Угинчус. – М.: Стройиздат, 1965. – 274 с.
- 5 Рабкова, Е. К. Проектирование и расчет оросительных каналов в земляном русле / Е. К. Рабкова. – М.: Изд-во УДН, 1990. – 252 с.
- 6 Косиченко, Ю. М. Вероятностная модель эксплуатационной надежности крупных каналов / Ю. М. Косиченко, Ю. И. Иовчу, М. Ю. Косиченко // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 12. – С. 39–45.
- 7 Косиченко, Ю. М. Исследования фильтрационных потерь из каналов оросительных систем / Ю. М. Косиченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 24–25.
- 8 Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, О. А. Бавев, Е. Д. Михайлов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.
- 9 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.

10 Кошелева, Е. Д. Прогноз зон влияния Бурлинского магистрального канала / Е. Д. Кошелева, К. Б. Кошелев // Вестник алтайской науки. – 2008. – № 1. – С. 195–203.

11 Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2012: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. – 229 с.

12 Косиченко, Ю. М. Закономерности изменения гидравлических сопротивлений земляных русел при эксплуатации / Ю. М. Косиченко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 107–111.

13 Косиченко, Ю. М. Гидравлическая эффективность крупных каналов Северного Кавказа / Ю. М. Косиченко, К. Г. Гурин, А. В. Самойленко // Водное хозяйство России. – 2005. – Т. 7, № 4. – С. 378–391.

УДК 634.1:631.67

**В. И. Кременской, А. М. Джапарова**

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

### **ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ В КРЫМУ**

*Целью исследования являлось изучение тенденций и динамики орошаемого земледелия в Крыму. В результате установлено, что ведущим способом полива на сегодняшний день является капельный, которым в 2017 г. полито более 62 % орошаемых земель. Максимальной площадью капельного орошения была в 2013 г. (14,4 тыс. га). В 2017 г. в Республике Крым многолетние насаждения занимали 7076 га, или 82,6 % от всех площадей, орошаемых капельным способом. Доля микроорошения в процентном отношении стабильно увеличивается, что подтверждает ее применимость и экономическую целесообразность при выращивании большинства видов сельскохозяйственных культур. Государственная поддержка сельскохозяйственных производителей в виде субсидий способствует внедрению капельного полива в новых насаждениях садов, виноградников, на посевах овощных и технических культур.*

*Ключевые слова: дефицит водных ресурсов, микроорошение, капельное орошение, динамика орошаемых площадей, структура посевных площадей.*

\*\*\*\*\*

**V. I. Kremenskoy, A. M. Dzhararova**

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

### **DRIP IRRIGATION SYSTEMS IMPLEMENTATION IN CRIMEA**

*The purpose of the study was to study the trends and dynamics of irrigated farming in the Crimea. As a result, it has been found that the drip irrigation method is a leading one nowadays, which irrigated more than 62 % of irrigated land in 2017. The maximum area of drip irrigation was in 2013 (14.4 thousand hectares). In 2017, in the Republic of Crimea, the perennial plantings occupied 7076 ha, or 82.6 % of all areas irrigated by drip method. The proportion of micro-irrigation in percentage terms is steadily increasing, which confirms its applicability and economic feasibility in the majority of agricultural crops cultivation. State support of agricultural producers in the form of subsidies contributes to the introduction of drip irrigation in new gardens, vineyards, vegetable and industrial crops plantings.*

*Key words: water scarcity, micro-irrigation, drip irrigation, dynamics of irrigated areas, cultivated areas structure.*

**Введение.** В условиях возрастающего дефицита качественной пресной воды, роста цен на энергоносители, ухудшения экологического состояния орошаемых земель актуальными становятся разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих, экологи-

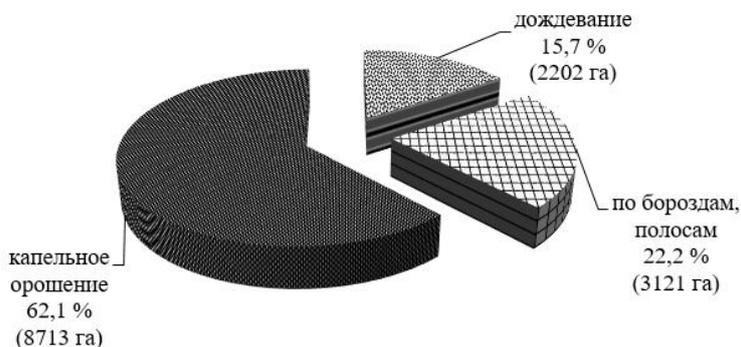
чески безопасных технологий. В орошаемом земледелии, в т. ч. садоводстве и виноградарстве, это направление реализуется путем внедрения технологий микроорошения [1].

Микроорошение – термин, объединяющий способы полива, при которых осуществляется локальная подача воды в зону наиболее интенсивного развития корневой системы растений. Микроорошение включает в себя такие способы увлажнения почвы: капельное, внутрипочвенное, капельно-внутрипочвенное, микродождевание (микроструйчатое, аэрозольное) и т. д. При капельном орошении создается возможность непрерывного снабжения растений водой и элементами питания. Дозированная подача воды в течение всего вегетационного периода в соответствии с водопотреблением орошаемой культуры позволяет создать оптимальный режим влажности в корнеобитаемом слое почвы и увеличить урожайность сельскохозяйственных культур [2–4].

Крым мог бы занимать лидирующие позиции в производстве плодовых культур, это объясняется наличием здесь благоприятных почвенно-климатических условий, в т. ч. достаточного количества солнечного света и тепла. Лимитирующим фактором выступает недостаточная влагообеспеченность, но в условиях орошения, и особенно капельного, в Крыму есть возможность получать высокие и стабильные урожаи фруктов и винограда с высокими показателями качества плодов [5–8].

**Материалы и методы.** При проведении исследований были использованы следующие методы: общенаучные (проведен сбор и систематизация имеющейся информации о внедрении систем капельного орошения в Республике Крым в разрезе площадей и сельскохозяйственных культур), специальные (по собранным материалам были составлены таблицы, построены графики), а также метод статистической обработки и сравнительного анализа. По имеющимся материалам была прослежена динамика площадей микроорошения в Крыму с 1990 по 2017 г., а также оценены проблемы и перспективы внедрения систем капельного орошения. Для наглядности представлены круговые диаграммы распределения сельскохозяйственных культур (плодовых насаждений и виноградников) и площадей, орошаемых капельным способом полива, по районам Крымского полуострова.

**Результаты и обсуждение.** По данным Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым, в 2017 г. в крымском регионе орошалось 14036 га, из которых 8713 га поливалось капельным способом. Площади орошаемых земель по сравнению с 2016 г. увеличились на 2321 га, в т. ч. капельный способ полива на 2082 га. Капельное орошение занимает лидирующее место по способам полива. На рисунке 1 представлено распределение орошаемых земель по способам полива сельскохозяйственных культур в Крыму в 2017 г.



**Рисунок 1 – Распределение политых площадей по способам полива в Крыму в 2017 г.**

В Крыму наиболее распространены такие способы полива: полив по бороздам, дождевание и капельное орошение. Каждый из них имеет свои особенности, преимущества, недостатки и по-разному влияет на растения, температурный, водный, питательный и солевой режимы почвы, а также на влажность и температуру приземных

слоев воздуха. Капельное орошение – самый прогрессивный способ полива садов, виноградников и овощных культур в Крыму. Значительное распространение капельное орошение получило благодаря известным и неоспоримым преимуществам по сравнению с дождеванием и поверхностными способами полива.

Ведущим способом полива на сегодняшний день в Крыму является капельный, которым поливают более 62 % орошаемых земель. Основными районами, в которых внедрены системы микроорошения, являются Бахчисарайский (2673 га), Красногвардейский (1745 га), Симферопольский (907 га) и Сакский (868 га) районы. В основном капельным способом поливают в Крыму многолетние насаждения: плодовые сады и виноградники.

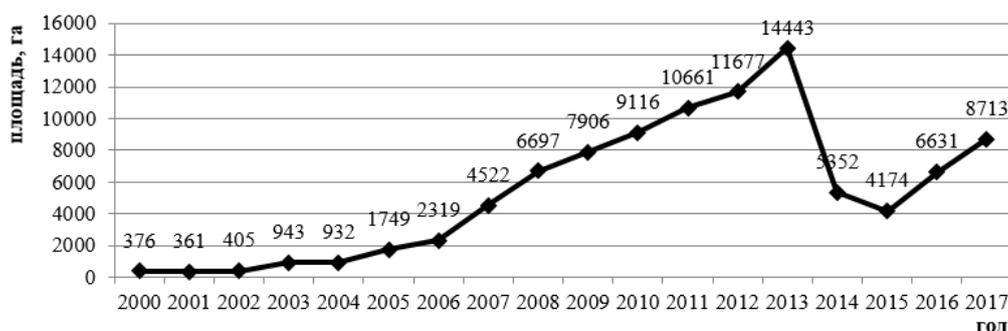
В настоящее время на Крымском полуострове поверхностным способом полива по бороздам орошается 3121 га (22 %). Данный способ полива наиболее распространен в Алуште (1156 га), Бахчисарайском районе (1000 га), г. Судак (391 га) и Симферопольском районе (329 га). Этим способом в основном орошаются плодовые сады, виноградники и приусадебные участки. Преимущества полива по бороздам – низкие начальные капиталовложения в организацию орошения.

Дождеванием в Крыму в 2017 г. орошалось 2202 га (15,7 %), из них 873 га в Красногвардейском районе, 667 га в Первомайском районе и 255 га в Симферопольском районе. Зерновые, технические и овощные культуры поливаются в основном дождеванием. В таблице 1 представлены орошаемые площади по годам, в т. ч. и капельное орошение.

**Таблица 1 – Площади капельного орошения в Крыму**

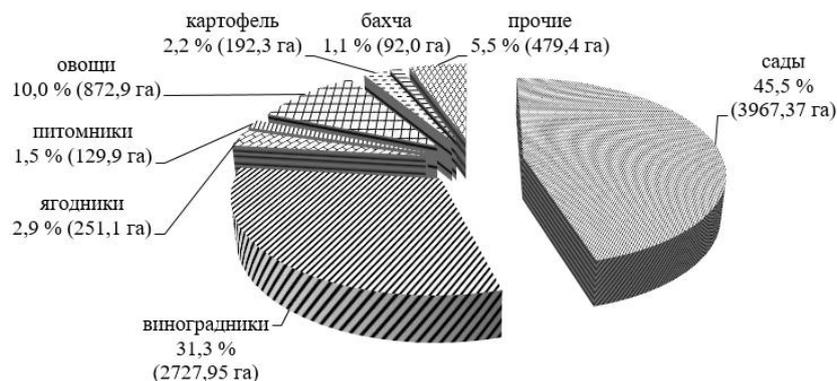
| Год  | Всего полито орошаемых земель, тыс. га | Капельное орошение, тыс. га | % капельного орошения от всех орошаемых земель |
|------|--|-----------------------------|--|
| 1990 | 364,0                                  | 1,8                         | 0,5  |
| 2010 | 139,4                                  | 9,1                         | 6,5  |
| 2013 | 136,8                                  | 14,4                        | 10,6   |
| 2014 | 17,7                                   | 5,4                         | 30,2   |
| 2015 | 10,4                                   | 4,2                         | 40,2   |
| 2016 | 11,7                                   | 6,6                         | 56,6   |
| 2017 | 14,0                                   | 8,7                         | 62,1   |

Доля микроорошения стабильно увеличивается, что подтверждает высокую эффективность и экологическую безопасность этого способа полива. В 2013 г. сельскохозяйственные культуры были политы капельным способом на максимальной площади 14,4 тыс. га. В 2014 г. площадь орошения уменьшилась в 7,5 раза в связи с прекращением подачи воды по Северо-Крымскому каналу и на вводимых площадях преимущественно применялся капельный способ полива. Из данных таблицы 1 видно, что площади земель, орошаемых капельным способом, в процентном отношении постоянно возрастают. Динамика площадей представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Динамика площадей под капельным орошением по годам в Республике Крым**

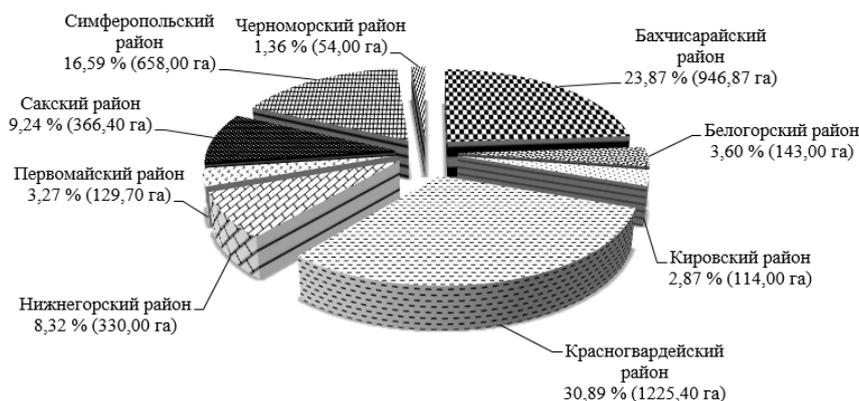
Структура сельскохозяйственных культур, орошаемых капельным способом полива в Крыму, представлена на рисунке 3.



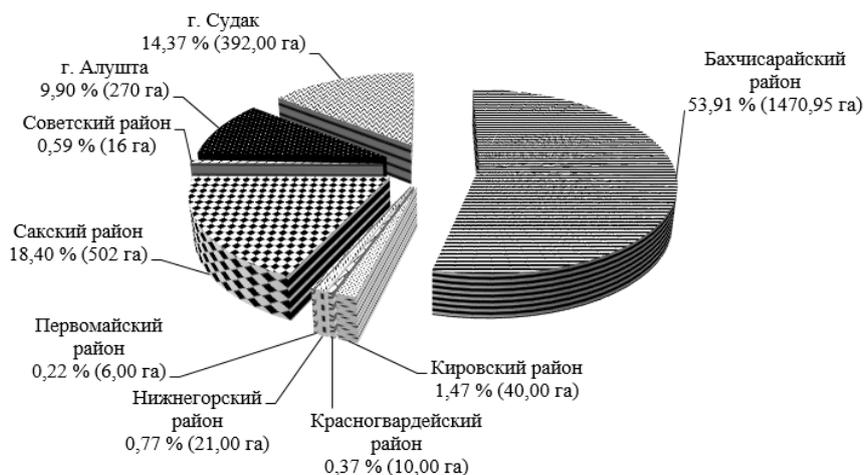
**Рисунок 3 – Распределение площадей по группам сельскохозяйственных культур, орошаемых капельным способом в Республике Крым, за 2017 г.**

Многолетние насаждения занимают 7076 га, или 82,6 % от всех площадей, орошаемых капельным способом. Из однолетних культур овощи составляют 10,0 % (873 га), кукуруза и другие пропашные культуры – 5,5 % (479 га), бахчевые культуры – 1,1 % (92 га), картофель – 2,2 % (192 га), что довольно мало для Крыма.

На рисунках 4 и 5 представлено распределение площадей капельного орошения плодовых насаждений и винограда по районам Республики Крым.



**Рисунок 4 – Распределение площадей капельного орошения плодовых насаждений по районам Крыма за 2017 г. в процентах от общего количества (3967,37 га)**



**Рисунок 5 – Распределение площадей капельного орошения виноградников по районам Крыма за 2017 г. в процентах от общего количества (2727,95 га)**

В 2017 г. капельным способом полива орошалось 3967,37 га садов и в сравнении с 2016 г. их площадь увеличилась на 680 га. Наибольшее количество плодовых насаждений, орошаемых капельным способом, в Красногвардейском районе, где в 2017 г. полили 1225,4 га (в т. ч. АО «Крымская фруктовая компания» имеет 1137 га (93 % от всех садов района)). В Бахчисарайском районе сады поливались на площади 946,87 га (24 %), наиболее крупные хозяйства – ООО «Сады Бахчисарая» (270 га) и ООО «Бахчисарайская долина» (204 га). В Симферопольском районе 658 га (17 %) полито капельным способом, в т. ч. наиболее крупным хозяйством ООО «Яросвит-Агро» орошено 500 га многолетних культур. Недостаток водных ресурсов оказывает негативное влияние на увеличение площадей садов, поливаемых микроорошением.

В 2017 г. капельным способом поливалось 2727,95 га виноградников, прибавка за истекший год составила 609 га. По площадям виноградников ведущее место занимает Бахчисарайский район (1470,95 га), а именно ПАО «Бурлюк» – 684 га, агрофирма «Черноморец» – 448 га, ООО «Инвест плюс» – 177 га. В Сакском районе виноградники на капельном орошении посажены на площади 502 га (18,4 %) (все 502 га в ООО «Крымские виноградники»). В сельскохозяйственном регионе г. Судак полито в прошлом году с использованием систем капельного орошения 392 га (14,4 %), из них в филиале «Морское» ФГУП ПАО «Массандра» – 165 га и в АО «Солнечная долина» – 199,5 га. В сельскохозяйственном регионе г. Алушта виноградники занимают 270 га (9,9 %), из них в филиале «Алушта» ФГУП ПАО «Массандра» – 163 га, в филиале «Приветное» ФГУП ПАО «Массандра» – 73 га.

На рисунке 6 представлена система капельного орошения в плодоносящем саду с. Маленького Симферопольского района, поливной трубопровод лежит на поверхности почвы, контроль влажности почвы осуществляется с помощью тензиометров.



**Рисунок 6 – Капельное орошение в слаборослом саду на подвое Айва (ВА-29) с контролем влажности почвы при помощи тензиометров (фото авторов)**

### **Выводы**

1 Дефицит водных ресурсов сдерживает широкое внедрение капельного орошения садов и виноградников. На вводимых орошаемых землях из-за недостатка поверхностных вод стали использовать подземные воды.

2 Капельное орошение с локальным увлажнением почвы позволяет оптимизировать водный режим в насаждениях, обеспечивает подачу воды в активную корнеобитаемую зону почвы оптимальными нормами в наилучшие сроки, сведя к минимуму непроизводительные потери. Значительная стоимость систем капельного орошения компенсируется высокой урожайностью сельскохозяйственных культур и быстрой окупае-

мостью затрат. Государственная поддержка сельхозпроизводителей в виде субсидий способствует внедрению капельного полива в новых насаждениях садов, виноградников и на посевах овощных и технических культур.

3 Для развития орошаемого земледелия в условиях резкого дефицита водных ресурсов в Республике Крым необходимо также провести раскорчевку старых садов и виноградников, а новые посадки закладывать изначально с системой капельного орошения.

#### **Список использованных источников**

1 Практический справочник овощевода. Выращивание овощей на орошении / В. М. Педь, О. М. Нероденко. – Киев: Юнивест Медиа, 2013. – 256 с.

2 Джапарова, А. М. Аналитическая оценка состояния орошения и водоснабжения в сельских регионах Крыма / А. М. Джапарова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 171–177.

3 Современное состояние и перспективы развития капельного орошения в РК / Э. Э. Сейтумеров, В. И. Кременской, Т. О. Вислобокова, С. В. Подовалова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 2(58). – С. 120–126.

4 Боровой, Е. П. Капельное орошение как основа развития плодоводства на юге Российской Федерации / Е. П. Боровой, В. И. Кременской, Н. М. Иванютин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 4(44). – С. 246–255.

5 Костяков, А. Н. Основы мелиораций / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 621 с.

6 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: монография / О. Е. Ясониди; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2001. – 322 с.

7 Сенчуков, Г. А. Водопотребность сельскохозяйственных культур при капельном орошении / Г. А. Сенчуков, И. В. Новикова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2013. – № 4(12). – С. 93–108. – Режим доступа: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec213-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec213-field6.pdf).

8 Сторчоус, В. В. Капельное орошение – резерв экономии воды при выращивании винограда, плодовых и овощных культур в Крыму / В. М. Сторчоус // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки. – 2014. – № 161. – С. 123–129.

УДК 626.82:626.86

**А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

#### **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

*Целью исследований являлся обзор и анализ существующих конструкций осушительных систем двустороннего действия (осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных, водооборотных) и установление основных направлений их совершенствования. Рассмотрены главные положения о мелиоративных системах с двусторонним регулированием водного режима. Приведены основные существующие схемы осушительных систем двустороннего действия. Проведенный анализ выявил главные пути совершенствования данных систем: применение принципа водооборотности для аккумуляции и дальнейшего использования дренажного и поверхностного стока, использование принципа блочности (модульности), повышение энергоэффективности (применение дренажно-сбросного стока на нижних ярусах без использования*

насосных станций), применение устройств и способов регулирования уровня воды в водоприемнике, использование дождевания как основного способа орошения.

*Ключевые слова:* осушение, увлажнение, орошение, осушительно-увлажнительная система, осушительно-оросительная система, водооборотная система.

\*\*\*\*\*

**A. L. Kozhanov, O. V. Voevodin**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

### **ANALYSIS OF BILATERAL RECLAMATION SYSTEMS CONSTRUCTIONS AND MAIN WAYS OF IMPROVEMENT**

*The purpose of the research was to review and analyze the existing design of drainage systems of bilateral action (drainage-humidifying, drainage-irrigation, water-rotation) and to determine the principal directions for their improvement. The main concepts on reclamation systems with bilateral water management are considered. The main existing schemes of drainage systems of bilateral action are given. The basic ways to improve these systems are highlighted by the given analyses: the application of the water rotation principle for accumulation and further use of drainage and surface runoff, the application of the block (modularity) principle, the increasing of energy efficiency (the application of drainage-discharge flow in ground layers without pumping stations), the application of devices and methods regulating water level in water intake, the use of irrigation as the main method of irrigation.*

*Key words:* drainage, moistening, irrigation, drainage-humidifying system, drainage-irrigation system, water-rotation system.

**Введение.** Значительная часть земель сельхозназначения России характеризуется превышением количества атмосферных осадков над испарением, что в свою очередь влияет на расстановку приоритетов при выборе водных мелиораций в сторону осушения. К тому же на данных территориях во время вегетации сельскохозяйственных культур наблюдаются засушливые периоды, что указывает на необходимость применения мелиоративных систем с двусторонним регулированием водного режима [1].

Также согласно Б. С. Маслову, А. И. Голованову и др. одной из проблем мелиорации является осушение переувлажненных земель для повышения эффективности их использования, тем не менее одного осушения для использования болот и переувлажненных земель часто недостаточно. В этих зонах также в настоящее время бывают засушливые периоды продолжительностью от 10 до 40 сут и более, во время которых необходимо увлажнение (орошение), для этого вместо осушительных систем строят системы двустороннего действия [2–5].

**Материалы и методы.** Источниками научного исследования являлись известные конструкции осушительных систем двустороннего действия (осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных, водооборотных) по материалам В. Н. Щедрина, С. М. Васильева, Б. С. Маслова, А. И. Голованова, И. В. Минаева, В. Ф. Шебеко, В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, П. И. Пыленка, В. В. Бородычева, В. Ф. Карловского, Л. С. Шкабарова и др. В ходе анализа осушительных систем двустороннего действия использовались аналитический, сравнительный и логический методы.

**Результаты и обсуждение.** Согласно В. Н. Щедрину, С. М. Васильеву, А. В. Колганову, К. Б. Шумаковой, Н. Н. Дубенку, П. А. Волковскому, А. А. Розову, З. Я. Светличной с целью двустороннего регулирования водного режима почв предусматриваются различные методы и способы увлажнения (орошения) осушаемых земель [6–11] с применением осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем (систем двустороннего действия).

В соответствии с высказываниями таких ученых, как П. И. Пыленок, И. В. Си-

доров, А. В. Ситников, А. С. Кузьмичева, водооборотный мелиоративный цикл включает в себя три этапа: осушение, накопление дренажных вод, увлажнение – и является замкнутым [12].

П. И. Пыленок, И. В. Сидоров, А. М. Гавриков и С. Я. Безднина отмечают, что одной из актуальных научно-практических проблем современной мелиорации является утилизация дренажных вод в составе водооборотных технологий [13, 14].

В совмещенных системах закрытые коллекторы осушительной сети применяют как распределители для подачи воды на орошение. В таких системах дренажные коллекторы во время излишка влаги действуют как осушительные, отводя воду в транспортирующую сеть, а в засушливые фазы – как увлажнительные: насосной станцией вода по каналам подается в закрытые коллекторы-распределители, а из них через открытые смотровые колодцы подается в дрены или собирается дождевальными машинами [15–17].

К водооборотным мелиоративным системам следует относить осушительно-увлажнительные, в которых дренажный сток полностью или частично аккумулируется в бассейнах регулирования (прудах) и в засушливые периоды используется для орошения осушенных земель.

В. Н. Зинковский и Т. С. Зинковская [1] отмечают, что для условий гумидной зоны необходимо рассматривать следующие системы двустороннего регулирования водного режима:

- осушительно-увлажнительную – необходимо использовать на площадях с малым уклоном и закрытой дренажной сетью, выполняющей две функции: сброс и обратную подачу оросительной воды в дрены при поднятии ее уровня в водоприемнике;
- осушительно-оросительную – более перспективную, в которой на дренажную сеть накладывается система дождевания [1].

Выбор блоков конструктивных элементов энергосберегающих осушительных систем двустороннего действия и их компоновка зависят от природно-климатических, гидрогеологических, почвенных, геоморфологических условий, качества и объема дренажного стока, выращиваемых культур (оросительная норма), наличия водоисточника или использования только вод дренажного стока для орошения мелиоративного участка, расположения водоисточника и осушаемого массива, использования насосной станции, способа орошения и других различных факторов.

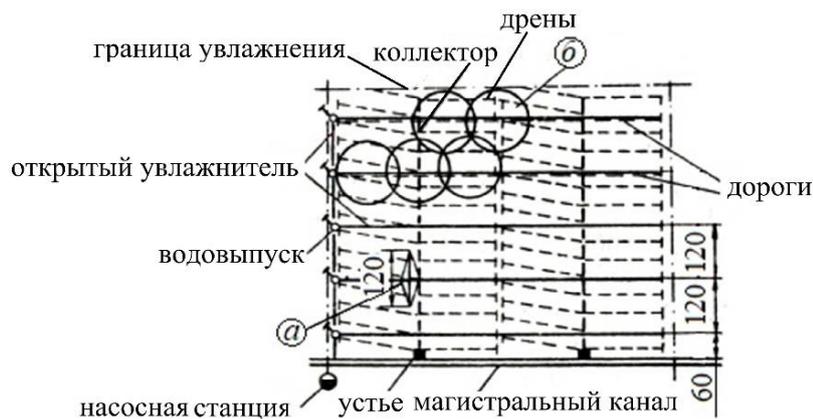
Конструкция осушительно-увлажнительных систем с использованием систем дождевания обуславливается рельефом местности, площадью и формой полей, несущей и впитывающей способностью почвы, характером использования земель и видом оросительной техники [18].

В настоящее время существуют и проектируются осушительные системы двустороннего действия (осушительно-увлажнительные и осушительно-оросительные) для различных условий, известные разработки которых будут рассмотрены далее.

По утверждению Б. С. Маслова, Е. П. Панова, Е. И. Кормыша, А. И. Голованова, И. В. Минаева, В. Ф. Шебеко, Ц. Н. Шкинкиса и др. [18], увлажнение осушаемых земель при использовании дождевальных машин ДДА-100М, ДДА-100МА и ДДН-100 преимущественно на минеральных землях, обеспечивающих хорошую проходимость устройств. Схема такой сети приведена на рисунке 1.

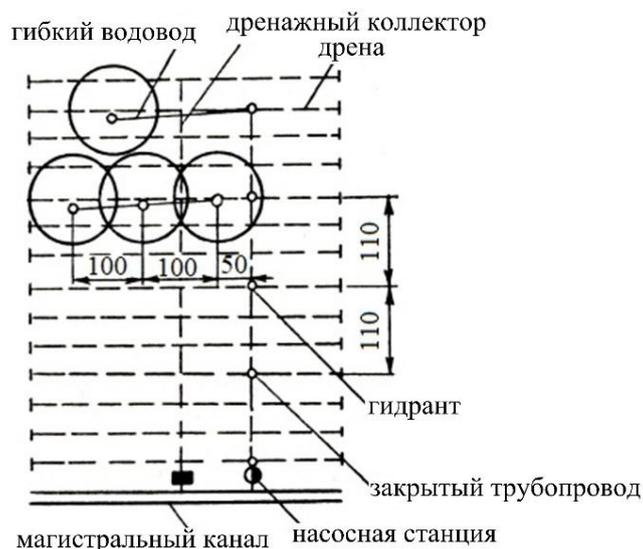
Осушительно-увлажнительные системы, на которых осушительная и оросительная сети реализованы закрытыми, являются наиболее перспективными [18]. На этих системах КЗИ приближается к единице, участки хорошо приспособлены к механизированной обработке, потери воды минимальны. Схема такой сети приведена на рисунке 2.

Основным недостатком данных систем является невозможность накопления и аккумуляирования дренажного и поверхностного стока (сброс в магистральный канал и далее в водоприемник), который можно было бы использовать для дальнейшего орошения при необходимости после его очистки и доведения до нормативных значений.



*a* – орошение дождевальными машинами ДДА-100М, ДДА-100МА;  
*б* – орошение дождевальной машиной ДДН-100

**Рисунок 1 – Схема осушительно-увлажнительной системы при осушении закрытым дренажом и орошении дождевальными машинами [18]**

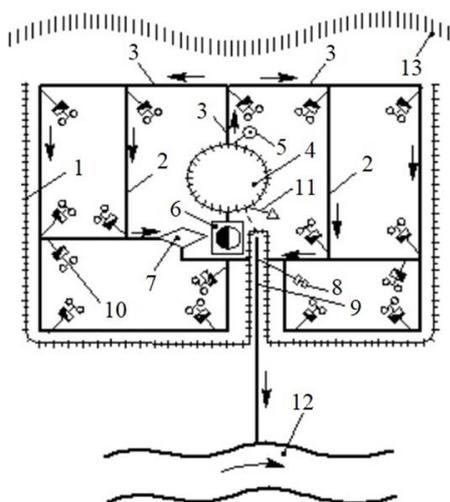


**Рисунок 2 – Схема полустационарной осушительно-увлажнительной системы с применением гибких водоводов при поливе машиной ДДН-70 [18]**

Схема водооборотной системы согласно ТКП 45-3.04-8-2005 [19] приведена на рисунке 3. Данная система позволяет накапливать дренажный сток для дальнейшего использования, но недостатком ее является большое количество открытых каналов.

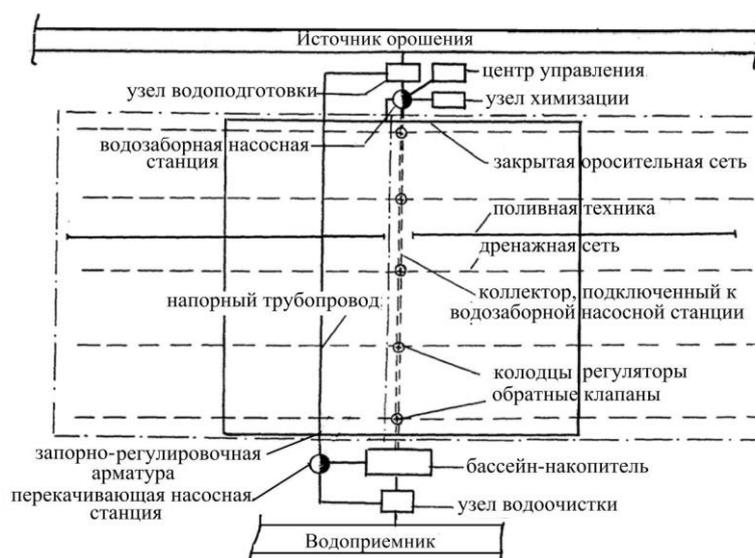
Схема гидромелиоративной системы по патенту РФ № 2163068 [20] приведена на рисунке 4. В данной системе сформировавшиеся дренажно-сбросные воды отводятся через дренажную сеть в бассейн-накопитель, из него через узел водоочистки сбрасываются в водоприемник, также данные дренажно-сбросные воды могут применяться повторно для дальнейшего орошения путем подачи перекачивающей насосной станцией. Поэтому схема данной системы применима для осушительно-оросительных мелиораций в составе осушительных систем двустороннего действия. Недостатком данной системы является наличие двух насосных станций, что указывает на большее энергопотребление, а также не предусмотрено орошение нижних ярусов без применения насосной станции.

Схема осушительно-увлажнительной мелиоративной системы по патенту № 2233075 [21] приведена на рисунке 5, она представляет собой модульную полуводооборотную осушительно-увлажнительную систему.

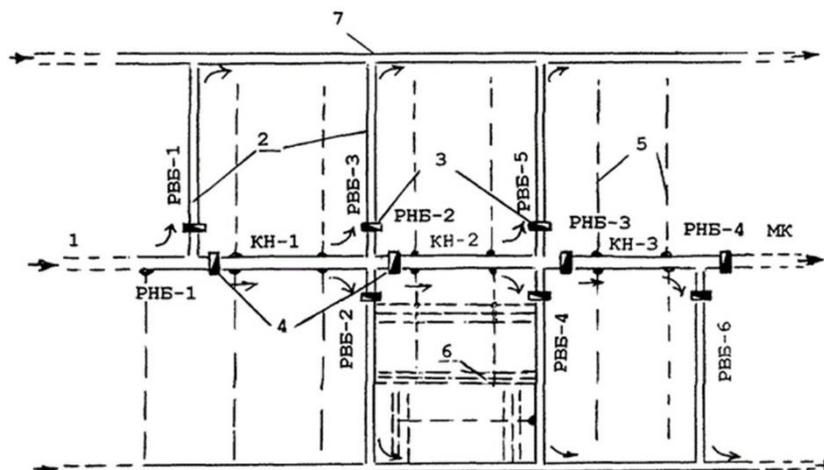


- 1 – оградительная дамба; 2 – магистральные каналы; 3 – водопроводящие каналы;  
 4 – наливное водохранилище;  
 5 – водовыпуск; 6 – насосная станция;  
 7 – регулирующий бассейн; 8 – дюкер;  
 9 – водосбросной канал; 10 – подпорные сооружения; 11 – водосброс;  
 12 – водоприемник; 13 – надпойменная терраса

**Рисунок 3 – Схема водооборотной системы [19]**



**Рисунок 4 – Гидромелиоративная система [20]**

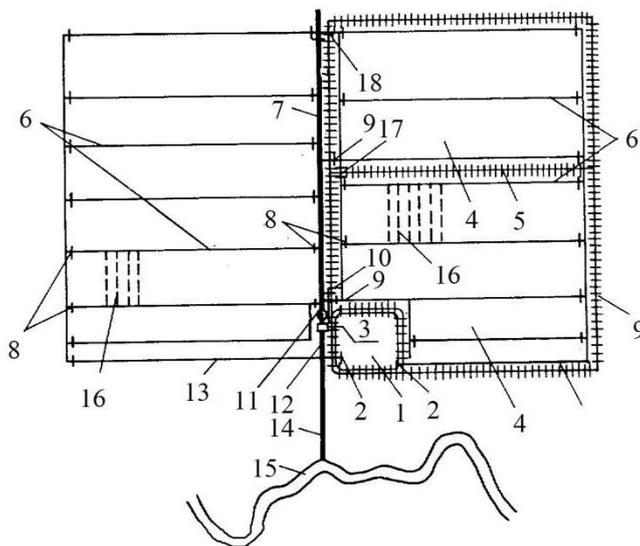


- 1 – часть магистрального канала; 2 – отводные каналы (выполняющие одновременно роль открытых коллекторов второго порядка); 3 – регуляторы уровня верхнего бьефа;  
 4 – регуляторы уровня нижнего бьефа; 5 – закрытые коллекторы; 6 – закрытый осушительно-увлажнительный дренаж; 7 – нагорно-ловчий канал

**Рисунок 5 – Модульная полуводооборотная осушительно-увлажнительная мелиоративная система [21]**

Данная система модульного типа включает мелиоративные модули из приведенных на рисунке элементов системы и позволяет сбросные дренажные воды вышерасположенного модуля гидромелиоративной системы повторно применять для орошения осушаемых почв нижерасположенного модуля без устройства прудов-накопителей и применения водоподъемного насосно-силового оборудования.

Схема осушительно-увлажнительной системы по а. с. № 1355664 [22] приведена на рисунке 6.



- 1 – пруд-накопитель; 2 – водовыпуски на увлажнение; 3 – водовыпуск; 4 – участки временного аккумуляции; 5 – дамбы; 6 – коллекторы; 7 – регулирующий канал; 8 – регулирующие подпорные сооружения; 9 – водовыпуски; 10 – трубопровод; 11 – насосная станция; 12 – камера переключения; 13 – увлажнительные водопроводящие каналы; 14 – сбросной канал; 15 – водоприемник; 16 – осушительно-увлажнительная сеть; 17 – подпорное сооружение двустороннего действия; 18 – водовыпуск

**Рисунок 6 – Осушительно-увлажнительная система [22]**

В период весеннего половодья данная система позволяет сток воды накапливать посредством насосной станции в пруду-накопителе и на участках сезонного аккумуляции до заданного их наполнения. Объем стока, превышающий необходимый, сбрасывается по сбросному каналу в водоприемник. В дальнейшем эти воды можно использовать для орошения сельскохозяйственных культур. Опорожнение участков сезонного (временного) аккумуляции можно реализовывать в различные периоды, а их земли использовать под сельскохозяйственные культуры разных сроков посева [15].

**Выводы.** Проведенный анализ существующих конструкций осушительных систем двустороннего действия (осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных, водооборотных), основные из которых приведены в настоящей статье, их достоинств и недостатков выявил основные пути совершенствования таких систем (при разработке конструкций осушительных систем двустороннего действия могут использоваться как все, так и некоторые из приведенных путей совершенствования):

- применение принципа водооборотности для аккумуляции и дальнейшего использования дренажного и поверхностного стока;
- использование принципа блочности (модульности);
- повышение энергоэффективности (использование дренажно-сбросного стока на нижних ярусах без применения насосных станций);
- использование устройств и способов регулирования уровня воды в водоприемнике;
- применение дождевания как основного способа орошения.

**Список использованных источников**

- 1 Зинковский, В. Н. Технологические возможности регулирования среды возделывания культур в системах земледелия с использованием комплекса мелиораций / В. Н. Зинковский, Т. С. Зинковская // Мелиорация: этапы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-произв. конф. – М.: ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2006. – С. 151–159.
- 2 Потребность в увлажнении осушаемых земель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mse-online.ru/osushitelnye-melioracii/potrebnost-v-uvlazhnenii-osushaemykh-zemel.html>, 2018.
- 3 Сельскохозяйственная мелиорация / Б. С. Маслов и [др.]; под ред. Б. С. Маслова. – М.: Колос, 1984. – 511 с.
- 4 Мелиорация земель / А. И. Голованов [и др.]; под ред. А. И. Голованова. – М.: Колос, 2011. – 824 с.
- 5 Мелиоративное земледелие / А. И. Голованов [и др.]; под ред. А. И. Голованова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 328 с.
- 6 Оросительные системы России: от поколения к поколению. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 307 с.
- 7 Шумакова, К. Б. Система двустороннего регулирования водного режима: учеб.-метод. пособие / К. Б. Шумакова; РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2010. – 90 с.
- 8 Биленко, В. А. Автоматизация регулирования уровня грунтовых вод на осушительно-увлажнительных системах средствами гидроавтоматики [Электронный ресурс] / В. А. Биленко, А. С. Штучкина. – Режим доступа: <http://disus.ru/konferencii/368832-9-ministerstvo-selskogo-hozyaystva-prodovolstviya-respubliki-belarus-glavnoe-upravlenie-obrazovaniya-nauki-kadrov-belorus.php>, 2018.
- 9 Проектирование системы двустороннего регулирования водного режима / Н. Н. Дубенок [и др.]; под ред. Н. Н. Дубенка. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2010. – 71 с.
- 10 Осушительно-оросительная система: метод. указания / П. А. Волковский, А. А. Розова, З. Я. Светличная, Н. Н. Дубенок. – М., 1990. – 53 с.
- 11 Шумакова, К. Б. Осушительно-оросительная система / К. Б. Шумакова. – М.: МСХА, 2005. – 111 с.
- 12 Эффективность природоохранных технологий комплексной мелиорации аллювиальных почв / П. И. Пыленок, И. В. Сидоров, А. В. Ситников, А. С. Кузьмичева // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования: материалы юбилейн. междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения). – М.: ВНИИА, 2007. – Т. 2. – С. 169–174.
- 13 Пыленок, П. И. Оценка площади увлажнения осушаемых земель дренажным стоком / П. И. Пыленок, И. В. Сидоров, А. М. Гавриков // Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2009. – Т. 2. – С. 147–151.
- 14 Безднина, С. Я. Технологическая схема замкнутых систем водопользования в мелиорации / С. Я. Безднина, Е. В. Овчинникова // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования: материалы юбилейн. междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения). – М.: ВНИИА, 2007. – Т. 2. – С. 93–98.
- 15 Печенина, В. С. Технологические схемы регулирования водного режима переувлажненных минеральных и торфяных почв / В. С. Печенина, Е. В. Носова // Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2009. – Т. 2. – С. 132–143.
- 16 Печенина, В. С. Конструкции осушительных систем / В. С. Печенина, Е. В. Но-

сова // Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования: сб. ст. – М.: Россельхозакадемия, 2006. – С. 393–411.

17 Печенина, В. С. Технология глубокого рыхления с внесением химвелиорантов на осушаемых землях / В. С. Печенина, Е. В. Носова // Мелиорация: этапы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-произв. конф. – М.: ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2006. – С. 123–131.

18 Мелиорация и водное хозяйство. Осушение: справочник / Б. С. Маслов [и др.]; под ред. Б. С. Маслова. – М.: Ассоциация ЭкоСт, 2001. – 606 с.

19 Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования: ТКП 45-3.04-8-2005 (02250): утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 24.12.14: введ. в действие с 01.11.05. – Минск: Минстройархитектура, 2006. – 120 с.

20 Пат. 2163068 Российская Федерация, МПК(7) А 01 G 25/06, Е 02 В 11/00. Гидромелиоративная система / Ольгаренко В. И., Колганов А. В., Ольгаренко Г. В., Лисконов А. А.; заявитель и патентообладатель Первич. орг. изобретателей и рационализаторов «Мелиоратор». – № 98111464/13; заявл. 15.06.98; опубл. 20.02.01. – 3 с.

21 Пат. 2233075 Российская Федерация, МПК(7) А 01 G 25/00. Осушительно-увлажнительная мелиоративная система / Пыленок П. И., Бородычѳв В. В., Салдаев А. М.; заявитель и патентообладатель ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова. – № 2003104219/12; заявл. 12.02.03; опубл. 27.07.04, Бюл. № 21. – 4 с.

22 А. с. 1355664 СССР, МПК(7) Е 02 В 11/00. Осушительно-увлажнительная система / В. Ф. Карловский, Л. С. Шкабаро, Ю. М. Корчоха, А. П. Русецкий, Н. Д. Станкевич. – № 3867363/30-15; заявл. 19.03.85; опубл. 30.11.87, Бюл. № 44. – 2 с.

УДК 631.62

**М. А. Бандурин, В. А. Волосухин**

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

### **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПОГОДНЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

*В публикации представлены результаты создания новых систем перманентного контроля длительно используемых гидротехнических конструкций. Цель разработки автоматизированного способа многофакторной диагностики технического состояния гидротехнических конструкций – оценка в условиях непосредственного функционирования их работоспособности методами неразрушающего приборного контроля, определение ресурса устойчивости ответственных элементов и установление степени безопасности для принятия решения о возможности использования объекта сверх нормативного периода. Положительные результаты этих оценок – основа для подготовки конструкции к продолжению работы.*

*Ключевые слова: гидротехнические сооружения, использование, погодные и сейсмические факторы, диагностика, эффективность, устойчивость, работоспособность.*

\*\*\*\*\*

**M. A. Bandurin, V. A. Voloshukhin**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

### **WAYS OF IMPROVING THE HYDRAULIC STRUCTURES' EFFECIENCY AND STABILITY BY LONG-TERM USE UNDER THE CONDITIONS OF CHANGING WEATHER AND SEISMIC FACTORS**

*The results of the development of new systems for monitoring long-used hydraulic structures are presented. The purpose of developing an automated method for hydraulic structures technical condition multiple diagnostics is the assessment of their performance capability by methods of nondestructive instrument control under the conditions of their run time, determining the stability resource of critical components and determining the degree of safety for decision making on possibility of facility usage beyond the regulatory period. The positive results of these assessments are the basis for preparing the structure for the work proceeding.*

*Key words: hydraulic structures, usage, weather and seismic factors, diagnostics, efficiency, stability, performance capability.*

Статические водные резервы РФ оцениваются в объеме 88,9 тыс. км<sup>3</sup> пресной воды, из них значимая доля представлена подземными водами, водой озер и ледников. В среднем возобновление водных резервов, по последним оценкам, составляет около 4258,6 км<sup>3</sup>/год. При этом на максимально обжитые регионы европейской части РФ, где насчитывается до 80 % населения и производственных возможностей, приходится менее 10–15 %.

Различия в наличии резервов воды для использования по субъектам РФ еще существеннее. Максимальный объем суммарных водных резервов приходится на Красноярский край (930 км<sup>3</sup>/год) и Республику Саха (Якутия) (959 км<sup>3</sup>/год), минимум – на республики Крым, Калмыкию, Ингушетию и Белгородскую, Курганскую и Курскую области, в которых водные резервы представлены объемами от 0,83 до 3,8 км<sup>3</sup>/год соответственно [1].

В настоящее время проблемы водного фонда существенно обострились в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на водные объекты в условиях изменяющихся погодных и сейсмических факторов и реформированием форм собственности гидротехнических сооружений (ГТС). Как правило, новые собственники неохотно вкладывают средства в развитие, повышение надежности и безопасность водохозяйственного комплекса. В максимально заселенных регионах страны не осталось крупных рек, не перегруженных хозяйственной деятельностью, причем как на водосборах, так и в руслах самих рек [2].

В материалах Водного кадастра РФ за 2014 г. («Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество») отмечается стабильное значимое снижение общего резерва потребляемой воды на юге РФ. В целом по Южному ФО снижение водных резервов по сравнению с их средним многолетним значением достигает 17,2 % против 6,5 % в 2014 г. [3].

По данным мелиоративного кадастра, в РФ эксплуатируется более 150 тыс. км водопроводящих ГТС, созданных в 50–70 гг. XX столетия. Согласно результатам визуальной инвентаризации, выполненной территориальными ФГБУ по мелиорации земель по поручению Депмелиорации Минсельхоза России, около трети конструкций требуют восстановления, так как при проектном сроке их использования порядка 25–30 лет большинство сооружений превысили свой норматив функционирования. Увеличение срока использования конструкции приводит к снижению надежности и безопасности объекта водохозяйственного комплекса [4]. Техническое состояние конструкций, функционирующих более 25 лет, независимо от их плановой оценки, необходимо один раз в 5 лет изучать комплексно с анализом прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности сооружения.

Целью многофакторного обследования ГТС является оценка фактического технического состояния, определение остаточного ресурса работоспособности их элементов, а также установление дефицита безопасности объекта обследования для оценки возможности продолжения его эксплуатации сверх назначенного (или 25-летнего нормативного) срока. Результаты многофакторного обследования являются основанием для подготовки сооружения к продлению срока эксплуатации.

Общее количество поднадзорных Ростехнадзору ГТС водохозяйственного комплекса 28552, из них 3496 бесхозных сооружений. В ведении Минсельхоза РФ в составе мелиоративно-водохозяйственного комплекса федеральной собственности находится более 60 тыс. различных ГТС, в т. ч. более 50 тыс. км водопроводящих и сбросных каналов и 5,3 тыс. км трубопроводов [5].

Знание фактического ресурса работоспособности функционирующих ГТС позволяет прогнозировать безопасный срок их дальнейшей эксплуатации с учетом конкретных, соответствующих реальной ситуации ограничений в использовании, а также принимать решения о необходимости ремонта, реконструкции ГТС в целом или части его элементов и ликвидации объекта [6]. Эффективным фактором, определяющим ресурс работоспособности системы, является надежность ее элементов, которая обеспечивает безотказность работы в течение определенного срока эксплуатации. Надежность и безотказность работы конструкции в целом определяется из условия, что ее элементы находятся в работоспособном состоянии или состоянии отказа [7].

Опыт эксплуатации мелиоративного водохозяйственного комплекса РФ настоящего времени показывает, что половина ГТС нуждается в восстановлении, реконструкции или замене, так как проектный срок их эксплуатации исчерпан и составляет более 30 лет.

В свою очередь, данные статистической оценки надежности ГТС свидетельствуют, что продление срока их использования сверх нормативного без выполнения необходимых процедур технической эксплуатации чревато катастрофическим ростом отказов, обусловленных износом конструктивных элементов. Вместе с тем для части ГТС возможно функционирование по истечении нормативного срока эксплуатации при должном контроле и учете резервов их надежности и экологической безопасности, а также в условиях изменяющихся погодных и сейсмических факторов. В связи с этим обследование ГТС для достоверной многофакторной диагностики фактического технического состояния сооружений и определения остаточного ресурса работоспособности их элементов становится приоритетной задачей службы эксплуатации мелиоративного водохозяйственного комплекса [8].

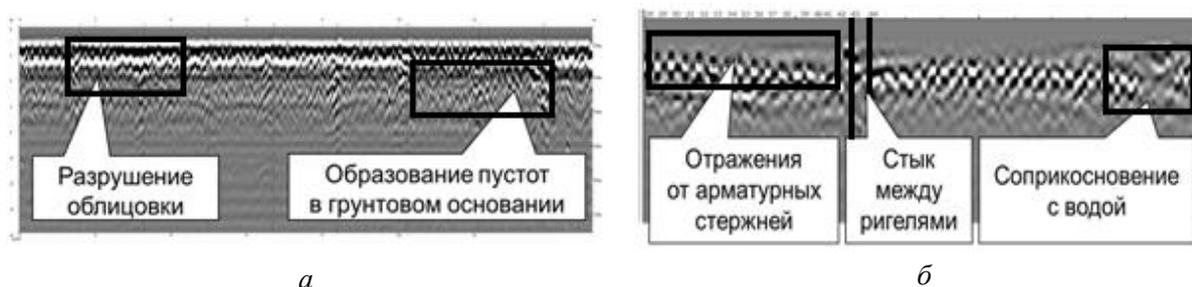
Практикующиеся в настоящее время методы и способы анализа и оценки технического состояния ГТС в большей мере основаны на визуальном контроле [9] и методах разрушающего ударного воздействия, не обеспечивающих необходимую достоверность определения фактической надежности и возможности продолжения эксплуатации обследуемых объектов. Это определяет актуальность исследования, создания и внедрения теоретически обоснованной системы технической диагностики ГТС, базирующейся на результатах оценки допустимого срока продолжения их функционирования с учетом остаточного ресурса работоспособности [10].

Результаты натурных исследований функционирующих сооружений позволили выявить характерные повреждения и выполнить распределение выявленных дефектов по группам и зонам [11]. Отмечено снижение разрушающего воздействия водной среды на железобетонные элементы функционирующих ГТС при отсутствии абразивного воздействия и минимизации смены циклов морозостойкости.

Натурные исследования технического состояния ГТС методами неразрушающего контроля включали съемку радарограммы сооружений в земляном русле, с бетонопленочной и бетонной облицовкой (рисунок 1) и измерение прочности бетонных покрытий [12].

Георадиолокационное зондирование проводилось в соответствии с выявленным характерным местоположением дефектов и повреждений, по профилям, обеспечивающим максимальное покрытие дефектов съемкой [13]. Объединенное использование различных приборов неразрушающего контроля при инструментальном выявлении скрытых дефектов повышает достоверность информации о реальном состоянии ГТС

без нарушения их целостности. В представленных исследованиях с помощью георадара устанавливались дефекты и повреждения, скрытые в толще сооружения или под ним, а электронным измерителем определялись прочностные характеристики в местах образования скрытых дефектов и повреждений сооружения.



*а* – разрушение бетонного покрытия с образованием пустот в грунтовом основании;  
*б* – смещение арматурных стержней и просадка грунтового основания

### Рисунок 1 – Фрагменты радарограмм

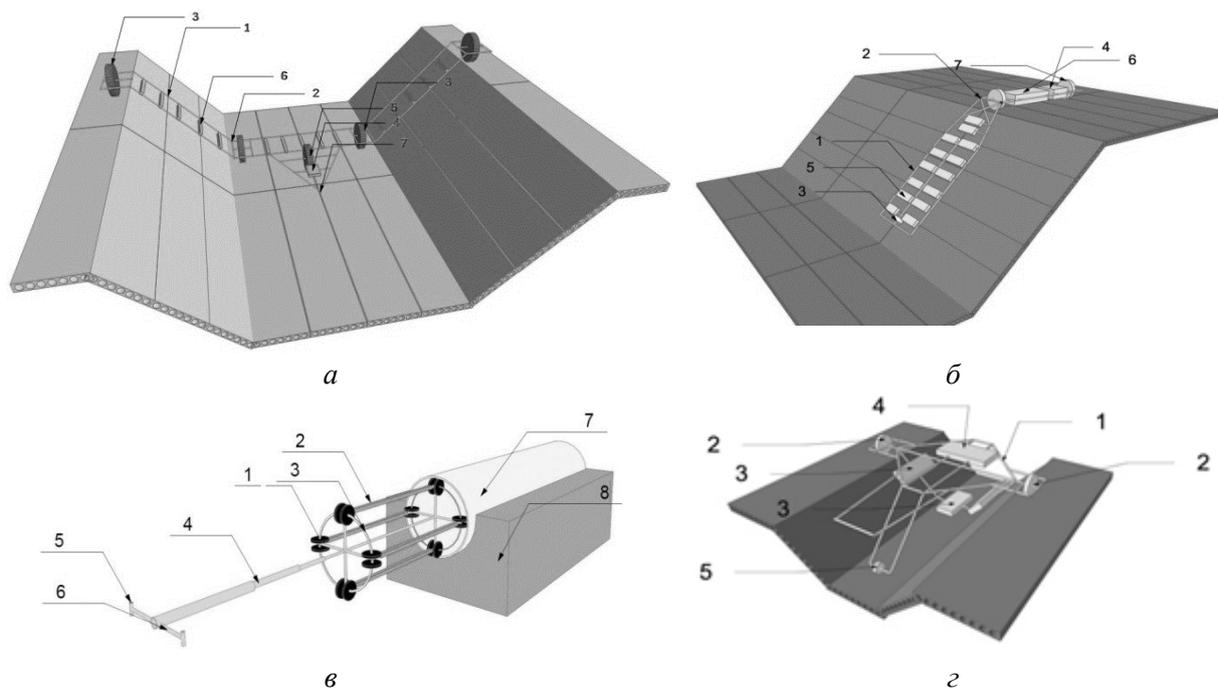
**Мониторинг технического состояния и оценка остаточного ресурса работоспособности ГТС.** В соответствии с требованиями сферы использования сформулированы принципы проведения мониторинга технического состояния и оценки остаточного ресурса работоспособности ГТС, учитывающие результаты анализа методических подходов [14] в различных областях знания. Реализованы принципы целостности, оперативности, соответствия целей мониторинга средствам его реализации, прогностичности и полноты [15].

Для проведения мониторинга технического состояния ГТС создан программно-технический комплекс, выявляющий дефекты элементов сооружения и подстилающего грунтового основания, а также характеризующий местонахождение и интенсивность неисправностей каждого элемента сооружения акустическим и георадиолокационным способами неразрушающего приборного контроля. При этом выполняется оценка надежности элементов сооружения в отношении истирания, выщелачивания, фильтрации; показателей морозостойкости и водостойкости, устанавливается объем повреждений и остаточный ресурс работоспособности сооружения на основании системного анализа параметров, формирующих надежность сооружений [16].

В общем виде техническая часть комплекса для определения дефектов ГТС представлена станиной, оснащенной средствами передвижения, позиционирования на местности, приема и обработки сигналов с антенн подповерхностного зондирования. В зависимости от геометрических характеристик сооружения и местоположения элемента выбирается конструктивное решение для станины, представленное четырьмя схемами конструкций (рисунок 2).

Эффективность реализации технического комплекса диагностики ГТС гарантируется высокой достоверностью полученных результатов благодаря использованию новых усовершенствованных средств получения информации, обеспечивающих своевременное обнаружение неисправностей и точность диагностики. Внедрение комплекса в практику эксплуатации оросительных систем развивает функциональные возможности традиционных методов диагностики ГТС, позволяя установить, наряду с неисправностями сооружения, разуплотнение и просадку грунтового основания. Возможность перемещения технического комплекса по длине сооружения сокращает затраты времени на проведение обследования в 3–5 раз [17].

Разработанное средство контроля и оценки технического состояния ГТС автоматизирует процессы распознавания и оценки, обеспечивая сбор, систематизацию, обработку, интерпретацию исходной информации и выдачу результирующих отчетов.



*а* – техническая часть схемы № 1 для проведения диагностики межхозяйственных каналов:

1 – станина; 2 – соединение фрагментов станины; 3 – колеса; 4 – модуль обработки;  
5 – датчик движения; 6 – антенны; 7 – движитель;

*б* – техническая часть схемы № 2 для проведения диагностики магистральных каналов:

1 – станина; 2 – соединение фрагментов станины; 3 – колеса; 4 – модуль обработки;  
5 – датчик движения; 6 – антенны; 7 – движитель;

*в* – техническая часть схемы № 3 для проведения диагностики трубопроводов, дюкеров, туннелей: 1 – колеса; 2 – антенны; 3 – станина; 4 – датчик движения;

5 – телескопическая рейка; 6 – крепеж; 7 – сооружение; 8 – грунт;

*г* – техническая часть схемы № 4 для проведения диагностики лотковых и внутрихозяйственных каналов: 1 – станина; 2 – колеса; 3 – антенны;

4 – модуль обработки; 5 – датчик движения

## Рисунок 2 – Программно-технический комплекс

Мониторинг ГТС включает следующие этапы [18]: рекогносцировочный осмотр обследуемого объекта; подготовка технической части комплекса к работе; сбор исходных данных о состоянии объекта на всей протяженности обследуемого участка; детальная расшифровка полученных данных и позиционирование дефектов и повреждений с помощью навигационной системы ГЛОНАСС; автоматическая запись в модуль обработки показателей дефектов и повреждений сооружения по признакам: зона сооружения, диаметр, глубина, фактическая прочность бетона, месторасположение; расчет количества и объема повреждений, установление программными средствами предполагаемых мест фильтрации воды через сооружение; определение опасного для дальнейшей эксплуатации сооружения объема повреждений и остаточного ресурса эксплуатационной надежности сооружения в сравнении с предыдущими обследованиями [19, 20]; автоматическое формирование отчета о состоянии работоспособности сооружения.

### Выводы

1 Анализ технического состояния мелиоративного водохозяйственного комплекса юга России выявил нерешенные проблемы его функционирования и эксплуатации в условиях изменяющихся погодных и сейсмических факторов. Проблемы связаны в первую очередь с ограниченностью средств, которые выделяются для комплексной оценки факторов, оказывающих влияние на надежность и безопасность сооружений, и низким уровнем квалификации персонала службы эксплуатации.

2 Качественный мониторинг ГТС позволяет оценить изменение напряженно-деформированного состояния его элементов во времени при различных сочетаниях нагрузок, что необходимо для планирования мероприятий технической эксплуатации объектов, в условиях изменяющихся погодных и сейсмических факторов.

3 Национальный стандарт ГОСТ Р 22.1.12-2005 позволяет сформулировать основные требования к постоянному мониторингу ГТС.

4 Государственный водный реестр, ведение которого выполняется в соответствии со ст. 31 Водного кодекса РФ, Постановлением Правительства РФ от 28.04.2007 № 253 «О порядке ведения государственного водного реестра», Приказом МПР России от 16.07.2007 № 186 «Об утверждении Правил внесения сведений в государственный водный реестр», Приказом МПР России от 29.05.2007 № 138 «Об утверждении формы государственного водного реестра», обеспечивает формирование основных требований к эксплуатационному мониторингу ГТС.

#### Список использованных источников

1 Дубенок, Н. Н. Состояние и перспективы водообеспечения Республики Крым / Н. Н. Дубенок, В. И. Ляшевский // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 8–11.

2 Yurchenko, I. F. Automatization of water distribution control for irrigation / I. F. Yurchenko // International Journal of Advanced and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 4(2). – P. 72–77.

3 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.

4 Юрченко, И. Ф. Методологические основы создания информационной системы управления водопользованием на орошении / И. Ф. Юрченко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2017. – № 1. – С. 13–17.

5 Волосухин, В. А. Программно-технический комплекс для проведения мониторинга и определения остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 57–68.

6 Пат. 2458204 Российская Федерация, МПК Е 02 В 13/00. Устройство для проведения эксплуатационного мониторинга водопроводящих сооружений / Волосухин В. А., Волосухин Я. В., Бандурин М. А., Бандурин В. А.; патентообладатель ИБГТС. – № 2010111995/13; заявл. 29.03.10; опубл. 10.08.12, Бюл. № 22. – 8 с.

7 Пат. 2368730 Российская Федерация, МПК Е 02 В 13/00. Способ проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния лотковых каналов оросительных систем / Бандурин М. А., Волосухин В. А.; патентообладатель Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – № 2008100926/03; заявл. 09.01.08; опубл. 27.09.09, Бюл. № 27.

8 Пат. 2408761 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16, Е 02 В 5/02. Способ и устройство создания противофильтрационного покрытия оросительных каналов / Бандурин М. А., Волосухин В. А., Ковшевацкий В. Б., Бандурин В. А., Волосухин Я. В.; патентообладатель Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – № 2009112150/21; заявл. 01.04.09; опубл. 10.01.11, Бюл. № 1. – 5 с.

9 Пат. 2364681 Российская Федерация, МПК Е 02 В 13/00. Устройство для диагностики и прогнозирования технического состояния лотковых каналов оросительных систем / Бандурин М. А., Волосухин В. А., Шестаков А. В.; патентообладатель Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – № 2007142799/03; заявл. 19.11.07; опубл. 20.08.09, Бюл. № 23. – 5 с.

10 Бандурин, М. А. Применение систем управления базами данных при эксплуа-

тационном мониторинге водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 12, ч. 1. – С. 24–28.

11 Пат. 63816 Российская Федерация, МПК Е 02 В 13/00. Устройство для заделки стыкового соединения лотковых каналов / Волосухин В. А., Бандурин М. А., Бандурин В. А.; патентообладатель Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – № 2007103419/22; заявл. 29.01.2007; опубл. 10.06.2007. – Бюл. № 16.

12 Бандурин, М. А. Автоматизация мониторинга ливнеотводящих сооружений на водопроводящих каналах Ставропольского края / М. А. Бандурин, И. П. Бандурин // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2015. – Т. 35, № 2, ч. 1. – С. 37. – Режим доступа: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_24\\_bandurin.pdf\\_d8f4c65d4e.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_24_bandurin.pdf_d8f4c65d4e.pdf).

13 Бандурин, М. А. Мониторинг сооружений водного хозяйства / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин // Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы / Правительство Рост. обл., М-во сел. хоз-ва и продовольствия, ФГБОУ ВПО «АЧГАА». – 2012. – С. 98–101.

14 Бандурин, М. А. Численное моделирование объемного противотракторного геотекстильного покрытия с изменяемой высотой ребра / М. А. Бандурин, В. А. Бандурин // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2013. – Т. 27, № 4. – С. 46. – Режим доступа: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_15A\\_bandurin.pdf\\_1911.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_15A_bandurin.pdf_1911.pdf).

15 Бандурин, М. А. Методы моделирования напряженно-деформированного состояния для определения остаточного ресурса железобетонного консольного водосброса при различных граничных условиях / М. А. Бандурин, В. А. Бандурин // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2013. – Т. 27, № 4. – С. 109. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2039>.

16 Волосухин, Я. В. Применение неразрушающих методов при проведении эксплуатационного мониторинга технического состояния каналов обводнительно-оросительных систем / Я. В. Волосухин, М. А. Бандурин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2012. – № 2. – С. 102–106.

17 Волосухин, Я. В. Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования технического состояния гидротехнических сооружений / Я. В. Волосухин, М. А. Бандурин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – № 3. – С. 88–93.

18 Бандурин, М. А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2013. – № 1(09). – С. 68–79. – Режим доступа: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec160-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec160-field6.pdf).

19 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.

20 Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами / под ред. Л. В. Кирейчевой. – М.: ВНИИА, 2010. – 240 с.

УДК 631.674.6.001.63

**А. А. Белоусов, А. С. Штанько**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

### **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ САМОНАПОРНЫХ КАПЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Цель исследования – разработка основных положений технологии проектирования самонапорных систем капельного орошения. Объекты исследования – самона-*

*порные капельные оросительные системы. Предмет исследования – основы разработки проектов самонапорных капельных систем. Результат исследования – структурная схема и технология (последовательность) разработки и принятия решений при проектировании самонапорных капельных систем орошения растений.*

*Ключевые слова: капельное орошение, самонапорные капельные оросительные системы, проектирование капельных оросительных систем, энергосбережение, конструктивно-компоновочные решения самонапорных систем капельного орошения.*

\*\*\*\*\*

**A. A. Belousov, A. S. Shtanko**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

### **PECULIARITIES OF GRAVITY DRIP IRRIGATION SYSTEMS DESIGN TECHNOLOGY**

*The aim of the research is the basics layout of the design technology of gravity drip irrigation systems. The objects of the research are gravity drip irrigation systems. The subject of the research is the development basics for gravity drip irrigation systems projects. The result of the research is the structural scheme and technology (sequence) of development and decision-support in design of gravity drip irrigation systems of plants.*

*Key words: drip irrigation, gravity drip irrigation systems, drip irrigation systems design, energy saving, design layout arrangements of gravity drip irrigation systems.*

**Введение.** К настоящему времени накоплен определенный опыт разработки проектов принудительно напорных капельных систем, энергетическое обеспечение функционирования которых реализуется посредством устройства в их составе насосно-силового оборудования. Работа насосных станций (насосов) обеспечивается электрической энергией, потребляемой из внешних источников ее образования – электрических сетей или автономных, преимущественно дизельных, электростанций. Внешнеэнергозависимость применяемых капельных оросительных систем при высокой и системно возрастающей стоимости электрической энергии существенно снижает их технико-экономические показатели [1–3].

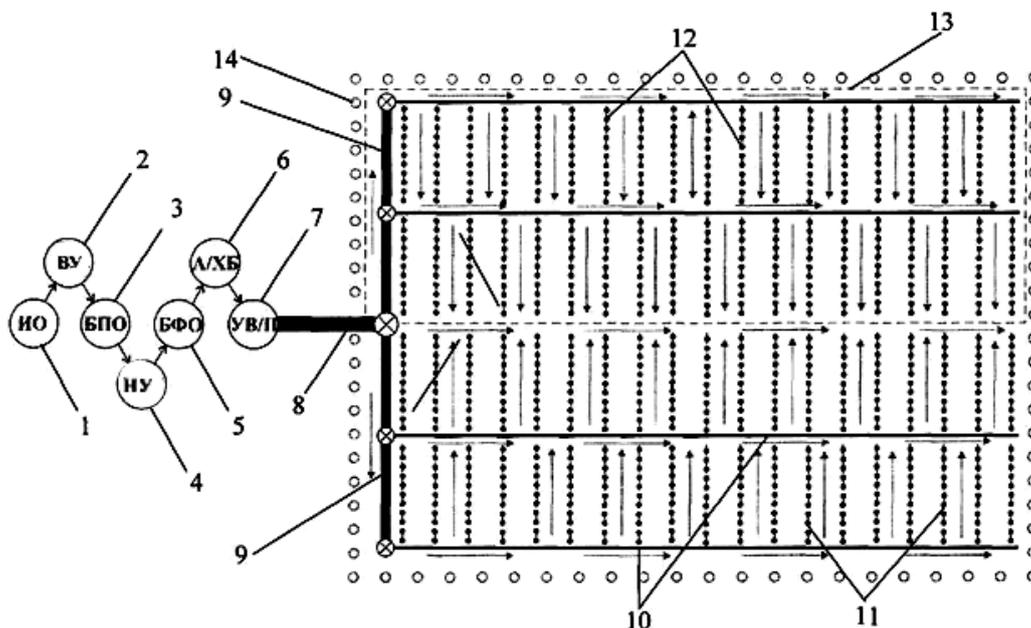
Для нейтрализации указанного обстоятельства было предложено создавать внешнеэнергозависимые («самоэнергодостаточные») полносамонапорные системы капельного орошения. Необходимая для функционирования технологического оборудования таких оросительных систем механическая энергия формируется в их энергообразующем узле за счет аккумуляции в нем гидроэнергетического потенциала территории их размещения. Указанный гидроэнергетический потенциал формируется подаваемым в трубопроводную сеть системы расходом воды и напором водного потока, создаваемым при его движении от вышерасположенного водного объекта к нижерасположенному орошаемому участку. При наличии положительного (в направлении течения воды) перепада геодезических (высотных) отметок между уровнем воды в источнике орошения и поверхности земли на участке орошения в водотранспортирующих трубопроводах создается избыточное(ый) давление (напор). Указанная напорно-расходная составляющая водного потока представляет собой механическую энергию напорного течения водных масс, перемещающихся в трубопроводе, которая может быть использована в качестве энергетического двигателя в напорных капельных системах для функционирования входящего в их состав технологического оборудования.

В состав полносамонапорных капельных систем включают водозаборный узел, напорообразующий узел, блок водоподготовки, агрохимический узел, капельную оросительную сеть, размещаемые на склонах и (или) склоново-равнинной местности орошаемые участки и другую инфраструктуру (транспортные коммуникации, лесокустарниковые насаждения и др.) оросительных систем. Компоновочно-конструктивная схема такой системы приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема полносамонапорной системы капельного орошения

Структурная схема размещения технических и технологических компонентов инженерной части самонапорной капельной системы представлена на рисунке 2.



1 – источник орошения или приводозаборная часть; 2 – водозаборный узел; 3 – блок предварительной обработки изымаемой из водоисточника поливной воды; 4 – напорообразующий узел; 5 – блок физической очистки; 6 – агрохимический блок; 7 – узел водоподачи; 8 – магистральный трубопровод; 9 – распределительный трубопровод или распределитель первого порядка; 10 – оросительные трубопроводы (оросители); 11 – поливные трубопроводы, «капельные линии»; 12 – капельные микроводовыпуски (капельницы, эмиттеры и др.); 13 – границы орошаемого участка; 14 – полезащитные насаждения

**Рисунок 2 – Структурно-компоновочная схема размещения технологического оборудования и основных компонентов в самонапорной системе капельного орошения**

Отличительной особенностью таких систем является склоновое размещение части технических средств и орошаемых участков при отсутствии насосной станции. Указанное обстоятельство придает определенные особенности технологии проектирования капельных оросительных систем, учет которых поставлен основной задачей настоящей статьи.

**Материалы и методы.** За основу при подготовке рекомендаций по технологии разработки проектных решений самотечных систем капельного орошения приняты известные подходы к разработке принудительно («искусственно») напорных капельных систем, адаптированные к условиям предлагаемых систем. При разработке технологии проектирования учтены и уточнены положения и подходы к разработке сложных природно-техногенных комплексов, к которым относятся самонапорные системы капельного орошения растений.

**Результаты и обсуждение.** При разработке проектов самонапорных систем капельного орошения рекомендуется придерживаться положений структурной схемы технологии разработки и принятия решений, приведенной на рисунке 3.

В соответствии с приведенной на рисунке 3 блок-схемой, при разработке компоновочно-конструктивного решения самонапорной системы капельного орошения предлагается следовать предложенной методологии – системе взаимосвязанных методик и рекомендаций по решению отдельных задач ее проектирования, последовательность (технология) и результаты решения которых (по отдельным блокам схемы) рассмотрены ниже.



**Рисунок 3 – Блок-схема технологии разработки и выбора компоновочно-конструктивных решений самонапорной системы капельного орошения**

**Блок А.** На начальном этапе разработки проекта самонапорной системы проводится комплекс исследовательских работ для обоснования необходимости и возможности создания капельно орошаемых участков на определенной территории исходя из социально-экономической потребности в них. Одновременно по материалам топографических, почвенных, гидрологических, геологических, гидрогеологических, фенологических и экологических изысканий осуществляется оценка водно-земельных условий территорий на предмет наличия соответствующих земельных и водных ресурсов для устройства самонапорной капельной системы. В обязательном порядке устанавливается наличие земель, пригодных для капельного орошения, и наличие водного источника, обеспечивающего водопотребность капельно орошаемых угодий (посевов, посадок) или насаждений. По материалам топографической съемки (по топографическому плану) устанавливается наличие на территории необходимых для функционирования самонапорной капельной системы перепадов отметок местности (в пределах 10–40 м) между уровнем воды в водоисточнике и поверхностью земли на орошаемом(ых) участке(ах). При соответствии водно-напорного (напорно-энергетического) потенциала территории необходимым для создания самонапорных систем капельного орошения требованиям (условиям) определяется потенциальная (по наличию и потребности) площадь орошаемого(ых) участка(ов). С применением известных методик и рекомендаций определяются необходимый(ая) для культивирования определенных видов растений объем водопотребления (оросительная норма) на 1 гектар и на общую площадь капельно орошаемых угодий или насаждений. Устанавливаются границы орошаемых участков и их расположение на предполагаемой для создания системы местности. Гидрологическими расчетами устанавливается оросительная возможность источника капельного орошения, а воднобалансовыми – наличие соответствия между водопотребностью орошения и возможностями водного источника для ее покрытия. При дефиците водных ресурсов в источнике орошения принимается решение о реальной (соответствующей водообес-

печенности) подвешиваемой к водосточнику площади орошения или составу возделываемых (поливаемых) культур. В результате анализа материалов комплексных изысканий дается оценка водно-земельных и напорно-гидроэнергетических условий рассматриваемой территории на предмет наличия или отсутствия на ней возможности устройства самонапорной капельной системы орошения.

**Блок Б.** Определившись с вопросом возможности устройства самонапорной капельной системы (по позициям блока А), приступают к решению задачи по разработке нескольких конкурирующих вариантов компоновочно-конструктивных схем орошаемых массивов и предварительной компоновке оросительной сети. При этом рассматриваются вопросы разбивки земельных массивов на отдельные орошаемые участки, выделения отдельных полей в севообороте, определяются с размещением культур на полях, предварительно намечаются варианты устройства поливной сети на полях севооборота и отдельных орошаемых участках, рассматриваются схемы организации поливов, осуществляется предварительный отбор вида капельных линий (трубок или лент) и капельниц, предварительно устанавливаются нормы полива на микроводовыпуск, капельную линию и орошаемый участок или одновременно поливаемые поля, предварительно устанавливается необходимый секундный расход воды и объем водоподачи на орошаемый участок или несколько одновременно поливаемых участков.

**Блок В.** По материалам топографических, геологических, гидрологических и гидрогеологических исследований намечаются варианты расположения и конструктивно-компоновочные схемы устройства водозабора в самонапорную систему капельного орошения. При этом ориентируются на данные расчетов (по блоку Б) в части потребного секундного расхода водоподачи. С учетом водно-ресурсных возможностей водосточника рассматриваются варианты резервирования определенных объемов изымаемой из источника орошения воды в бассейнах суточного (2–3 сут) и более суточного (недельного или 10-суточного) регулирования с устройством соответствующих сооружений. По результатам гидрологических, гидрохимических и микробиологических исследований принимается решение о необходимости и целесообразности предварительной обработки воды в отстойниках и бассейнах, устраиваемых в составе водозаборного узла. Наряду с разработкой водозаборного узла сооружений рассматриваются вопросы по компоновочно-конструктивному решению напорааккумулирующего блока сооружений: размещению и определению параметров напорного бассейна (аванкамеры), выбору трассы и общеконструктивного решения напорааккумулирующего водовода, расположению водовыпусков из водопитающего напорааккумулирующего трубопровода в водоводы оросительной сети участков капельного орошения растений.

**Блок Г.** На основе разработок по блокам А, Б и В принимаются решения и разрабатываются конкурирующие варианты компоновочно-конструктивных решений (схем) размещения, устройства и комплектации технологического оборудования по подготовке воды, поливных и промывных растворов. При этом рассматриваются варианты устройства централизованного (единого для всей системы) блока водоподготовки и агрохимического блока и рассредоточенных (участковых) блоков в зависимости от расположения и площади участков орошения и условий размещения и обслуживания технологического оборудования. Состав оборудования определяется качеством (химическим, физическим и микробиологическим составом) изымаемой из водного источника воды, а его параметры устанавливаются с учетом напорно-расходных характеристик обслуживаемых орошаемых участков или капельной оросительной системы в целом.

**Блок Д.** Результаты разработок по предшествующим блокам позволяют наметить 2–3 конкурирующих варианта компоновочно-конструктивных решений самонапорных систем капельного орошения для их последующего рассмотрения, анализа и оценки. По результатам комплексной оценки выбирается один из вариантов (или комбинация из ряда рассмотренных) для последующего проектирования.

Блоки  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$ . На стадии проектирования реализуются специальные задачи по блокам  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$ . При этом обеспечивается окончательная взаимная увязка параметров системы по компоновочно-конструктивным решениям отдельных элементов (узлов и блоков), оценивается экономическая и продукционная эффективность создания и использования самонапорной системы капельного орошения.

#### **Выводы**

1 Конструктивно-компоновочные решения самонапорных систем капельного орошения по условиям их расположения и составу их технических узлов, блоков и элементов отличаются от традиционно применяемых принудительно напорных капельных систем. Указанное обстоятельство требует определенных изменений, дополнений и уточнений технологии их проектирования, разработки и принятия решений по их компоновочно-конструктивному исполнению.

2 Предложенная блок-схема проведения проектных операций учитывает известный опыт разработки проектов принудительно напорных капельных систем и включает ряд особенностей, свойственных проектированию полносамонапорных систем капельного орошения растений.

#### **Список использованных источников**

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

2 Васильев, С. М. Механические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 197 с.

3 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

УДК 626.821.3:531.7

**А. Е. Шепелев**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

### **РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРОСИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ**

*В статье раскрыт вопрос возможности произведения расчета геометрических параметров оросительного канала трапецидального сечения. Уравнения для расчета геометрических параметров оросительного канала трапецидального сечения представлены в расчетных формулах. Расчет геометрических параметров оросительного канала включает в себя определение ширины канала по верху, живого сечения канала, гидравлического радиуса канала, средней ширины оросительного канала, площади сечения канала, удельной энергии сечения канала, критической глубины потока и назначение уклона оросительного канала. Расчет геометрических параметров оросительных каналов трапецидального сечения позволит осуществить выбор типоразмеров, основных параметров сечения при проектировании линейных сооружений оросительной системы (оросительных каналов), а также сформирует понимание выбора параметров канала специалистами при проектировании оросительных каналов трапецидального сечения.*

*Ключевые слова: расчет, уравнение, ширина, глубина, оросительный канал, сечение.*

\*\*\*\*\*

**A. E. Shepelev**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

## CALCULATION OF THE TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION SHAPED IRRIGATION CANAL GEOMETRIC PARAMETERS

The possibility of calculating the geometric parameters of the trapezoidal cross-section shaped irrigation canal is covered in the article. Equations for calculating the geometric parameters of the trapezoidal cross-section shaped irrigation canal are presented in the calculation formulas. Calculation of the geometric parameters of the irrigation canal includes determining the canal width along the top, the flow cross section of the canal, the area border ratio, the average width of the irrigation canal, the canal cross-sectional area, the energy density of the canal cross-section, the critical depth of the stream and the irrigation canal slope purpose. Calculation of the geometric parameters of the trapezoidal cross section irrigation canals will make it possible to select the standard sizes, the main cross section parameters for the design of the linear structures of the irrigation system (irrigation canals), and will form the specialists' understanding of the choice of canal parameters for the trapezoidal cross section shaped irrigation canals design.

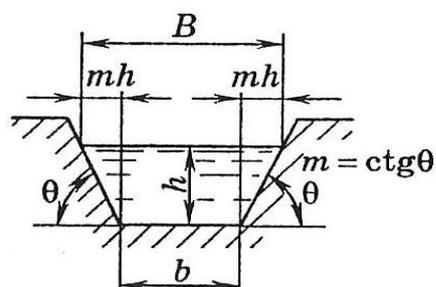
*Key words: calculation, equation, width, depth, irrigation canal, cross-section.*

Оросительный канал предназначен для подвода воды от источника к орошаемым участкам. Поперечное сечение и продольный профиль канала должны обеспечивать бесперебойную плановую подачу воды на орошаемый участок, неразмываемость и незаиляемость русла канала, минимальную фильтрацию воды [1].

Оросительный канал проектируют в основном в выемке или полувыемке-полунасыпи. Устройство канала в насыпи допускается при пересечении местных понижений рельефа и при необходимости самотечной подачи воды на орошаемую площадь [2].

В практике водохозяйственного строительства широкое применение получило поперечное сечение оросительного канала трапецеидальной формы.

Схема оросительного канала трапецеидального сечения представлена на рисунке 1.



$B$  – ширина по верху, м;  $b$  – ширина канала по дну, м;  $h$  – глубина воды в канале, м;  $m$  – коэффициент заложения откоса ( $m = \text{ctg}\theta$ , где  $\theta$  – угол наклона откоса)

Рисунок 1 – Схема оросительного канала трапецеидального сечения

Для трапецеидального сечения основные параметры канала назначают в зависимости от отношения ширины канала по дну к глубине его наполнения, расхода воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, и заложения откоса  $m$  по эмпирической формуле С. А. Гиршкана [3]:

$$\beta = b/h = 3\sqrt[4]{Q} - m,$$

где  $\beta$  – относительная ширина по дну;

$b$  – ширина канала по дну, м;

$h$  – глубина воды в канале, м;

$Q$  – расход воды в канале, м<sup>3</sup>/с;

$m$  – коэффициент заложения откоса ( $m = \text{ctg}\theta$ , где  $\theta$  – угол наклона откоса к горизонтали).

Также основные параметры канала можно назначить по нижеприведенным значениям, рекомендуемым СП 100.13330.2012 (таблица 1) [4].

При  $m > 2,5$  величину  $\beta$  назначают по расчету или по данным аналогов.

При использовании на оросительном канале трапецеидального сечения проти-

вофильтрационной облицовки и противозрозийного крепления в донной части допускают отклонение ширины канала по дну  $\pm 5\%$ .

**Таблица 1 – Значения отношения ширины канала по дну к глубине его наполнения**

| $m$     | 1,0     | 1,5     | 2,0     | 2,5     |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\beta$ | 0,8–3,0 | 0,6–3,1 | 0,5–3,4 | 0,4–3,8 |

Уравнения для расчета геометрических параметров оросительного канала трапецеидального сечения представлены ниже [4].

Уравнение для расчета ширины по верху оросительного канала трапецеидального сечения [4]:

$$B = b + 2mh = h(\beta + 2m),$$

где  $B$  – ширина по верху, м.

Уравнение для расчета характеристики живого сечения оросительного канала трапецеидального сечения [4]:

$$\sigma = mh / b = m / (\beta + m),$$

где  $\sigma$  – характеристика живого сечения канала.

Уравнение для расчета гидравлического радиуса оросительного канала трапецеидального сечения [4]:

$$R = (b + mh)h / (b + 2h\sqrt{1 + m^2}) = (\beta + m)h / (\beta + 2\sqrt{1 + m^2}) = h(1 - \sigma),$$

где  $R$  – гидравлический радиус канала, м;

$\sigma$  – характеристика живого сечения канала.

Уравнения для расчета средней ширины оросительного канала трапецеидального сечения [4]:

$$b_m = b + mh = h(\beta + m),$$

$$b_m = m(1 + \sigma)R / \sigma,$$

где  $b_m$  – средняя ширина канала, м.

Уравнение для расчета площади сечения оросительного канала трапецеидального сечения [4]:

$$\omega = (b + mh)h = (\beta + m)h^2,$$

$$\omega = m(1 + \sigma)^2 R^2 / \sigma = mh^2 / \sigma,$$

где  $\omega$  – площадь сечения канала, м<sup>2</sup>.

Уравнение для расчета средней глубины оросительного канала трапецеидального сечения [4]:

$$h_m = \omega / B = (\beta + m)h / (\beta + 2m),$$

где  $h_m$  – средняя глубина канала, м.

Уравнение для расчета смоченного периметра оросительного канала трапецеидального сечения [4]:

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = h / (\beta + 2\sqrt{1 + m^2}),$$

где  $\chi$  – смоченный периметр канала, м.

Удельная энергия трапецеидального сечения  $e$  (рисунок 2) – это отнесенная к единице веса механическая энергия массы жидкости, протекающей через живое сечение в единицу времени, относительно горизонтальной плоскости, проходящей через самую низкую точку данного сечения оросительного канала.

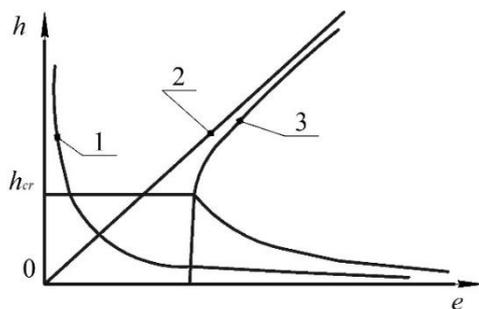
Удельная энергия сечения рассчитывается по формуле [5]:

$$e = h + \alpha v^2 / 2g,$$

где  $\alpha$  – коэффициент учета кинетической энергии (обычно равный 1,1);

$v$  – скорость потока, м/с;

$g$  – коэффициент ускорения свободного падения ( $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>).



**Рисунок 2 – График удельной энергии сечения ( $e$ ) в зависимости от глубины потока ( $h$ )**

Критическая глубина  $h_{cr}$ , м, – это глубина, при которой поток с заданным расходом воды имеет минимальную удельную энергию сечения. Соответствующее состояние потока называют критическим. Экстремальная точка  $h = h_{cr}$  на графике удельной энергии сечения в зависимости от глубины наполнения (рисунок 2) делит кривую на две части, соответствующие различным состояниям потока:

- спокойное состояние, при котором  $h > h_{cr}$ , когда удельная энергия сечения возрастает с увеличением глубины;
- бурное состояние потока, при котором  $h < h_{cr}$ , когда удельная энергия сечения уменьшается с ростом глубины.

Критическую глубину потока определяют подбором из уравнения [5]:

$$S_{cr}^3/B_{cr} = \alpha Q^2/g,$$

где  $S_{cr}$  – площадь, соответствующая критической глубине, м<sup>2</sup>;

$B_{cr}$  – ширина по верху живого сечения, м.

Уклон канала назначают из условия обеспечения средних скоростей потока  $v_m$ , м/с, в пределах [6]:

$$v_s < v_m < v_{adm},$$

где  $v_s$  – допускаемая незаилающая скорость, м/с;

$v_m$  – средняя скорость потока, м/с;

$v_{adm}$  – допускаемая неразмывающая скорость воды, м/с.

Возможность произведения расчета геометрических параметров оросительных каналов трапецеидального сечения позволит осуществить выбор типоразмеров, основных параметров сечения при проектировании линейных сооружений оросительной системы (оросительных каналов).

В практике водохозяйственной деятельности большое значение имеет обеспечение этапа подачи предложений по установлению типоразмеров, основных параметров трапецеидального сечения оросительных каналов, возможность произведения расчета геометрических параметров оросительных каналов позволит обеспечить понимание выбора параметров канала специалистами при производстве проектных работ на линейных сооружениях оросительной системы.

Облицовка оросительного канала трапецеидального сечения увеличивает скорости течения воды в канале, уменьшая размеры поперечных сечений. Кроме того, облицовка дна и откосов канала значительно снижает коэффициент шероховатости, что позволяет проводить каналы с меньшими уклонами. Облицовка также уменьшает потери воды на фильтрацию из каналов, что исключает подъем уровня грунтовых вод на прилегающих территориях.

#### **Список использованных источников**

1 ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1975-01-01. – М.: Госстандарт России, 2007. – 54 с.

2 Шепелев, А. Е. Требования к проектированию оросительных каналов, определяющие основные положения нормативного документа / А. Е. Шепелев, А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2012. – Вып. 48. – С. 105–113.

3 Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений и русел. – 3-е изд., испр. и перераб. – М.: Главтранспроект, 2009. – 168 с.

4 Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2016 // Техэксперт 2017 [Электронный ресурс]. – ИС «Техэксперт», 2017. – 110 с.

5 Практикум по гидротехническим сооружениям: учеб. пособие / М. В. Нестеров, Е. В. Афанасенко, Т. Н. Ткачева, В. Ф. Галковский. – Горки: БГСХА, 2010. – 124 с.

6 Алтунин, В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. – М.: Колос, 1979. – 256 с.

УДК 631.6

**Ю. Г. Злодеев, Г. Х. Ялалова**

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

### **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПОДДЕРЖКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ОРОШЕНИИ**

*Целью исследований являлось совершенствование процедур поддержки управленческих решений в сфере мелиораций. Разработаны методология и компьютерная технология принятия решений по регулированию водопользования на межхозяйственных оросительных системах. Технология предназначена для интенсификации труда диспетчеров и повышения качества принимаемых ими управленческих решений за счет роста уровня автоматизации и оптимизации процедур подготовки и принятия решений по результатам диагностики проблем, классификаций решений, определения потребности в информации лица, принимающего решения, и специалистов, занятых подготовкой последних.*

*Ключевые слова: информационное обеспечение, поддержка решений, управление, автоматизированная система, водопользование при орошении.*

\*\*\*\*\*

**Yu. G. Zlodeev, G. Kh. Yalalova**

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russian Federation

### **INFORMATION SUPPORT AND DECISION SUPPORT IN IRRIGATION WATER USE**

*The aim of the research was to improve the management decision support procedures in the field of land reclamation. The methodology and computer technology of decision-making on water use regulation on inter-farm irrigation systems have been developed. The technology is intended to intensify labor productivity of dispatchers and to improve the quality of their management decisions by means of increasing the level of automation and optimizing the procedures for preparing and decision making based on problem diagnostics, solutions classification, determining the information needs for the decision-makers and professionals dealing with decision support.*

*Key words: information support, decision support, management, computer-assisted system, irrigation water use.*

**Введение.** В Российской Федерации и зарубежных странах большое внимание уделяется развитию информационно-аналитических систем, обеспечивающих под-

держку решения диспетчерских задач регулирования транспорта, распределения природного газа, в энергетике, водоснабжении. Создаются и используются автоматизированные системы управления (АСУ) на предприятиях и в технологических процедурах в вышеупомянутых областях экономики, охватывая все уровни и сферы их деятельности, чего нельзя сказать о сфере мелиорации [1–5].

Важнейшей компонентой АСУ является информационное и расчетно-аналитическое обеспечение управления процессами технологии, чему в значительной мере способствует использование диспетчером программно-технического комплекса Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) с целью получения и обработки технологической информации для управления. SCADA-системы являются неотъемлемой (хотя и не всегда обязательной) частью систем автоматизации управления или регулирования технологических процессов [1, 6–8].

От этого направления существенно отстают формирование и промышленное использование расчетных компьютерных комплексов (РКК) для помощи в решении диспетчерских задач и их интеграция в информационные автоматизированные системы диспетчерского управления (ИАСДУ).

В современных реалиях функциональное рассмотрение процедур управления (регулирования) все чаще дополняется или заменяется процедурами принятия решений, которые начинают рассматриваться теорией управления как организационные процедуры, выходящие за рамки одной из функций регулирования, таких как планирование и (или) организация, и находящиеся между ними.

К наиболее актуальным проблемам автоматизации технологий помощи диспетчеру в решениях по водопользованию на межхозяйственных оросительных сетях можно отнести [4, 5, 9–11]:

- отсутствие РКК, отражающих многоуровневую, распределенную систему диспетчерского регулирования водопользования;
- недостаточную приспособленность РКК к использованию современных компьютерных систем и технологий, в частности процедур, обеспечивающих помимо подготовки необходимой для принятия решений информации извлечение и формализацию требований и предпочтений специалистов, принимающих решения;
- несоответствие структуры РКК существующим распределенным многоуровневым коллективным процедурам диспетчерского регулирования, что не позволяет вырабатывать навыки совместной деятельности диспетчерского персонала.

Переводу процедур подготовки решения задач регулирования технологических процессов диспетчерского водораспределения и помощи в нем на качественно иной автоматизированный уровень будут способствовать теоретические и практические решения вышеуказанных вопросов, определенные аспекты которых представлены ниже по тексту.

**Материалы и методы.** Формирование методологии создания компьютерной технологии оперативного регулирования водораспределения на межхозяйственных оросительных системах основано на информационно-аналитических исследованиях, в составе которых рассматривалось методическое и нормативно-правовое обеспечение компьютерного моделирования принятия управленческих решений и расчетно-аналитического комплекса диспетчерского регулирования водораспределения, а также основополагающие методические и технологические подходы к созданию системы помощи в принятии решений при регулировании водораспределения (рисунок 1) [4, 5, 12–17].

Разработана структурно-функциональная схема процедуры принятия решения, служащая логической основой формирования автоматизированной системы оперативного регулирования водораспределения. Это дает возможность реализовать принципы системного анализа при решении слабо структурированных проблем, обеспечит гибкий подход к применению формальных методов при классификации решаемых проблем по признаку структурированности, выполнение требования об ориентации систем под-

держки принятия решений на их оптимизацию. Рассмотрены вопросы информационно-обеспечения регулирования и кибернетического подхода к исследованию процедур управленческих решений, базирующиеся на подходах к принятию решений как к процедуре переработки информации.



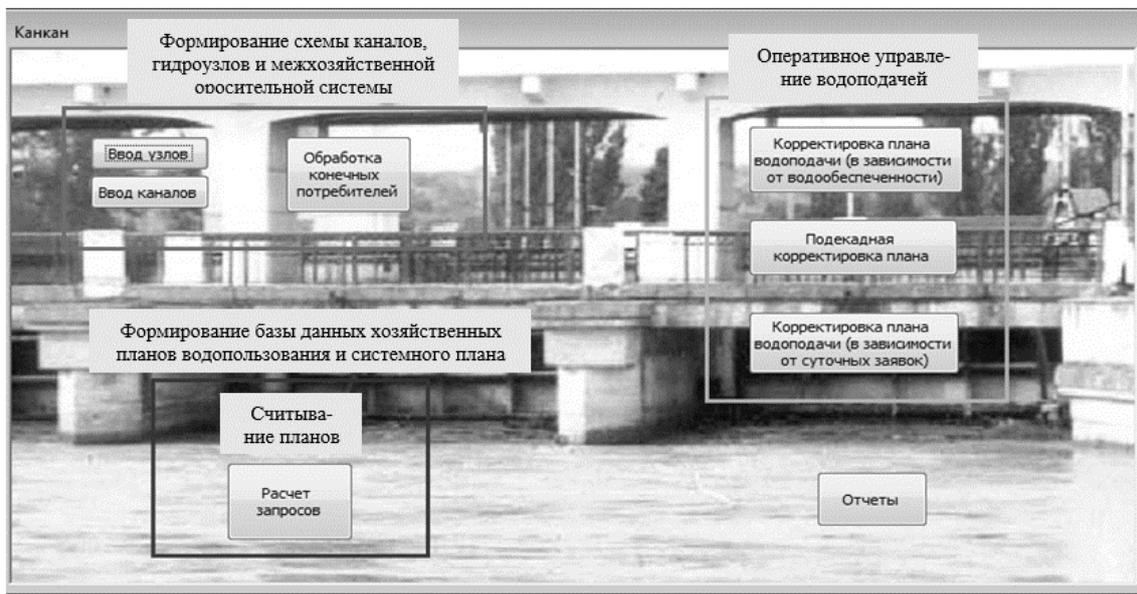
**Рисунок 1 – Функции принятия и реализации решений по водораспределению в информационно-кибернетическом процессе управления оросительной системой**

В составе методологии создания расчетно-аналитического обеспечения диспетчерского регулирования водораспределения на межхозяйственных оросительных системах:

- сформулирована система принципов совершенствования регулирования оперативного водораспределения на гидроузлах межхозяйственных оросительных систем, обеспечивающая его социально-экономическую и экологическую эффективность;
- выбраны модели, определяющие рациональность технологической схемы регулирования водораспределения;
- созданы алгоритмы управляющих воздействий в составе процедур автоматизированного регулирования водораспределения, направленные на повышение действенности указанного технологического процесса;
- определены показатели, модели и алгоритм оценки действенности управленческой деятельности на межхозяйственной оросительной системе, отражающие как экономические, так и важные социально-экологические аспекты регулирования, которые не измеряются в денежном выражении [18–21].

**Результаты и обсуждение.** Представленные выше требования к функциональным задачам перспективного расчетно-аналитического комплекса диспетчерской службы учтены при разработке объектно- и сервисно-ориентированной структуры инфор-

мационной системы регулирования водораспределения, в создании которой принимали участие авторы (рисунок 1). Главная форма информационной технологии планирования водопотребления представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Главная форма компьютерной системы планирования водопотребления**

Компьютерная система планирования водопотребления разработанной информационной технологии реализует:

- организацию входной и промежуточной информации в традиционной форме, привычной и удобной для пользователя;
- трансформацию данных, составление балансов водоподачи и водораспределения по каждому водовыделу и водопользователю за интересующий интервал времени вегетационного периода: сутки, пятидневку, месяц, год;
- оценку водораспределения по водовыделам, каналам и в целом по гидроузлу и управлению эксплуатации;
- формирование архива и хранение «исторических» данных, используемых для анализа ряда времени.

Отчеты о планируемом и фактическом водораспределении на оросительной системе создаются на базе сформированных запросов и включают:

- сведения о потребности в воде каждого хозяйства-водопользователя по всем водовыделам и в целом по системе;
- головные расходы магистрального и межхозяйственного каналов и подачу воды хозяйствам, согласованные с режимом источника орошения.

Заявки от потребителей формируются в специальном файле программного комплекса СУБД Access. Для работы с исходными данными разработаны унифицированные формы, поддерживаемые СУБД Access.

Данные, характеризующие водозабор и распределение водных ресурсов на межхозяйственных гидроузлах, создаются автоматически на основе заявок потребителей на подачу воды.

Базовый вариант разработанной в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» технологии формирования планов забора воды и регулирования водораспределения при орошении адаптировался к производственным условиям водопользования на оросительных системах, подкомандных Терско-Кумскому магистральному каналу.

Эксплуатацию канала осуществляет ФГБУ «Управление эксплуатации Терско-

Кумского магистрального канала» (ФГБУ «УЭТКГ»), находящееся в г. Моздоке Республики Северная Осетия – Алания. Внедрение технологии выполняли специалисты ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» при участии авторов совместно со специалистами ФГБУ «УЭТКГ». Техничко-экономические показатели внедрения автоматизированной технологии планирования водоподачи и оперативного регулирования водораспределения на оросительных системах, получающих воду для поливов из Терско-Кумского оросительного канала, приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Техничко-экономические показатели внедрения автоматизированной технологии планирования водоподачи и оперативного регулирования водораспределения из Терско-Кумского канала для целей орошения**

| Параметр   | Значение параметра | Единица измерения       |
|--|--------------------|-------------------------|
| Наличие орошаемых земель   | 80,51              | тыс. га                 |
| из них используется под сельхозпроизводство                              | 65,68              | тыс. га                 |
| не используется по причине неисправности внутриводопользовательской сети | 14,82              | тыс. га                 |
| Водозабор из р. Терек в Терско-Кумский канал                             | 993,11             | млн м <sup>3</sup>      |
| подача потребителям  | 887,60             | млн м <sup>3</sup>      |
| в т. ч.: РСО – Алания  | 27,98              | млн м <sup>3</sup>      |
| Чеченская Республика   | 154,07             | млн м <sup>3</sup>      |
| Ставропольский край  | 382,95             | млн м <sup>3</sup>      |
| Республика Дагестан  | 72,60              | млн м <sup>3</sup>      |
| ФГБУ «УЭТКГ и ЧВ»  | 250,00             | млн м <sup>3</sup>      |
| Экономия водных ресурсов   |                    |                         |
| в физических единицах  | 10,3               | млн м <sup>3</sup> /год |
| в денежном исчислении  | 3,9                | млн руб./год            |

Рост коэффициента полезного использования воды, обусловленный снижением ее непроизводительных затрат за счет применения оригинальных усовершенствованных алгоритмов управленческих воздействий, для варианта с автоматизированным управлением водораспределением составил 0,20 в сравнении с решением, принимаемым по традиционной технологии. Повышение уровня автоматизации труда достигло 25 %, что обеспечило увеличение его производительности на 30 %.

Для функционирования ИСАУ «Водопользование» требуются следующие технические средства: персональный компьютер с микропроцессором не ниже Pentium и оперативной памятью не менее 32 Мб, принтер. Разработана специализированная программа, использующая средства пакета Microsoft Office операционной среды Windows. Семантическая база данных построена на основе СУБД Access. Для подготовки требующихся отчетов и представления необходимой информации, включающей набор карт и легенд к ним, таблиц из базы данных и другую информацию, используются средства СУБД Access.

**Выводы.** Таким образом, информационные технологии становятся совершенным инструментарием решения задач расчетных компьютерных комплексов диспетчерского управления водораспределением, соответствующим социально-экономическим потребностям общества сегодняшнего дня. Их внедрение потребует достаточно больших вложений, но они, несомненно, окупаются, так как владение информацией способствует владению ситуацией, обеспечивающей владельцу практически неограниченные возможности в принятии управленческих решений.

#### Список использованных источников

1 Григорьев, Л. И. Диспетчерское управление трубопроводным транспортом газа: состояние, проблемы, перспективы / Л. И. Григорьев // Развитие компьютерных ком-

плексов моделирования и оптимизации режимов работы систем газоснабжения и их роль в диспетчерском управлении технологическими процессами в газовой отрасли: сб. тез. докл. 1-й Междунар. науч.-техн. конф., г. Москва, 13–14 нояб. 2002 г. / ОАО «Газпром», Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. – М.: Нефть и газ, 2002. – С. 28–32.

2 Юрченко, И. Ф. Научно-технические информационные технологии в мелиоративной деятельности / И. Ф. Юрченко // Управление экономическими системами: электронный научный журнал [Электронный ресурс]. – 2005. – № 3. – С. 9–13. – Режим доступа: <http://uecs.ru/uecs-03-32005/item/22-2011-03-19-07-05-15>.

3 Юрченко, И. Ф. Методологические основы создания информационной системы управления водопользованием на орошении / И. Ф. Юрченко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2017. – № 1. – С. 13–17.

4 Бандурин, М. А. Применение систем управления базами данных при эксплуатационном мониторинге водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Современные научные технологии. – 2016. – № 12, ч. 1. – С. 24–28.

5 Бандурин, М. А. Автоматизация мониторинга ливнеотводящих сооружений на водопроводящих каналах Ставропольского края / М. А. Бандурин, И. П. Бандурина // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 35, № 2, ч. 1. – С. 37.

6 Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В. А. Геловани, А. А. Башлыков, В. Б. Бритков, Е. Д. Вязилов. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.

7 Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами / под ред. Л. В. Кирейчевой. – М.: ВНИИА, 2010. – 240 с.

8 Волосухин, В. А. Программно-технический комплекс для проведения мониторинга и определения остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 57–68.

9 Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России / под ред. Л. В. Кирейчевой. – М.: ВНИИ агрохимии, 2017. – 296 с.

10 Система поддержки принятия решений для управления региональной программой водообеспечения / С. П. Орлов, А. В. Чуваков, Д. А. Нечаев, Е. А. Михеева // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям: сб. докл. – СПб.: Изд-во СПбГТЭУ «ЛЭТИ», 2010. – С. 84–87.

11 Юрченко, И. Ф. Совершенствование оперативного управления водораспределением на межхозяйственных оросительных системах / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2014. – Вып. 53. – С. 166–170.

12 Бегимов, И. Автоматизация каналов Ферганской долины. Итоги работ по проекту [Электронный ресурс] / И. Бегимов. – Ташкент, 2010. – Режим доступа: <http://sic.icwc-aral.uz>, 2018.

13 Юрченко, И. Ф. Нормативно-правовая база обеспечения безопасности гидротехнических сооружений / И. Ф. Юрченко, А. К. Носов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2015. – № 4(20). – С. 262–277. – Режим доступа: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec385-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec385-field6.pdf).

14 Юрченко, И. Ф. Эффективность организационно-правовых форм использования мелиорируемых земель / И. Ф. Юрченко, А. К. Носов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 6. – С. 10–12.

15 Юрченко, И. Ф. Планово-предупредительные мероприятия повышения надежности мелиоративных объектов / И. Ф. Юрченко // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 73–79.

16 Повышение ответственности сельхозтоваропроизводителей за воспроизводство почвенного плодородия мелиорируемых земель / Г. Т. Балакай, И. Ф. Юрченко, Е. А. Лентяева, Г. Х. Ялалова // Агрехимический вестник. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 29–33.

17 Носов, А. К. Выявление потенциально опасных ГТС сферы мелиораций / А. К. Носов, И. Ф. Юрченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2013. – Вып. 51. – С. 101–110.

18 Ольгаренко, И. В. Программное обеспечение процесса планирования водопользования на оросительных системах / И. В. Ольгаренко, И. В. Селюков // Природообустройство. – 2011. – № 4. – С. 38–40.

19 Бандурин, М. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния оросительного лотка-оболочки / М. А. Бандурин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2006. – № 24. – С. 76–81. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/33.pdf>.

20 Юрченко, И. Ф. Оценка рисков мелиоративных инвестиционных проектов / И. Ф. Юрченко, А. К. Носов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 6–10.

21 Юрченко, И. Ф. Водосберегающая технология планирования технической эксплуатации мелиоративных систем / И. Ф. Юрченко // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 5. – С. 9–13.

УДК 556.63

### **Б. И. Сергеев**

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

### **В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухин**

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

### **В. Н. Щедрин**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

## **ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ МЯГКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*В работе рассмотрено развитие мягких гидротехнических конструкций за последние 50 лет в СССР и РФ. Приведены критерии отнесения оболочки к классу мягких оболочек. Освещены вопросы проектирования, заводского изготовления, строительства и эксплуатации мягких гидротехнических конструкций. Представлены обобщенные результаты многолетних исследований и практического применения гидротехнических конструкций из тканевых материалов, именуемых в дальнейшем мягкими гидротехническими конструкциями (МГК), современное состояние и степень развития МГК, принципиальной особенностью которых является работа несущей оболочки (замкнутой, незамкнутой) на растяжение. Работа на растяжение – одна из выгоднейших форм напряженного состояния, позволяющих максимально использовать прочностные свойства тканевых материалов. Это дает возможность в значительной степени смягчить противоречия между высокой прочностью используемых материалов и их деформативностью (до 30 % и выше). Опыт практического применения МГК в использовании водных ресурсов в различных отраслях хозяйственной деятельности показал достаточно высокую их экономическую и экологическую эффективность. Применение МГК позволяет возводить сооружения необходимых пролетов, повышать степень индустриализации строительства, значительно уменьшать все элементы со-*

оружения и транспортные расходы. Используя системный подход к созданию новых и совершенствованию существующих МГК, обосновали необходимость разработки новых синтетических тканевых материалов на базе развития фундаментальных знаний в области химии, физики, биологии, материаловедения. Эти факторы определяют перспективность данного направления и объясняют растущий интерес к МГК в хозяйственной деятельности, связанной с использованием водных ресурсов. Созданное многообразие базовых МГК включает более 2000 наименований.

*Ключевые слова:* мягкая оболочка, мягкая гидротехническая конструкция, мягкая наполняемая плотина, мягкая мембранная плотина, мягкий затвор, наплавная конструкция, бесшовный трубопровод, геотуба.

\*\*\*\*\*

### **B. I. Sergeyev**

V. I. Vernadskiy Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

### **V. L. Bondarenko, V. A. Voloshukhin**

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

### **V. N. Shchedrin**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

## **FIFTY YEARS TO SCIENTIFIC SCHOOL OF SOFT HYDROTECHNICAL CONSTRUCTIONS**

*The development of soft hydraulic structures for the last 50 years in the USSR and Russia are considered. Criteria for classifying the casing as a class of soft casings are given. Problems of designing, factory manufacturing, construction and operation of soft hydraulic structures are covered. The summarized results of multi-year research and practical application of hydraulic structures from fabric materials, referred to hereinafter as soft hydraulic structures (SHS), the current state and the degree of development of SHS, the principal feature of which is the operation of the structural casing (closed, unclosed) for tension are presented. Behaviour on tension is one of the most advantageous forms of stress state, allowing the maximum use of strength properties of fabric materials. This makes it possible to mitigate the contradictions between the high strength of the materials used and their deformability (up to 30 % or more) significantly. Experience in practical application of SHS in using water resources in various sectors of economic activity has shown rather high economic and environmental efficiency. The use of SHS allows to construct the facilities of necessary spans, to increase the degree of construction industrialization, to reduce all elements of the structure and transportation costs significantly. Using a comprehensive approach to create new and improve existing SHS, they substantiated the need to develop new synthetic fabric materials based on the development of fundamental knowledge in the field of chemistry, physics, biology, and materials science. These factors determine the prospects for this direction and explain the growing interest in SHS in economic activities related to the use of water resources. The created variety of basic SHS includes more than 2000 terms.*

*Key words:* soft casing, soft hydraulic structure, inflatable fed dam, soft membrane dam, soft shutter, floating structure, seamless pipeline, geotube.

Тканевые сооружения и покрытия, применяемые в гидротехническом и мелиоративном строительстве, – детище химии, текстильной промышленности и строительной индустрии второй половины XX в., но вместе с тем они имеют глубокие исторические корни. Основным материалом, используемым для изготовления тканевых сооружений, являются высокопрочные ткани различного переплетения с одно- или двухсторонним покрытием, которое обеспечивает их водонепроницаемость. Потребность

в легких, экономичных сооружениях с минимальными затратами на изготовление и монтаж появилась давно. Основная трудность состояла в подборе материала, отвечающего функциональным требованиям сооружения.

Вначале для этих целей использовались кожи, вырабатываемые из дермы шкур животных. В процессе кожевенного производства существенно изменяются микро-структура шкур и их физико-механические свойства. Толщина тонких и средних кож животных составляет, как правило, от 0,5 до 1,6 мм, максимальный предел прочности при растяжении – от 11 до 16 МПа, относительное удлинение при напряжении 10 МПа – от 15 до 40 %. Исторические исследования свидетельствуют о том, что кожаное ведро, кожаные мешки, в которых хранились жидкости в Древнем Египте, использовались более 5 тыс. лет назад. В бурдюках (тюрк.), т. е. кожаных мешках, хранили воду, вино, молочнокислые и другие жидкие продукты. Бурдюки в настоящее время распространены в странах Востока, у некоторых народов Средней Азии и Сибири. Б. И. Друзь [1] отмечает, что в 1943 г. в Китае по р. Чиа-Линг было переправлено 24 тыс. л нефтепродуктов с помощью козых бурдюков. Сравнительно давно начали использовать плоты и лодки с несущими элементами из кожи с шитыми швами. Профессор В. В. Ермолов [2] приводит конструкцию плота на надувных бурдюках на р. Тигр, относящуюся к IX в. до н. э.

Древнейшим средством для преодоления водных пространств для человека служили корабли, оснащенные парусами, с помощью которых энергия ветра преобразуется в энергию движения судна.

Материалом для изготовления парусов служила парусина, которая представляет собой тяжелую плотную льняную или полульняную ткань, сотканную полотняным переплетением из толстой пряжи. Паруса применялись в Древнем Египте, Финикии, Китае, Древней Греции, Риме более 5 тыс. лет назад.

В Библии приводится целый ряд сооружений и конструкций из ткани – скинии, палатки, кущи и др. Наиболее ответственными сооружениями являлись скинии, в которых осуществлялись общественные богослужения. В Ветхом Завете (Книга Исход, глава XXVI) приводится подробнейшее указание по изготовлению и строительству скинии. Размеры скинии рекомендуется принимать стандартными: в длину – 30 локтей, в ширину – 10 локтей, в высоту – 10 локтей (примерно  $15 \times 5 \times 5$  м). Скиния изготовлялась из трех слоев ткани: внутренняя часть из 10 покрывал тонкой овечьей шерсти  $14 \times 2$  м, средняя – из 11 покрывал козьей шерсти  $15 \times 2$  м. Водонепроницаемость скинии обеспечивалась третьим слоем, выполненным из бараньих кож.

Первая искусственная ткань низкой газопроницаемости была получена в августе 1783 г. профессором физики Жаком Шарлем (1746–1823 гг.) с участием механиков братьев Робер. С целью обеспечения газонепроницаемости ткани он покрыл легкую шелковую ткань раствором каучука. В дальнейшем воздушные шары, наполняемые водородом или светильным газом, получили название «шарльеры». Ранее созданные (июнь 1783 г.) фабрикантами братьями Жозефом и Этьенном Монгольфье воздушные шары состояли из льняного полотнища, оклеенного бумагой, и наполнялись теплым атмосферным воздухом. В первых опытах братья Монгольфье использовали большой бумажный мешок.

Состояние разработки материалов с водо- и воздухонепроницаемым покрытием на начало XX в. обобщили Рудольф Гаас и Александр Дитциус в своей работе [2, 3], вышедшей в Берлине в 1912 г. Как отмечают авторы [2], заводами была освоена технология изготовления материалов из хлопчатобумажной ткани с резиновым покрытием, которое могло наноситься как с одной, так и с двух сторон. Кратковременная прочность однослойных тканей составляла от 4,2 до 7,7 кН/м при массе  $1 \text{ м}^2$  от 75 до 225 г.

Из имевшейся на начало XX в. номенклатуры тканевых материалов только несколько типов отвечали предъявляемым к ним требованиям: высокая механическая прочность и гибкость, однородность, водонепроницаемость, длительное сопротивление

атмосферным влияниям (воздействию ультрафиолетовых лучей, температуры, длительной смены сырости и сухости, жары и холода).

С созданием искусственного материала – брезента, представляющего собой хлопчатобумажную или льняную (полульняную) ткань, пропитанную водоупорными и противогнилостными составами, появились предложения по применению конструкций из данного материала в водном хозяйстве. Однако существенным недостатком брезента является низкая гнилостность при длительном контакте с водой, что требует периодического просушивания в процессе эксплуатации.

Первая отечественная тканевая конструкция для мелиоративных целей утверждена Управлением землеустройства и мелиорации в 1926 г. [1]. В технической инструкции предлагается водоподпорное сооружение при величине подпора до 1,0 м, состоящее из брезентовых полос, закрепленных в верхней части на канате, нижний край которых лежит на дне с засыпкой вначале крупными камнями, а затем землей. Канат крепится к верхушкам кольев, забитых в дно через 0,5–1,0 м.

На целесообразность замены земляных канав на полях трубами, в т. ч. из брезента, указывал акад. А. Н. Костяков [3] в работе 1927 г.

Идея «парусного» затвора, который представляет собой длинную незамкнутую цилиндрическую оболочку, выполненную из брезента и закрепленную по верхней и нижней образующей с помощью жестких элементов, возникла у авторов отчета (Г. Н. Красникова, Е. С. Кузнецова, М. А. Липшица и Н. П. Розанова) еще в 1929 г. [3]. В апреле 1931 г. ими был сделан доклад об идее «парусного» затвора на собрании членов научно-технического общества гидравликов и гидротехников в гидротехническом секторе Всесоюзного НИИ сооружений. В отчете о плотинах и затворах парусного типа 1932 г. [3] авторы отмечают ряд источников, в которых ранее использована идея паруса для удержания напора воды. Приведем два из них [3]:

- отчеты английских гидрометров, работавших в Индии и применявших плотные водонепроницаемые ткани при устройстве небольших плотин с водосливами для измерения расхода воды малых истоков;

- отчет Института сооружений о распределении напряжений в стенках брезентового мешка, применяемого для создания водяной запруды.

Общее руководство работой [3] было осуществлено Г. Н. Красниковым. Теоретические исследования были выполнены Е. С. Кузнецовым, лабораторные – Н. П. Розановым, эскизное проектирование – Г. Н. Красниковым, М. А. Липшицем и Н. П. Розановым.

Приоритет на низконапорную тканевую водонаполняемую плотину получен в 1940 г. Г. Н. Кононенко (а. с. 326823) [1, 3]. Основным элементом низконапорной плотины является тканевая цилиндрическая оболочка, заполняемая водой. К оболочке прикреплен понур, который пригружается грунтом и закрепляется сваями.

В том же году группой авторов (Н. Ф. Чуприн, М. А. Коган и др.) получен приоритет на незамкнутую низконапорную тканевую плотину (а. с. 98311) [1, 3]. В описании изобретения отмечается, что основным элементом плотины является полотнище из брезента, прикрепленное к стенам и дну камеры по краям. Отличительной особенностью конструктивного решения является система опускания полотнища при одновременном освобождении от воды камеры, причем предотвращается перелив воды через верхнюю кромку полотнища.

О первых опытных образцах тканевых плотин существуют достаточно общие сведения. О. Г. Затворницкий [4] отмечает: «В 30-е годы по проектам Г.И. Покровского и М.А. Когана были построены опытные образцы плотин с мягкими оболочками, предназначенными создавать временные подпоры на малых реках для судоходства, лесосплава, регулирования стока и обводнения». В работе Б. И. Сергеева, П. М. Степанова, Б. Б. Шумакова указано [5]: «Ряд предложений был осуществлен во время наступления

советских частей в Великую Отечественную войну. В частности, была осуществлена конструкция из ряда свай с приложенным к ним брезентовым полотнищем, позволяющая в течение нескольких часов затопить территорию, занятую противником, и тем самым парализовать его моторизованные части (разработка проф. С.Г. Гутмана)». Установить источники, из которых взяты эти данные, нам не удалось.

В 1963 г. сотрудниками Гипролестранса под руководством инженера К. И. Страхова на р. Щучка Кингисеппского района Ленинградской области была установлена водоподпорная плотина, которая состояла из брезентовой водонаполняемой цилиндрической оболочки, покрытой битумной мастикой, и понура, уложенных на дно реки без всякой подготовки. Брезентовая водонаполняемая плотина ( $B = 5,0$  м,  $H = 0,5$  м) простояла несколько часов, после чего ее убрали.

О строительстве первых тканевых плотин в США в 1957 и 1959 гг. написано достаточно много [1, 3, 5–11]. Отметим один очень важный факт: в 1952 г. главный инженер Лос-Анджелесского департамента электроэнергии и водного хозяйства Н. М. Имбертсон обратился в фирму Firestone с просьбой разработать материал с высокой механической прочностью, достаточно гибкий, устойчивый к погодным воздействиям. Такой материал был создан на основе двухслойной нейлоновой ткани с покрытием из неопренового каучука, с кратковременной прочностью на разрыв  $89,3$  кН/м и толщиной тканевого материала  $t = 3,18$  мм, т. е.  $\sigma_y = 28,1$  МПа. По нашему мнению, это являлось определяющим фактором в успешной и длительной работе тканевой плотины «Фабридем» на р. Лос-Анджелес ( $B = 39,65$  м,  $H = 1,83$  м).

Существенной отличительной особенностью первых тканевых водонаполняемых плотин, построенных под руководством Б. И. Сергеева в 1966 г. ( $B = 16,0$  м,  $H = 1,0$  м) и в 1967 г. ( $B = 16,0$  м,  $H = 1,0$  м) на р. Китерня Тюменской области [1–3, 5, 6, 10–18], является то, что цилиндрическая оболочка и понур этих плотин изготовлялись из капроновой ткани с резиновым покрытием с кратковременной прочностью на разрыв по основе  $T_0 = 74$  кН/м и по утку  $T_y = 100$  кН/м при толщине тканевого композита  $t = 1,2$  мм, т. е.  $(\sigma_0)_y = 61,7$  МПа,  $(\sigma_y)_y = 83,3$  МПа, в то время как все предыдущие отечественные тканевые плотины изготовлялись из брезента.

Значительные успехи в разработке основ и первых расчетных схем мягких оболочек достигнуты Л. И. Балабухом, С. А. Бернштейном, В. Л. Бидерманом, В. Л. Бухиным, А. Г. Воробьевым, Г. А. Гениевым, А. Б. Губенко, В. А. Киселевым, Е. С. Кузнецовым, А. Л. Можевитиновым, С. П. Поповым, Г. И. Покровским, А. Р. Ржаницыным, В. И. Феодосьевым, К. М. Хуберяном и др. [2, 3, 11–16].

Современное состояние теории мягких оболочек во многом определилось фундаментальными работами проф. С. А. Алексева [1–3, 11–16], в которых даны основы теории, сформулированы основные задачи, приведены принципиальные схемы их решения.

Развитию общей и технической теории мягких оболочек, применяемых в различных отраслях народного хозяйства, способствовали работы С. А. Алексева, Ю. И. Блинова, В. А. Волосухина, А. С. Григорьева, Б. В. Гулина, Б. И. Друзя, В. В. Ермолаева, М. А. Ильгамова, В. Д. Кулагина, В. Э. Магулы, Ф. Отто, Б. И. Петракова, В. С. Рахутина, В. В. Риделя, Б. И. Сергеева, Г. Я. Степановича, Р. Тростеля, В. И. Усюкина, К. М. Хуберяна, К. Ф. Черных и др. [1–3, 11–16, 19–22].

Исследованием конструкций и сооружений из тканевых материалов с водонепроницаемым покрытием в гидротехническом и мелиоративном строительстве и вопросами применения таких конструкций и сооружений занимались В. Л. Бондаренко, Ю. П. Борисовец, Я. В. Бочкарев, В. Н. Бурдинский, А. А. Быстров, В. А. Волосухин, И. И. Величко, Б. Д. Горшман, А. Г. Гуюмджибашян, Г. М. Дасов, О. Г. Затворницкий, Н. Н. Калашников, В. И. Кашарин, Т. П. Кашарина, С. В. Кибальников, Ю. М. Косиченко, А. В. Крошнев, М. Курукуласурия, В. В. Лагутов, А. И. Лемешев, Х. П. Лийв,

А. Л. Можевитинов, А. П. Назаров, В. П. Несвит, С. Г. Новиков, И. А. Петров, А. И. Петрухно, М. И. Пономаренко, Н. П. Розанов, Г. В. Рудаков, А. А. Саруханян, Ю. А. Свистунов, Б. И. Сергеев, П. М. Степанов, К. И. Страхов, В. А. Сурин, Г. А. Сухоручкин, Вад. М. Федоров, Викт. М. Федоров, Ю. Г. Филиппов, К. М. Хуберян, И. М. Цивина, Г. Ю. Шейнкин, Г. А. Штоколов, Б. Б. Шумаков, В. Н. Щедрин, А. И. Блясов и др. [1–22].

Из зарубежных авторов следует отметить работы Н. О. Anwara, А. М. Binnie, Н. J. Burg, Н. В. Harrison, N. M. Hitch, N. M. Imbertson, I. Kalis, I. Mika, R. D. Parbery и др. [1–3, 10–18].

Особо следует отметить работы директора Института легких несущих конструкций Штутгартского университета Ф. Отто [1, 3].

Совершенствованию тканевых сооружений мелиоративных систем способствовал обмен опытом в области теоретических, экспериментальных и натурных исследований, конструктивных разработок и внедрения мягких и гибких оболочек в других отраслях народного хозяйства.

Значительный вклад в разработку конструкций и сооружений из тканевых материалов, используемых в других отраслях народного хозяйства, и методов их расчета внесен:

- в области космонавтики и авиации (парашюты, тканевые отражатели телескопов, ретрансляторы, спутники, тормозные устройства, летательные аппараты, элементы орбитальных станций и другие конструкции) – С. А. Алексеевым, С. М. Белоцерковским, Р. Г. Борсовым, Б. Д. Гулиным, Н. А. Глухой, Ю. М. Давыдовым, Р. Г. Зариповым, М. А. Ильгамовым, П. И. Кононенко, Р. Н. Мифтаховым, А. Г. Молчановым, М. И. Ништом, С. В. Пановым, А. Т. Пономаревым, Х. А. Рахматулиным, О. В. Рысевым, Р. М. Сахабутдиновым, А. Н. Сдобниковым, А. Г. Ситдиковым, В. А. Терещенко, В. И. Усюкиным, М. Д. Фроловым, С. П. Черниковым, С. С. Ярулиным и др. [1–4, 8–22];

- в судостроении (кранцы, спасательные плоты, тканевые емкости, надувные понтоны и другие конструкции) – В. И. Алексеевым, А. И. Азовцевым, Б. И. Друзем, Н. Ф. Емельяновым, В. В. Зайцевым, Г. В. Клебановым, С. Д. Кнорингом, Ю. Н. Коробановым, В. Д. Кулагиным, В. Э. Магулой, А. Д. Москаленко, В. Г. Непейводой, С. А. Огаем, Е. А. Павлиновой, А. И. Потутаровским, В. А. Хованцом и др. [1–4, 8–22];

- в горном деле (индивидуальные переносные крепи – пневмокостры, пневмомокры, пневмостойки; шахтные пневматические крепи, шахтные перемычки и другие конструкции) – А. Н. Журбой, В. Л. Засадков, И. Ф. Ивановым, А. И. Ильиным, Я. Э. Некрасовым, В. С. Рахутиным, М. Б. Розенталем, Г. Я. Степановичем и др. [1, 3];

- в строительстве (тентовые здания и сооружения, воздухоопорные, пневмокаркасные, пневмовантовые сооружения, пневмоопалубки и многие другие конструкции и сооружения) – А. В. Безбородым, Д. А. Бейлиным, А. С. Белоозеровой, Т. П. Бирюковой, Ю. И. Блиновым, Л. К. Бородиной, Б. Ф. Виндтом, С. Б. Вознесенским, Г. А. Гениевым, Ф. Х. Глебовой, А. С. Григорьевым, А. Б. Губенко, Э. Н. Данелией, Г. А. Денисовым, В. В. Ермоловым, К. И. Зайцевым, Г. Н. Зубаревым, Т. П. Копсовой, В. Н. Куприяновым, А. В. Мараловым, Т. Г. Меркушкиной, В. А. Никереевым, В. И. Мешкуровым, А. С. Миловидовым, И. Х. Мифтахутдиновым, В. М. Отрощенко, Б. И. Петраковым, М. И. Петровниным, В. А. Пигиным, Г. И. Покровским, В. П. Поляковым, В. С. Поляковым, В. М. Прокофьевым, В. П. Селивановым, В. А. Сладковым, А. М. Смирновым, Л. А. Старостиной, Е. М. Удлером, А. П. Ханканиным, В. И. Харченко, Ю. И. Хрущевым, В. К. Цыхановским, В. К. Швинком, Н. С. Шелеховым, И. Л. Шиком, О. В. Шок, В. П. Шпаковым, В. Ф. Щур и др. [1–4, 8–18].

Наиболее полно библиография по мягким гидротехническим конструкциям и сооружениям представлена в работе ЮжНИИГиМ за 1979 г., в которой приведено 1588 источников [1]. Библиографический указатель публикаций сотрудников ЮжНИИГиМ

за 1970–1979 гг. [1, 3] включает 313 источников по МГК. В широко известном обзоре проф. В. Э. Магулы имеются ссылки на 135 источников [1, 3], следует также отметить библиографические обзоры К. Г. Бомштейна, В. В. Ермолова и Ю. И. Блинова [1, 3].

В 60-е гг. XX в. профессорами С. А. Алексеевым, А. Л. Гольденвейзером, В. И. Феодосьевым и др. был обоснован термин «мягкая оболочка». Под мягкой оболочкой следует понимать безмоментную оболочку, неспособную воспринимать сжимающие напряжения [1–22]. Безмоментность обеспечивается тем, что размеры оболочки во много раз (на несколько порядков) превосходят толщину.

Мягкая оболочка может находиться либо в двухосном напряженном состоянии ( $\sigma_1 > 0$ ,  $\sigma_2 > 0$ ), когда оба главных напряжения положительны, либо в одноосном напряженном состоянии, когда меньшее главное напряжение ( $\sigma_1 > \sigma_2$ ) получается отрицательным ( $\sigma_2 < 0$ ). В этом случае меньшее главное напряжение принимается равным нулю ( $\sigma_2 = 0$ ) и оболочка в одноосном напряженном состоянии работает как система абсолютно гибких нитей. В одноосно напряженных мягких оболочках могут образовываться складки в направлениях, где меньшее напряжение ( $\sigma_2 < 0$ ) сжимающее.

В. Э. Магулой, М. Б. Розенталем, В. А. Волосухиным теоретически и экспериментально обоснованы критерии, по которым оболочку можно относить к классу «мягкая оболочка».

Большой вклад в развитие технической теории МГК, в т. ч. при больших перемещениях и деформациях, внесен проф. В. А. Волосухиным [2, 3, 19–21].

*Мягкой гидротехнической конструкцией* называется такая конструкция, у которой основным рабочим элементом является *мягкая оболочка*.

Широкие возможности применения МГК обусловлены рядом их достоинств. Они имеют незначительный вес, компактны в свернутом состоянии, просты в изготовлении, монтаже и демонтаже, обладают хорошей маневренностью во время работы и высокой сейсмостойкостью. Почти все элементы МГК могут изготавливаться в заводских условиях.

В Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте (НИМИ) в период 1966–1974 гг. проведены комплексные исследования МГК благодаря поддержке Б. А. Шумакова, Б. Б. Шумакова и И. М. Волкова. В это время защищены кандидатские диссертации Б. И. Сергеевым (1968 г.), И. А. Петровым (1972 г.), Г. А. Штокаловым (1972 г.), В. Л. Бондаренко (1974 г.), А. П. Назаровым (1974 г.) и докторская диссертация Б. И. Сергеевым (1974 г.).

Указанными сотрудниками обобщен опыт на тот период проектирования, изготовления, строительства и эксплуатации мягких плотин наплавного и мембранного типа и мягких затворов на р. Китерня Тюменской области (1966, 1967 гг.), на р. Белая Ростовской области (1970 г.), на канале Р-2 Краснодарского края (1970 г.), на р. Меша и Иинка Татарской АССР (1972 г.), на канале Дагестанской АССР (1973 г.), на р. Шопша Ярославской области (1973 г.).

Б. И. Сергеевым и В. Л. Бондаренко разработана конструкторская документация на Уфимском заводе РТИ (1973, 1974 гг.) на четыре типа плотин мягких наливных (ПМН-А, ПМН-Б, ПМН-В, ПМН-Г) и пять типов плотин мягких мембранных (ПММ-А, ПММ-Б, ПММ-В, ПММ-Г, ПММ-Д).

С 1975 по 1985 г. в СССР организацией, координирующей исследование, проектирование, изготовление и внедрение МГК, являлся ЮжНИИГиМ [12–18].

В это время защищены диссертации В. А. Волосухиным (1975 г.), В. Н. Щедриным (1977 г.).

Результаты исследований в ЮжНИИГиМ и НИМИ положены в основу защищенных кандидатских диссертаций А. В. Крошнева (1982 г.), Ю. А. Свистунова (1982 г.), В. И. Кашарина (1983 г.), И. М. Цивиной (1983 г.), Вад. М. Федорова (1983 г.), Н. Е. Калашникова (1983 г.), В. П. Несвит (1984 г.), Х. П. Лийв (1986 г.), В. Б. Ковшевацкого

(1986 г.), М. И. Пономаренко (1987 г.), С. Г. Новикова (1992 г.), Т. П. Кашариной (1994 г.), А. И. Лемешева (1997 г.) и др., а также докторских диссертаций А. И. Ильясва (1990 г.), В. А. Волосухина (1995 г.), В. Н. Щедрина (1995 г.), В. Л. Бондаренко (1997 г.), Ю. А. Свистунова (1998 г.), Т. П. Кашариной (2000 г.), Викт. М. Федорова (2012 г.), А. Р. Фазылова (2015 г.), А. А. Пахомова (2018 г.) и др.

Усилиями В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухина, И. А. Зинова проведены комплексные научные исследования, организовано заводское изготовление и установка на водозаборных сооружениях *наплавных МГК*, защищенных патентами РФ.

Разработки В. А. Волосухина, С. Г. Новикова, Б. Н. Малышевича доведены до заводского изготовления в условиях курского завода «Рассвет-К», а именно *плоскостворачиваемые бесшовные трубопроводы с переменным водоотбором по длине*, а также водонаполняемые дамбы. Опытные партии водонаполняемых дамб для борьбы с паводками и наводнениями, проведения ремонтных работ установлены в бассейне Кубани и Терека. На последний тип конструкций МГК (*водонаполняемые дамбы*, защищенные патентами РФ) НТС Минсельхоза России утверждены пять нормативных документов (2007 г.).

В. А. Волосухиным, Т. Н. Меркуловой, А. С. Кравченко проведены комплексные исследования пульпонаполняемых геотуб из отечественного полипропилена для удаления иловых отложений в малых реках, водохранилищах, прудах. На курском заводе «Рассвет-К» В. А. Волосухиным и А. С. Кравченко разработана заводская документация для различного объема геотуб и времени из обезвоживания.

Особняком в научной школе МГК стоят исследования противofiltrационных элементов гидротехнических сооружений из пленочных полимерных и синтетических материалов на каналах и малых водоемах. По данному направлению защищены докторские диссертации Ю. М. Косиченко (1989 г.), В. А. Беловым (2001 г.) и А. В. Ищенко (2010 г.), а также около 30 кандидатских диссертаций.

В южной научной школе МГК разработкой конструкций на базе тороидальных оболочек и их исследованиями занимались и продолжают заниматься А. В. Крошнев, В. А. Волосухин, Б. И. Сергеев, А. А. Коренев и др.

Тороидальным технологиям посвящен целый ряд международных научно-практических конференций, проведенных уже в XXI в. (2004, 2005, 2007, 2008 и другие годы).

Мягкие оболочки как элемент инженерных конструкций, функциональных и энергетических систем имеют большое будущее. Мягкие движители имеют природные системы происхождения.

В научной статье трудно осветить, что сделано московской, ленинградской (питерской), владивостокской, николаевской, казанской и другими научными школами мягких оболочек [1, 3]. Даже в южной научной школе МГК нами не освещен вклад в их развитие С. В. Кибальникова, В. В. Лагутова, Б. Д. Горшмана, В. А. Битюкова, Г. М. Дасова и др. За прошедший 50-летний период МГК посвящено более 1000 публикаций, обзор которых будет приведен в монографии (Москва, 2018), посвященной этой дате.

Расчет композитных балок и оболочек рассмотрен профессором С. П. Тимошенко (1878–1972 гг.) в курсах «Сопроотивление материалов» (1930, 1940, 1945 гг.), «Прикладная теория упругости» (1931 г.) и др. Данный расчет принципиально отличается от расчета мягких оболочек, что не учитывается в работах Т. П. Кашариной, Д. В. Кашарина [23, 24].

Мягкие гидротехнические конструкции имеют большое будущее. За прошедшее время существенное развитие получили новые высокопрочные материалы, технологии их изготовления и нанесения водовоздухонепроницаемых покрытий, способы строительства, эксплуатации и дистанционного управления как в России, так и в странах с развитой экономикой (США, Японии, Германии и др.).

**Список использованных источников**

- 1 Мягкие конструкции, применение их в водохозяйственном строительстве и других отраслях. Библиографический указатель литературы / Б. И. Сергеев [и др.]. – Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1979. – 212 с.
- 2 Волосухин, В. А. Основы теории и методов расчета тканевых сооружений мелиоративных систем: монография / В. А. Волосухин, В. А. Кузнецов. – 2-е изд., испр. и доп. – Новочеркасск: НИМИ Донского ГАУ, 2014. – 266 с.
- 3 Волосухин, В. А. Основы расчета тканевых оболочек гидротехнических сооружений / В. А. Волосухин, Ю. А. Свистунов. – Краснодар: КубГАУ, 1994. – 104 с.
- 4 Затворницкий, О. Г. Конструкции из мягких оболочек в гидротехническом строительстве / О. Г. Затворницкий. – М.: Энергия, 1975. – 143 с.
- 5 Сергеев, Б. И. Мягкие конструкции – новый вид гидротехнических сооружений / Б. И. Сергеев, П. М. Степанов, Б. Б. Шумаков. – М.: Колос, 1971. – 966 с.
- 6 Сергеев, Б. И. Мягкие плотины и возможности их использования при регулировании местного стока: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Сергеев Б. И. – Новочеркасск, 1968. – 31 с.
- 7 Сергеев, Б. И. Расчет мягких конструкций гидротехнических сооружений / Б. И. Сергеев. – Новочеркасск: НИМИ, 1974. – 176 с.
- 8 Сергеев, Б. И. Мягкие конструкции гидротехнических сооружений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Сергеев Б. И. – Новочеркасск, 1974. – 55 с.
- 9 Теория мягких оболочек и их использование в народном хозяйстве / отв. ред. И. И. Ворович. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. гос. ун-та, 1976. – 167 с.
- 10 Бондаренко, В. Л. Исследование мягких плотин мембранного типа: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Бондаренко В. Л. – Новочеркасск, 1974. – 26 с.
- 11 Волосухин, В. А. Теоретические исследования мягких гидротехнических конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Волосухин Виктор Алексеевич. – Новочеркасск, 1974. – 15 с.
- 12 Провести НИР по созданию облегченных типов ГТС с использованием мягких прорезиновых тканей и полимерных материалов, подготовить задание по их разработке: отчет о НИР за 1975–1976 гг. по этапу С-II темы П-5-2 (0.52.02.08.04) / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1976. – Т. 1. – 106 с. – Т. 2. – 201 с. – № ГР 75055237. – Инв. № Б556490.
- 13 Разработать и внедрить облегченные конструкции ГТС из армированных прорезиновых тканей и технологию их строительства и эксплуатации: отчет о НИР за 1975–1976 гг. по вопросу Ш-2-9-1 темы П-5-2 / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1976. – 177 с. – № ГР 75055237. – Инв. № Б600243.
- 14 Провести НИР по созданию облегченных типов ГТС с использованием мягких прорезиновых тканей и полимерных материалов, подготовить задание на их разработку: отчет о НИР (заключ.) за 1976 г. по этапу С-II темы Ш-Б-5 (0.52.02.08.04) / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1976. – 237 с. – № ГР 75055237. – Инв. № А4682.
- 15 Разработать рабочую документацию, изготовить опытно-производственные образцы облегченных типов ГТС и провести испытания в условиях строительства и эксплуатации: отчет о НИР за 1975–1977 гг. по этапу С-13 темы 1.13 (0.52.02.08.04) / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1977. – 124 с. – № ГР 75055237. – Инв. № Б641641.
- 16 Разработать и внедрить облегченные конструкции ГТС из прорезиновых тканей и полимерных материалов: отчет о НИР (заключ.) за 1975–1978 гг. по теме 1.13 (0.52.02.08.04) / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1978. – 217 с. – № ГР 75055237. – Инв. № Б712130.
- 17 Разработка и внедрение облегченных гидротехнических сооружений из полимерных материалов (гибкие регуляторы): отчет о НИР (заключ.) за 1979–1980 гг. по разделу 02 темы 3.10 / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1981. – 184 с. – № ГР 01822020561. – Инв. № 022564.

18 Пластмассы в гидротехническом строительстве. Мягкие конструкции: отчет о НИР (заключ.) за 1980 г. по теме 7.3 (П-371.Б а.б.в) / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1980. – 169 с., ДСП. – № ГР 75055237. – Инв. № А5003.

19 Волосухин, В. А. Физические уравнения тканевых оболочек водного хозяйства / В. А. Волосухин. – Новочеркасск: НИМИ, 1993. – 104 с.

20 Волосухин, В. А. Геометрические уравнения тканевых оболочек при больших перемещениях / В. А. Волосухин. – Новочеркасск: НИМИ, 1993. – 108 с.

21 Волосухин, В. А. Тканевые и сетчатые конструкции в водном хозяйстве / В. А. Волосухин, В. Л. Бондаренко. – Новочеркасск: НИМИ, 1994. – 100 с.

22 Бондаренко, В. Л. Технологические схемы управления качеством воды на водных объектах / В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухин. – Новочеркасск: НИМИ, 1995. – 104 с.

23 Кашарин, Д. В. Расчетное обоснование параметров мобильных водоподпорных сооружений из композитных материалов / Д. В. Кашарин // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 30. – С. 128–138.

24 Кашарина, Т. П. Применение оболочечных конструкций из композитных наноматериалов / Т. П. Кашарина, Д. В. Кашарин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 3. – С. 34–40.

УДК 628.1

**А. А. Манжос**

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛЕНИНСКОГО РАЙОНА, МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

*В статье рассматривается состояние водообеспеченности Ленинского района. Раскрыты проблемы недостатка качественной питьевой воды для населения, обусловленные множеством факторов. Среди них можно выявить такие, как отсутствие подключения к системе водоснабжения некоторых населенных пунктов, большие потери воды из-за чрезмерной изношенности магистральных водоводов и распределительных сетей, низкое качество воды. Выявлено, что общая протяженность магистральных водоводов по Ленинскому району равна 335,9 км, уличных распределительных сетей – 374 км, из них аварийных водоводов – 271 км, что составляет 80,7 %, распределительных сетей – 270 км, что составляет 72,2 %. Питьевой водой обеспечивается 54 населенных пункта Керченского полуострова. Качество очищенной воды на Ленинском гидроузле не соответствует нормативным требованиям по цветности (на 50 %), мутности (на 35 %), запаху (на 65 %), окисляемости (на 40 %). Предложены меры по улучшению условий водоснабжения сельского населения.*

*Ключевые слова: водообеспечение, водные ресурсы, водоснабжение, использование воды, потери воды.*

\*\*\*\*\*

**A. A. Manzhos**

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

### **WATER SUPPLY STATUS ASSESSMENT IN LENINSKIY DISTRICT, ACTIVITIES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF WATER RESOURCES USE**

*The state of water availability in Leninskiy district is considered. The problems of shortage of quality potable water for population caused by a variety of factors are revealed.*

*Among them such issues as the lack of tie-ins to water supply systems of some localities, large water losses due to excessive wear and tear of main water pipelines and distribution networks, low water quality are revealed. It was found that the total length of main water supply lines in Leninskiy District is 335.9 km, street distribution networks – 374 km, of which 271 km are emergency water pipelines, which is 80.7 %, distribution networks are 270 km, which is 72.2 %. Drinking water is provided to 54 settlements of the Kerch Peninsula. The purified water quality at the Leninskiy hydraulic works does not meet the normative requirements for color (by 50 %), turbidity (by 35 %), odor (by 65 %), oxidability (by 40 %). Measures to improve the conditions of water supply for the rural population have been proposed.*

*Key words: water delivery, water resources, water supply, water use, water losses.*

**Введение.** В настоящее время Республика Крым характеризуется неравномерностью распределения и малым обеспечением запасов водных ресурсов. В связи с этим сельскохозяйственное водоснабжение республики имеет ряд проблем. В первую очередь это проблемы надежного водоснабжения сельских населенных пунктов качественной питьевой водой. Результаты исследований и статистический анализ показывают, что фактически состояние водоснабжения сельских населенных пунктов в Республике Крым неудовлетворительное.

Ранее более 80 % потребности Крыма в воде обеспечивалось за счет днепровской воды, поступающей по Северо-Крымскому каналу. Вода подавалась для орошения сельскохозяйственных культур, водоснабжения городов Симферополя, Керчи, Феодосии, Судака, Щёлкино и сельских населенных пунктов Ленинского района. Из 397,0 тыс. га орошаемых земель региона только 40,8 тыс. га привязано к местным водоисточникам, из них 34,0 тыс. га – к поверхностным водам [1]. В засушливом Ленинском районе в 2013 г. было полито 1,3 тыс. га, а в 2015 г. совсем не было полива [2].

**Материалы и методы.** Использованы материалы статистической отчетности отдела по вопросам ЖКХ Администрации Ленинского района за 2016 г., отчеты по форме 2-ТП (водхоз) МУП «Ленводоканал», паспорт Государственной программы развития водохозяйственного комплекса Республики Крым на 2017–2020 годы.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В настоящее время подача воды по Северо-Крымскому каналу приостановлена, в связи с чем необходимо решать проблему водообеспечения Ленинского района и других зависимых от днепровской воды регионов.

Одним из вариантов решения данной проблемы является транспортировка поверхностных водных ресурсов местного стока по Северо-Крымскому каналу на восток Крыма, для чего необходимо обеспечить повышение технической надежности и модернизацию элементов водохозяйственного комплекса, насосных станций и гидротехнических сооружений на водохранилищах.

Значительная территория Республики Крым требует защиты от вредного действия вод, связанного с подтоплением сельскохозяйственных земель и сельских населенных пунктов. В зоне возможного подтопления находится более 200 сельских населенных пунктов и 8,5 тыс. га сельхозугодий. Основные причины сложившейся ситуации: неудовлетворительное техническое состояние дренажа и дренажных насосных станций, невыполнение мероприятий по отведению поверхностных стоков, заиление и засорение русел рек [3].

Несоблюдение рекомендуемых норм водоподачи населению также является проблемой. В соответствии с требованиями СП 31.13330.2012 [4], норма водопотребления для городского населения составляет 250 л/(сут·чел.), а для сельского – 170 л/(сут·чел.). В 1995 г. (при численности сельского населения 817,7 тыс. чел.) одним жителем села было использовано 570 л/сут, а в 2015 г. – всего 1,6 л/сут. Такое положение считается катастрофическим и ведет к негативным последствиям, таким как ухудшение здоровья населения, отток жителей из сельской местности и т. д. Для улучшения

качества жизни сельского населения необходимо повысить водообеспечение аграрных районов до соответствующих норм [5].

Известно, что среднее потребление по МУП «Ленводоканал» 4,2 м<sup>3</sup> в месяц на одного абонента. Статистику по различным населенным пунктам можно увидеть в таблице 1.

**Таблица 1 – Среднее потребление в разрезе населенных пунктов, которые обслуживает МУП «Ленводоканал» [6]**

| Населенный пункт | Кол-во абонентов | Среднее потребление воды на 1 абонента за месяц, м <sup>3</sup> | Населенный пункт | Кол-во абонентов | Среднее потребление воды на 1 абонента за месяц, м <sup>3</sup> |
|------------------|------------------|---|------------------|------------------|---|
| Чистополье       | 765              | 3,2   | Новониколаевка   | 410              | 4,7   |
| Уварово          | 323              | 3,3   | Горностаевка     | 939              | 3,8   |
| Батальное        | 504              | 4,2   | Станционное      | 66               | 3,6   |
| Марфовка         | 460              | 1,8   | Каменка          | 82               | 2,7   |
| Королево         | 43               | 5,5   | Семисотка        | 659              | 2,8   |
| Южное            | 36               | 7,0   | Ленинское        | 632              | 3,5   |
| Белинское        | 176              | 2,9   | Либкнехтовка     | 105              | 3,9   |
| Нижнезаморское   | 52               | 1,8   | Заветное         | 571              | 1,8   |
| Верхнезаморское  | 54               | 3,1   | Марьевка         | 189              | 4,8   |
| Кирово           | 253              | 5,1   | Пташкино         | 16               | 17,6  |
| Ильичево         | 647              | 5,3   | Вязниково        | 19               | 3,0   |
| Луговое          | 302              | 5,7   | Тасуново         | 25               | 4,4   |
| Красногорка      | 298              | 5,5   | Вулкановка       | 4022             | 4,1   |
| Песочное         | 115              | 2,3   | Челядиново       | 406              | 1,6   |
| Ерофеево         | 53               | 5,1   | Виноградное      | 416              | 4,6   |
| Останино         | 525              | 3,5   | Ленино           | 3521             | 4,2   |

В республике число населенных пунктов, в которых вода не соответствует санитарным нормам или вообще отсутствует, составляет 161. Одним из наиболее проблемных в этом отношении является Ленинский район. На территории района услуги водоснабжения предоставляют МУП «Ленводоканал», МУП ГПШ «Водоканал», МУП «Багеровокоммунсервис», МУП «Селькоммунхоз», МУП ЖКХ «Войково», МУП «Мобилон», МУП «ЛТКБ».

Услуги водоотведения предоставляют МУП «Ленводоканал», МУП ГПШ «Водоканал», МУП «Багеровокоммунсервис».

По итогам переписи населения в Крымском федеральном округе по состоянию на 2017 г. численность постоянного населения Ленинского района составила 59679 чел. в 27 муниципальных образованиях (рисунок 1). Жители многих сел вынуждены использовать для питьевых нужд воду повышенной минерализации (до 4,0 г/дм<sup>3</sup>), что говорит о низком ее качестве. Многолетний отбор воды из артезианских скважин Крыма привел к засолению основного питьевого водоносного горизонта.

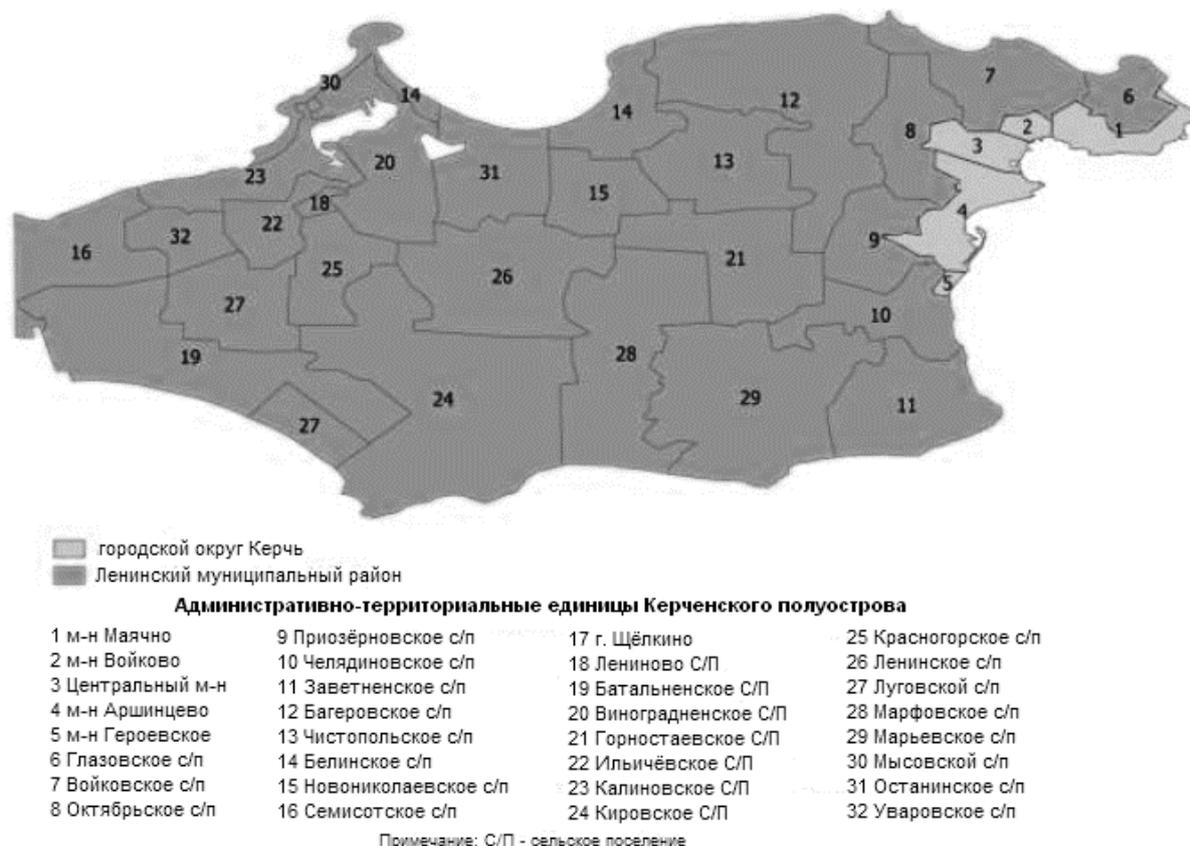
В летний период обеспеченность питьевой водой сельского населения составляет всего около 50 %. Недостаток водных ресурсов ведет к потреблению некачественной воды и, следовательно, вспышкам инфекционных заболеваний.

На сегодняшний день действующая лаборатория, с помощью которой ведется контроль качества воды, есть только в МУП ГПШ «Водоканал».

МУП «Ленводоканал» заключен договор с Роспотребнадзором на проверку качества питьевой воды только по Ленинградской системе водоснабжения.

На остальных водоснабжающих предприятиях отсутствуют лаборатории для про-

верки качества воды. По результатам забора проб воды Роспотребнадзором, вода из скважин является технической, для приведения качества воды к питьевой необходимо скважины оснащать блок-фильтровальными станциями или рассмотреть вопрос строительства магистральных водоводов для централизованного водоснабжения поселений Багерovo, Приозерное, Войково, Глазовка, Октябрьское [6].



**Рисунок 1 – Административно-территориальное устройство Керченского полуострова [7]**

Главные проблемы систем, по представлению органов местного самоуправления, это физический, моральный износ водопроводов, очистных сооружений, машин для полива и отсутствие средств на капремонт и реконструкцию. Большие потери питьевой и технической поливной воды в регионе достигли 80 %. В некоторых домах до сих пор отсутствуют приборы водоучета.

Подача воды водопотребителям в Ленинском районе осуществляется насосными станциями. Персонал МУП обслуживает насосные станции, водонапорные башни, резервуары, водоводы и распределительные водопроводные сети сел.

Выявлено, что общая протяженность магистральных водоводов равна 335,9 км, уличных распределительных сетей – 374 км, из них аварийных водоводов – 271 км, что составляет 80,7 %, распределительных сетей – 270 км, что составляет 72,2 %.

Питьевой водой обеспечиваются 54 населенных пункта Керченского полуострова:

- из Ленинской системы водоснабжения (из Ленинского гидроузла) подача питьевой воды осуществляется в 30 населенных пунктов (в 21 село централизованно – по распределительным сетям, в девять сел – подвоз воды специальным транспортом);
- из Станционной системы водоснабжения (станционных ВОС) водоснабжение осуществляется в 11 населенных пунктов (в восемь сел централизованно – по разводящим сетям, в три села – подвоз специальным транспортом);
- из Сокольской системы водоснабжения (Сокольского БФС) подача питьевой во-

ды осуществляется в 13 населенных пунктов, из них только в двух селах распределительные сети, в другие водоснабжение осуществляется подвозом специальным транспортом.

В связи с тем, что водоочистные сооружения, водоводы и распределительные сети сел были построены в 1960–1985 гг., на сегодняшний день износ составляет 80–100 %.

Аварийные бригады не успевают ликвидировать разрывы, возникающие в большом количестве, некоторые не устраняются месяцами, отсутствует аварийный запас материалов, запорной арматуры, фасонных частей трубопроводов, труб. Создать аварийный запас не позволяет финансовое положение предприятий.

Качество очищенной воды на Ленинском гидроузле не соответствует нормативным требованиям по цветности (на 50 %), мутности (на 35 %), запаху (на 65 %), окисляемости (на 40 %). На Станционной водоочистительной станции половина фильтров не работает по причине загрязненности фильтрующих загрузок. Скорые фильтры Сокольского БФС в количестве трех из пяти требуют безотлагательного ремонта конструкций, поддерживающих плавающие загрузки. Качество очищенной воды на обоих очистных сооружениях не соответствует нормативам по пяти-семи физико-химическим показателям.

Однако необходимо отметить, что дополнительные источники воды можно получить благодаря строительству новых водохранилищ, прудов и накопителей, использованию подземных вод, не ухудшая экологическое состояние окружающей среды, сокращению потерь в системах коммунального водоснабжения и на оросительных каналах, использованию совершенной техники полива, повторному использованию сбросных и сточных вод, опреснению морской и минерализованной подземной воды. По подсчетам разных экспертов, дополнительный объем воды может составить от 150 до 200 млн м<sup>3</sup> [8].

**Предлагаемые пути решения и выводы.** Решение проблемы водоснабжения в сельских населенных пунктах требует сегодня осуществления комплекса научных, организационных, экономических, технологических и других мероприятий, направленных на охрану и рациональное использование водных ресурсов, поэтому в качестве теоретических основ улучшения качества питьевой воды можно принять следующие положения:

- уменьшить нормы водопотребления в сельском и жилищно-коммунальном хозяйстве до экономически и социально обоснованных значений;
- снизить потери воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения на всех этапах очистки и транспортировки, улучшить физическое и моральное состояние систем;
- усовершенствовать технологические процессы в сельском хозяйстве, уменьшить сбросные объемы сточных и дренажных вод;
- интенсивно внедрять во всех секторах сельского хозяйства системы оборотного водоснабжения и повторного использования воды;
- выполнить технико-экономическое обоснование использования сточных вод после этапа доочистки для орошения и микроорошения сельскохозяйственных культур;
- на государственном и региональном уровнях обновить законодательную базу ресурсосбережения для всех видов потребителей на селе;
- обеспечить учет природных, хозяйственно-питьевых и промышленных вод;
- повсеместно внедрить маловодные и безводные технологии промышленных и сельскохозяйственных процессов.

Положительные изменения в обеспечении сельского населения Ленинского района питьевой водой создадут удовлетворительные социально-бытовые и санитарно-эпидемиологические условия жизни и в конечном итоге позитивно скажутся на здоровье населения.

**Список использованных источников**

1 Джапарова, А. М. Аналитическая оценка состояния орошения и водоснабжения в сельских регионах Крыма / А. М. Джапарова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 171–177.

2 Захаров, Р. Ю. Орошение как способ утилизации очищенных сточных вод в Республике Крым / Р. Ю. Захаров, Н. Е. Волкова // Экономика строительства и природопользования. – 2016. – № 1. – С. 54–61.

3 Государственная программа развития водохозяйственного комплекса Республики Крым на 2017–2020 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://gkvod.rk.gov.ru/file/566\(1\).pdf](http://gkvod.rk.gov.ru/file/566(1).pdf), 2016.

4 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СП 31.13330.2012: утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 29.12.11: введ. в действие с 01.01.13. – М., 2015. – 139 с.

5 Иванютин, Н. М. Оценка используемых для питьевого водоснабжения населения Крыма вод с точки зрения их физиологической полноценности / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 3(67). – С. 22–30.

6 Отчет «Водоснабжение, водоотведение Ленинского района» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://lenino.rk.gov.ru/rus/file/pub/pub\\_286065.pdf](http://lenino.rk.gov.ru/rus/file/pub/pub_286065.pdf), 2016.

7 Ошкадер, А. В. Геоэкологическая оценка состояния территории Керченского полуострова при использовании подземных источников водоснабжения: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Ошкадер Анна Валериевна. – М., 2016. – 24 с.

8 Сейтумеров, Э. Э. Актуальные проблемы водообеспечения Крыма / Э. Э. Сейтумеров // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 21–27.

УДК 626.82-52

**В. М. Школьная, А. А. Чураев**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ  
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ**

*В статье рассмотрены существующие алгоритмы работы системы управления в условиях действия ограничений. Приведен вариант работы системы при условии отсутствия ограничений. Описаны три варианта работы при условии действия ограничений. Представлены графики изменения управляющих и возмущающих расходов на входе i-го регулятора уровня верхнего бьефа.*

*Ключевые слова: оросительная система, действия ограничений, регулятор уровня верхнего бьефа, переходные процессы, время добегания, канал-потребитель.*

\*\*\*\*\*

**V. M. Shkol'naya, A. A. Churaev**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

**ANALYSIS OF EXISTING CONTROL SYSTEMS OPERATION ALGORITHMS  
AT IRRIGATION NETWORK UNDER RESTRICTION CONDITIONS**

*The existing control systems operation algorithms under restriction conditiond are presented. The variant of the system operation provided there are no restrictions is consid-*

*ered. Three variants of work under restrictions are described. The discharge record graphs of the controlling and disturbing flow rates at the input of the  $i$ -th upstream water level controller are presented.*

*Key words: irrigation system, restrictions actions, upstream water level controller, transient processes, run-up time, user canal.*

В большинстве случаев на оросительной системе (ОС) имеются условия, ставящие ряд ограничений на управление. Алгоритм работы системы управления, исходя из данных условий, непосредственно должен быть связан с ее практической реализацией. Исследования условий ограничений, а также знания индивидуальных особенностей конкретной ОС необходимы для реализации алгоритма работы [1]. Особенности данной ОС могут формироваться при условии непрерывности ОС составом гидротехнических сооружений (ГТС) и системы управления и контроля и т. п. При создании общего алгоритма соблюсти все условия практически невозможно. Последующую разработку алгоритма необходимо вести, учитывая наиболее явно выраженные ограничения для открытых ОС, которые могут быть связаны с емкостными свойствами объекта управления и временами транспортных задержек.

Осуществление полной оптимизации расходов может быть достигнуто путем формирования определенных условий. Ограничения на управление не дают возможность обеспечить подходящую отработку возмущающих воздействий на всей плоскости ее состояний. При создании алгоритма управления нужно учитывать все возможные ограничения на управление. Поэтому необходимо рассмотреть варианты поведения системы в условиях действия указанных ограничений.

В данном случае анализ выполнен графическим способом при помощи совмещения и графического сложения идеализированных графиков изменения управляющих и возмущающих расходов на входе  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа.

В рассматриваемой структуре время добегания возмущающего расхода всегда равно времени добегания начала изменения возмущающего расхода ( $t_{д.в.} = t_{н.в.}$ ).

Необходимо выполнить следующие условия для упрощения анализа [2]:

- все каналы-потребители за время действия переходных процессов, за исключением  $i$ -го, создавшие эти переходные процессы, своего состояния не изменяют;

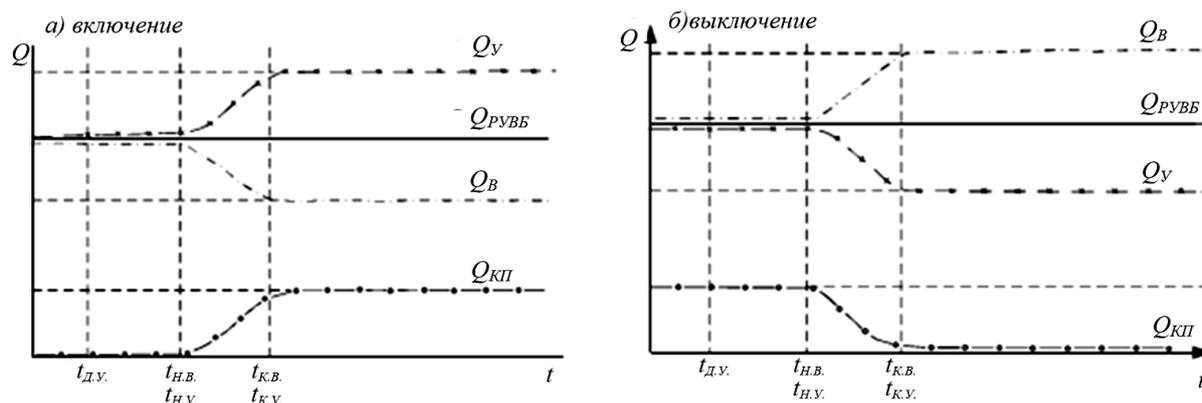
- изменение потребления воды канала-потребителя происходит от 0 до канала-потребителя возмущающего расхода ( $Q_{кп}$ ) при включении и от канала-потребителя возмущающего расхода ( $Q_{кп}$ ) до 0 при их отключении;

- максимальное изменение управляющего расхода ( $Q_y$ ) равно максимальному забору воды  $i$ -го потребителя;

- переходные характеристики регулятора уровня верхнего бьефа управляющего расхода ( $Q_y(t)$ ) и регулятора уровня верхнего бьефа возмущающего расхода ( $Q_B(t)$ ) описываются дифференциальными уравнениями первого порядка.

Возникновение у потребителей дефицитов воды и последующие ее сбросы с точки зрения управляемости неравноценны, поскольку при анализе в свою очередь была учтена специфика водораспределения в открытых оросительных каналах при его регулировании по верхнему бьефу. При подключении потребителей образующийся дефицит воды можно устранить путем последующей подачи дополнительных расходов в систему, иными словами, он является параметром, который поддается управлению. В свою очередь, сбросы неуправляемы (кроме случая, когда не представляется возможным использовать их в нижележащих бьефах во время добегания их до водосбросного сооружения). Исходя из этого, при одинаковых условиях управления необходимо отдельно рассматривать работу сети при включении и отключении потребителей.

Работа системы при условии отсутствия ограничений приведена на рисунке 1.



$Q_y$  – закон изменения на входе  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа управляющего расхода, поданного на вход системы;  $Q_{КП}$  – закон изменения на входе в  $i$ -й канал-потребитель возмущающего расхода, забираемого водопользователем;  $Q_B$  – закон изменения на входе  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа возмущающего расхода, забираемого  $i$ -м каналом-потребителем;  $Q_{PUBB}$  – закон изменения на выходе  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа суммарного расхода;  $t_{д.у.}$  – время добегания  $Q_y$  от входа в систему до  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа;  $t_{н.у.}$ ,  $t_{к.у.}$  – время начала и конца изменения  $Q_y$  на входе  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа;  $t_{н.в.}$ ,  $t_{к.в.}$  – время начала и конца изменения  $Q_B$  на входе  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа

**Рисунок 1 – Работа системы при отсутствии ограничений**

Приведем варианты работы системы при невыполнении ограничений.

**Вариант 1.** Работа системы в условиях действия ограничений, связанных с постоянно меняющимися свойствами канала, иными словами, когда:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^{\infty} Q_y(t) dt < \int_0^{\infty} Q_B(t) dt \\ t_{д.у.} < t_{д.в.} \end{array} \right.,$$

где  $t_{д.в.}$  – время добегания  $Q_B$  от водораспределителей в  $i$ -м канале-потребителе до  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа.

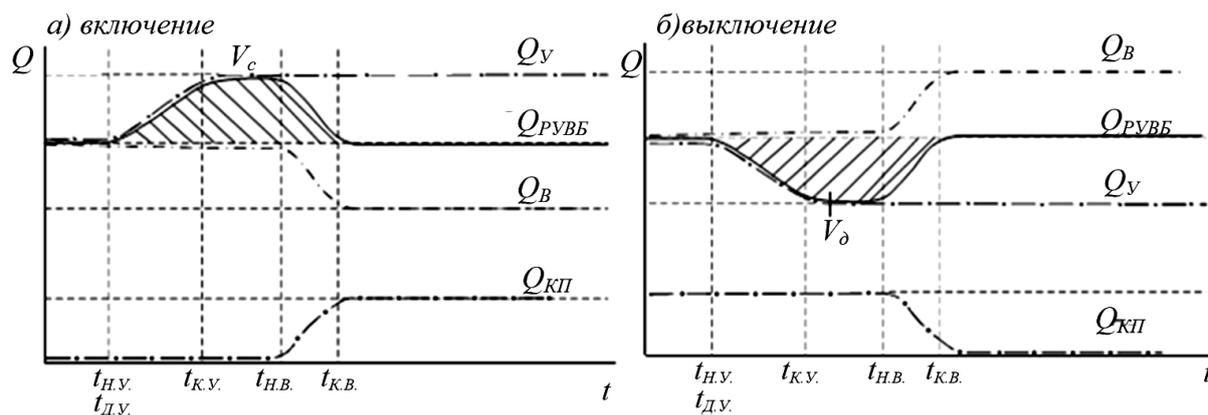
При включении  $i$ -го канала-потребителя на вход системы подается управляющий расход  $Q_y(t)$ , который достигнет его входа раньше, чем начнет изменяться на этом входе возмущающий расход  $Q_B(t)$ , следовательно, будут происходить непроизводительные сбросы через  $i$ -й регулятор уровня верхнего бьефа в течение времени  $t_{д.в.} - t_{д.у.}$ .

Рассмотрим три варианта работы системы (рисунки 2–4):

- при  $t_{к.у.} < t_{н.в.}$  будут наблюдаться только сбросы;
- при  $t_{к.у.} > t_{к.в.}$  вначале будет сброс, а затем образование дефицита;
- при  $t_{н.у.} = t_{к.в.}$  будет наблюдаться только дефицит.

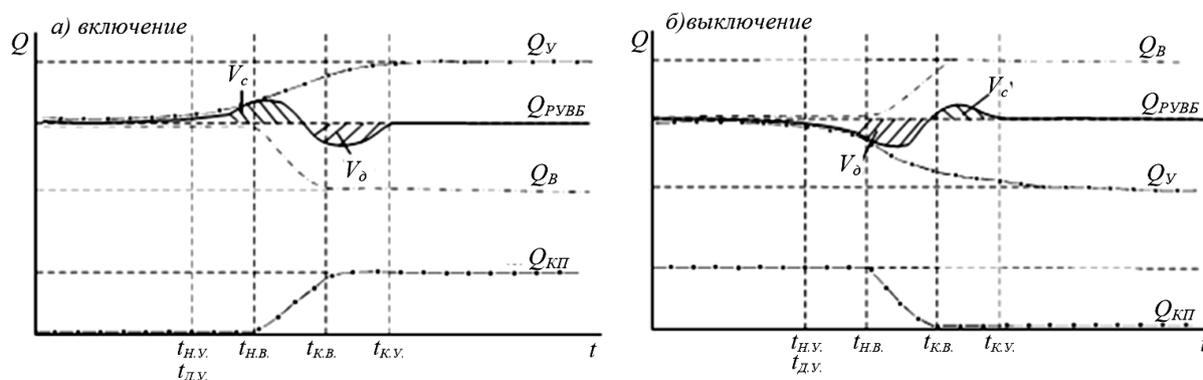
Возможен вариант, когда  $t_{н.в.} < t_{к.у.} < t_{к.в.}$ .

Исходя из данных условий, в зависимости от положения времени конца изменения  $t_{к.у.}$  управляющего расхода в этом интервале будет наблюдаться первый или второй вариант работы системы, следовательно, он не подлежит отдельному рассмотрению.

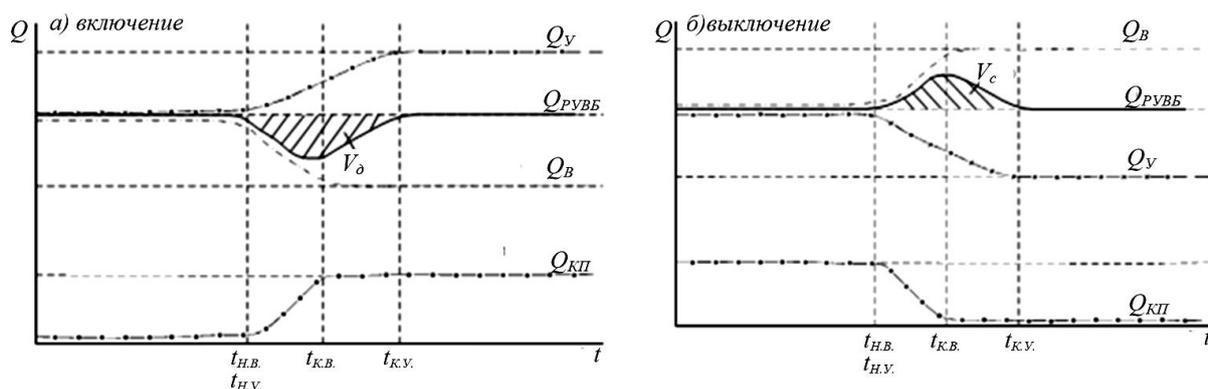


$V_c$  – объем образующегося сброса через  $i$ -й регулятор уровня верхнего бьефа в нижележащие бьефы;  $V_d$  – то же, дефицита для нижележащих бьефов

**Рисунок 2 – Работа системы в условиях воздействия ограничений, связанных с емкостными свойствами каналов, при  $t_{к.у.} < t_{н.в.}$ .**



**Рисунок 3 – Работа системы в условиях воздействия ограничений, связанных с емкостными свойствами каналов, при  $t_{к.у.} > t_{к.в.}$ .**



**Рисунок 4 – Работа системы в условиях воздействия ограничений, связанных с емкостными свойствами каналов, при  $t_{н.у.} = t_{к.в.}$ .**

После отключения канала-потребителя происходит немедленное снижение управляющего расхода  $Q_y(t)$  на входе сети, что приводит к возникновению дефицита воды у потребителей. Вместе с тем в зависимости от соотношения времени добегания возможны приведенные ниже варианты работы системы:

- при  $t_{к.у.} < t_{н.в.}$  образуется только дефицит (рисунок 2, б);

- при  $t_{к.у.} > t_{к.в.}$  образуется дефицит с последующим сбросом (рисунок 3, б);
- при  $t_{н.у.} = t_{к.в.}$  будут наблюдаться только сбросы (рисунок 4, б).

В данном случае, так же как и при включении, при соотношении  $t_{н.в.} < t_{к.у.} < t_{к.в.}$  в зависимости от положения  $t_{к.у.}$  в этом интервале будет наблюдаться либо первый, либо второй вариант работы системы.

**Вариант 2.** Работа системы в условиях действия ограничений, связанных с временами добегающих расходов, т. е. когда:

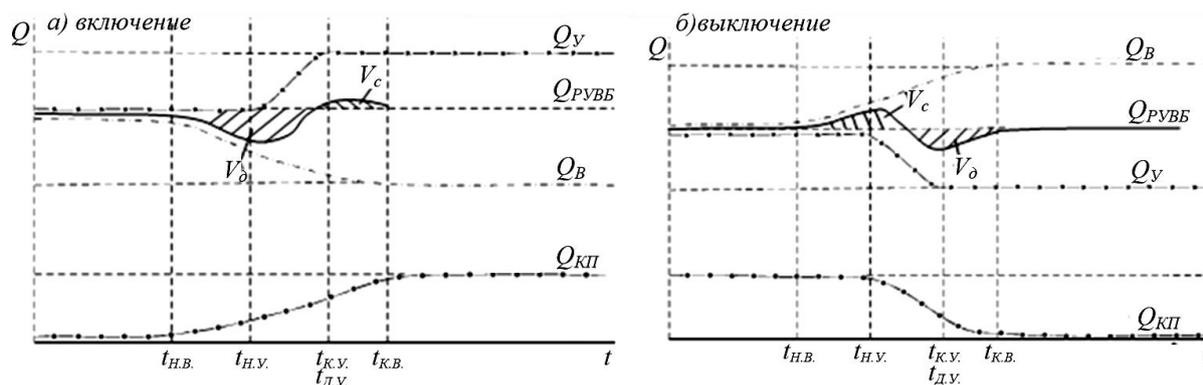
$$\begin{cases} \int_0^{\infty} Q_y(t) dt \geq \int_0^{\infty} Q_B(t) dt \\ t_{д.у.} > t_{д.в.} \end{cases}$$

При включении канала-потребителя в этом случае избежать образования дефицита невозможно (рисунки 5, а, б, а). Но в зависимости от соотношения:

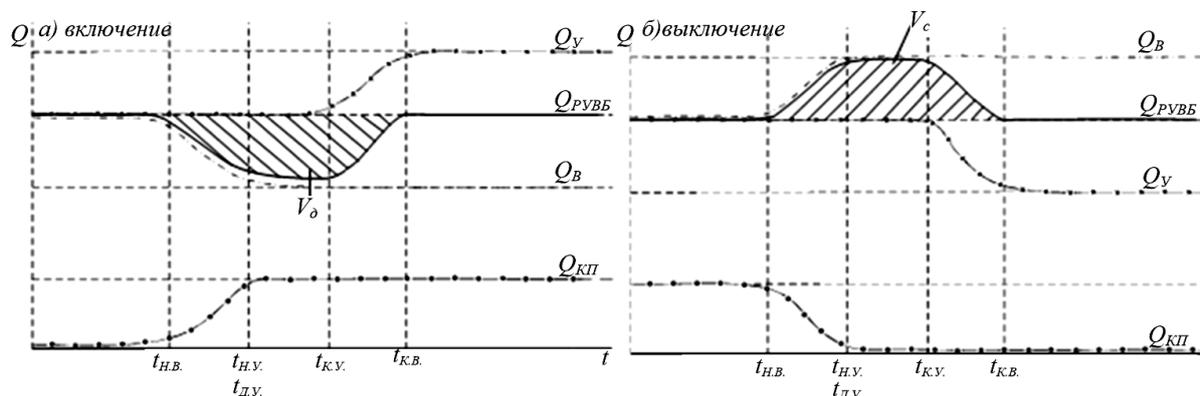
$$t_{д.у.} \leq t_{д.кп},$$

где  $t_{д.кп}$  – время добегающего расхода  $Q_{кп}$  от входа в систему до  $i$ -го регулятора уровня верхнего бьефа, возможны два основных варианта работы системы:

- при  $t_{н.у.} < t_{к.в.}$  образуется дефицит с последующим сбросом;
- при  $t_{н.у.} > t_{к.в.}$  образуется только дефицит.



**Рисунок 5 – Работа системы в условиях воздействия ограничений, связанных с временами добегающих расходов, при  $t_{н.у.} < t_{к.в.}$ .**



**Рисунок 6 – Работа системы в условиях воздействия ограничений, связанных с временами добегающих расходов, при  $t_{н.у.} > t_{к.в.}$ .**

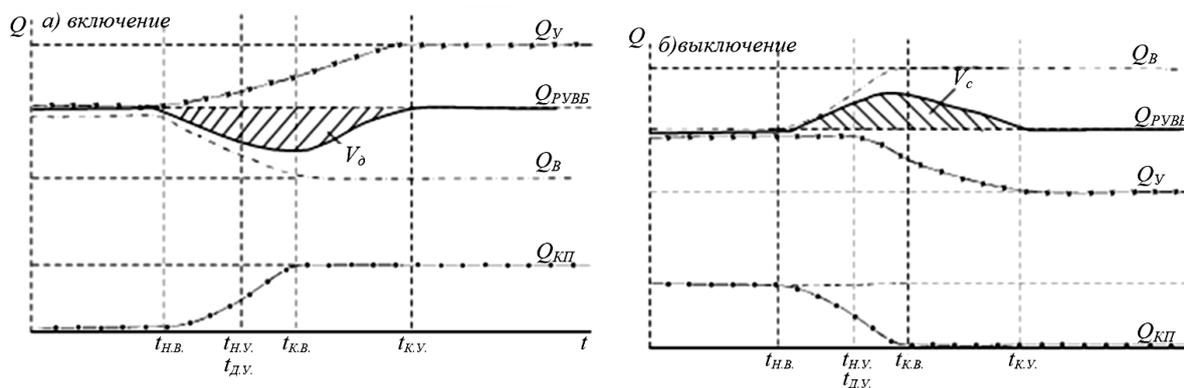
При отключении, как можно увидеть из данных рисунков 5, б и 6, б, сброс неизбежен. При этом также возможны два варианта работы системы:

- при  $t_{Н.У.} < t_{К.В.}$  сначала следует сброс, а затем – образование дефицита;
- при  $t_{Н.У.} > t_{К.В.}$  будут наблюдаться только сбросы.

**Вариант 3.** Работа системы в условиях действия ограничений, связанных с динамическими (емкостными) свойствами канала и временами добегания расходов, т. е. когда:

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} Q_Y(t) dt \geq \int_0^{\infty} Q_B(t) dt \\ t_{Д.У.} > t_{Д.В.} \end{cases}$$

При условии действий этих ограничений работа системы в данном случае не будет отличаться от работы в условиях действия ограничений по временам транспортных задержек при  $t_{Д.У.} > t_{Д.В.}$ . Включение образует дефицит, выключение – сброс (рисунок 7, б).



**Рисунок 7 – Работа системы в условиях воздействия ограничений, связанных с емкостными свойствами каналов и временами добегания расходов**

В данных условиях возможны четыре варианта работы системы.

1 Создание дефицита. Процесс создания дефицита является управляемым. При его образовании дефицит воды увеличивается в нижележащем бьефе и дальше не распространяется по системе. В этом случае его можно восполнить подачей в ОС дополнительных объемов воды. В связи с этим предполагается, что в нижележащем бьефе присутствуют резервные объемы регулирования, обеспечивающие его работоспособность в течение времени добегания до него дополнительного расхода.

2 Дефицит – сброс. В данном варианте работы системы для следующего частичного или полного устранения дефицита могут быть использованы образующиеся после него сбросы. При этом:

$$V_{доп} = V_d - V_c.$$

Если  $V_d < V_c$ , то  $V_{доп} = 0$  и дополнительных усилий на управление на входе в систему не потребуется.

Фактический сброс из системы при соблюдении этих условий в целом будет меньше:

$$V_{С.Ф.} = V_c - V_d.$$

Данное решение будет оптимальным при выполнении условия  $V_d = V_c$ , так как в текущем условии на выходе системы не будет наблюдаться дефицит и сброс. Поэтому в некоторых вариантах работы системы необходимо создавать искусственный дефицит с тем условием, при котором он будет равен следующему за ним сбросу. Это возможно, например, когда  $t_{Д.У.} < t_{Д.В.}$  (или при плановом включении  $i$ -го потребителя). Тогда будет возможность регулировать время подачи изменяемого расхода на входе потребителя путем его вычисления из условия:

$$\int_0^{\infty} [Q_Y(t_{Н.У.} + t) - Q_B(t_{Д.В.} + t)] dt \rightarrow \min.$$

Зная  $t_{Д.У.}$  до данного потребителя и  $t_{Н.У.}$ , можно вычислить время задержки начала подачи  $t_3$  управляющего расхода на входе системы:

$$t_3 = t_{Н.У.} - t_{Д.У.}$$

3 Сброс – дефицит. Этот вариант работы системы является самым неблагоприятным с точки зрения управления, так как возникает непроизводительный сброс воды, и еще необходимы действия по устранению образующегося после этого дефицита. С этой целью определяется время начала образования дефицита из условия:

$$\int_0^{t_1} Q_Y(t) dt = \int_0^{t_1} Q_B(t) dt,$$

а затем объем  $V_{доп}$ , который нужно дополнительно подать в ОС:

$$V_{доп} = \int_0^{\infty} [Q_Y(t) - Q_B(t)] dt.$$

4 Сброс. В данной системе сброс воды является неуправляемым параметром, в связи с чем задача управления в этом случае сводится к минимуму и состоит в немедленном изменении расхода на управляющем сооружении.

**Выводы.** При выполнении анализа были рассмотрены три варианта работы системы в условиях действия ограничений, связанных: 1) с постоянно изменяющимися свойствами канала, 2) временами добегания расходов, 3) динамическими (емкостными) свойствами канала и временами добегания расходов. Оптимальным в данном случае является третий вариант, так как фактический сброс из системы в целом будет меньше, а при выполнении условия, что объем образующегося дефицита для нижележащих бьефов будет равен объему образующегося сброса, на выходе системы не будет наблюдаться дефицит и сброс воды.

#### Список использованных источников

1 Коржов, В. И. Совершенствование алгоритмов управления водораспределением на межхозяйственной и внутрихозяйственной открытой оросительной сети / В. И. Коржов // Повышение эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве: тез. конф., 25–29 сент. 1989 г. – Ч. 2. – Новочеркасск: Южгипроводхоз. – С. 179.

2 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.

УДК 621.67,626.83

**А. И. Азимов, Б. Б. Хасанов**

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства,  
Ташкент, Республика Узбекистан

**О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова**

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент,  
Республика Узбекистан

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И БЕЗОПАСНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

*Целью исследований являлись основные мероприятия по повышению эффективности эксплуатации и безопасности сооружений насосных станций (НС), ликвидации*

*непроизводительных потерь электроэнергии, напора и перепадов уровней воды, зашламливания аванкамер, уменьшения высоты подъема воды при различных углах разворота лопастей рабочего колеса, внедрению энерговодосберегающих технологий при эксплуатации НС, совершенствованию конструкций регуляционных и сопрягающих сооружений с переходными процессами. Для управления надежностью НС анализируются статические модели, динамические модели с сосредоточенными параметрами и динамические модели с распределенными параметрами.*

*Ключевые слова: насосные станции, эксплуатация, насосные агрегаты, безопасность, надежность, сопрягающие сооружения.*

\*\*\*\*\*

**A. I. Azimov, B. B. Khasanov**

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

**O. Ya. Glovatskiy, N. R. Nasyrova**

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

### ESTIMATION OF OPERATION AND SAFETY EFFICIENCY OF PUMPING STATIONS

*The aim of the research were the main activities on increasing the pumping stations (PS) structure operation and safety efficiency, eliminating the downtime unproductive losses of electricity, pressure and water level differences, siltation of the diversion chamber, reducing the water lift at different turning angles of the impeller holes, the introduction of energy-saving technologies in the operation of pumping stations, the improvement of the construction of regulatory and grade control structures with transient processes. The static models, the dynamic models with lumped parameters, and dynamical models with distributed parameters are analyzed to control the reliability of the PS.*

*Key words: pumping stations, operation, pump units, safety, reliability, grade control structures.*

Узбекистан является наиболее насыщенной насосами республикой, здесь сосредоточено более половины насосных мощностей всего Центрально-Азиатского региона: эксплуатируются 43 крупные насосные станции (НС), около 1400 средних и 30000 мелких НС и установок. Расход перекачиваемой воды ежегодно составляет более 6,5 м<sup>3</sup>/с, объем – более 60 млрд м<sup>3</sup>. Более 50 % сооружений и оборудования выработали свой ресурс, работоспособность НС поддерживается ежегодными дорогостоящими ремонтами, однако, по данным САНИИРИ, до 20–25 % затрат являются непроизводительными по энергозатратам и 30–50 % – по ремонтно-восстановительным затратам. За счет снижения удельных энергозатрат, контроля и повышения среднеэксплуатационных КПД элементов НС можно значительно снизить эксплуатационные издержки и повысить надежность эксплуатации НС.

Своевременное выявление отказов (постепенных и внезапных) позволяет предотвратить снижение эффективности эксплуатации насосных агрегатов (НА) и особенно возможные аварийные ситуации, ведущие к прекращению водоподачи.

Крупные НС оснащаются насосами большой быстроходности, в связи с чем к подводным устройствам блоков НС предъявляются требования по обеспечению безопасности [1].

Зарубежные машиностроительные фирмы имеют большой опыт создания высокопроизводительных насосов. Так, НС Гранд-Кули (США) оборудована 12 насосами мощностью по 49 МВт, обеспечивающими подачу 46 м<sup>3</sup>/с при напоре 92 м. Однако высокие значения подачи и напора, равно как и большие габариты основного оборудова-

ния, вызывают усложнение конструкций сооружений и уменьшение безопасности [2].

Авторами для гидравлически благоприятного режима насосов предложены новые конструкции водоприемника, всасывающих труб, аванкамер, улучшающих условия эксплуатации основных гидротехнических элементов, сопрягающихся с НА.

Расчет сложных переходных процессов является одним из самых ответственных этапов повышения безопасности эксплуатации НС [3].

Режимы работы НС определяются алгоритмически. Геометрический напор определяется как разность уровней верхнего и нижнего бьефа НС:

$$H = z_{вб} - z_{нб},$$

где  $z_{вб}$  – отметка уровня воды верхнего бьефа (УВВБ), м;

$z_{нб}$  – отметка уровня воды нижнего бьефа (УВНБ) в аванкамере, м.

Характеристика потерь напора в трубопроводе НС представлена в виде функциональных кривых, зависящих от подачи и высоты подъема:

$$\Omega_T^i = \left\{ \begin{array}{ll} Q_j^i & j = \overline{1, K}; (i = \overline{1, N}), N \leq M \\ H_T^j & j = \overline{1, K} \end{array} \right\},$$

где  $Q_j^i$  – аргумент напорной характеристики трубопровода, т. е. подача  $i$ -го НА, м<sup>3</sup>/с;

$i$  – нумерация установленных НА;

$j$  – нумерация кривых в напорной характеристике;

$K$  – количество точек в напорной характеристике;

$N$  – количество работающих НА, шт.;

$M$  – количество установленных НА, шт.;

$H_T^j = H + \nabla H_j$  – функция напорной характеристики при геометрическом напоре  $H$ , м;

$\nabla H_j$  – потери напора, м.

Эксплуатационные характеристики НА представлены в виде семейства кривых, зависящих от высоты подъема воды при различных углах разворота лопастей рабочего колеса:

$$\Omega_{\Omega}^i = \Omega_{H, Q, \varphi} \cup \Omega_{H, \eta, \varphi}, \quad i = \overline{1, N},$$

где  $\Omega_{H, Q, \varphi}$  – расходная характеристика НА:

$$\Omega_{H, Q, \varphi} = \left\{ \begin{array}{ll} Q_j^i & i = \overline{1, N}, (j = \overline{1, K}) \\ H_i & i = \overline{1, N}, \\ \varphi_j & j = \overline{1, K} \end{array} \right\};$$

$\Omega_{H, \eta, \varphi}$  – энергетическая характеристика НА:

$$\Omega_{H, \eta, \varphi} = \left\{ \begin{array}{ll} \eta_j^i & i = \overline{1, N}, (j = \overline{1, K}) \\ H_i & i = \overline{1, N}, \\ \varphi_j & j = \overline{1, K} \end{array} \right\},$$

где  $Q$  – подача НА при соответствующем угле  $\varphi_j$ , м<sup>3</sup>/с;

$\varphi_j$  – угол разворота лопастей, соответствующий  $j$ -й кривой, град;

$\eta_j^i$  – КПД  $i$ -го НА для  $j$ -й кривой;

Допустимая область  $D$  работы НА в координатах  $Q$ - $H$  определяется следующими внешними границами:

$$\left. \begin{aligned} D_{1 \max}^i &= \Omega_T^{i \max} \cap \Omega_{H, Q, \varphi}^i \\ D_{1 \min}^i &= \Omega_T^{i \min} \cap \Omega_{H, Q, \varphi}^i \\ D_{2 \max}^i &= \Omega_{H, Q, \varphi}^{i \max} \\ D_{2 \min}^i &= \Omega_{H, Q, \varphi}^{i \min} \end{aligned} \right\},$$

где  $\Omega_T^{i \max}$ ,  $\Omega_T^{i \min}$  – характеристика трубопровода при максимальной и минимальной геометрической высоте подъема, м;

$\varphi_{\max}$ ,  $\varphi_{\min}$  – максимальный и минимальный углы разворота лопастей насоса, град.

Более трех десятилетий на многих республиканских и международных форумах, посвященных исследованиям в области гидравлики, рассматривается широкий круг вопросов, связанных с эксплуатацией НС, вибрацией и пульсацией давлений в насосах.

Опыт эксплуатации крупных машинных каналов показывает, что до 29 % отказов в работе НА происходит вследствие неблагоприятных гидравлических процессов в водоподводящих сооружениях, таких как водоворотные зоны и воронки у водоприемника, перепады уровня воды (УВ) на сороудерживающих сооружениях (СУС), заиливание аванкамер, водозаборов и подводящих каналов. Исследования эксплуатации НС, выполненные институтом «Узсувлоиша» в 2016–2017 гг., показали, что потери в НС достигают 38 % от потребляемой электроэнергии с уменьшением надежности от подводящего канала – 0,93, регулиционных сооружений – 0,91, аванкамеры – 0,90 до всасывающей трубы – 0,91, СУС – 0,85, водоприемника – 0,84 [4].

Это усугубляется тем, что НС работает по графику с широким диапазоном подач и многочисленные комбинации НА приводят к изменению структуры потока во всех элементах гидротехнического узла.

Оценка надежности эксплуатации узлов гидромеханического оборудования НС требует длительного и разностороннего наблюдения за работой оборудования. При этом особое внимание следует обращать на сравнительное время аварийных и плановых ремонтов, причины дефектов узлов, изменение во времени вибрации узлов агрегатов и других параметров, степень их износа [5].

На основе этих данных разрабатываются мероприятия по повышению надежности эксплуатации НС и производится оценка их эффективности.

Вероятность появления тех или иных отклонений от нормальных условий эксплуатации и степень опасности этих особых режимов различны для насосов разных типов и определяются назначением НС, ее оснащением средствами контроля и автоматики. Например, повышение напора сверх максимального расчетного значения не представляет практически никакой опасности для небольших центробежных насосов, но крайне нежелательно для крупных центробежных и еще в большей степени для осевых насосов. Пуск и остановка малых насосов не вызывают особых трудностей, а для крупных высокопроизводительных агрегатов являются наиболее ответственными операциями.

Специальные исследования, проведенные в ТИИИМСХ и НИИИВП, показали, что причиной повышенной вибрации является работа насоса в зоне сильно развитой кавитации, которая является следствием затяжного падения давления в проточной части и нарушения работы регулиционных сооружений при внезапном отключении НА.

Исходя из установленных нами физических представлений, необходимо установить, какие факторы в самом общем случае оказывают влияние на величину неустановившихся режимов:

- гидродинамические силы как функция линейных размеров НА  $l$ , м:

$$R = f_1(l);$$

- сила зависит от скорости потока  $V$ , м/с:

$$R = f_2(V);$$

- если скорость потока не слишком мала, то существенную роль играют силы

инерции. Величина их зависит от массы водной среды, которая характеризуется ее плотностью  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>:

$$R = f_3(\rho).$$

Основные задачи расчета безопасности: определение продолжительности неустановившегося процесса и его отдельных этапов, совпадения подсоса воздуха в аванкамере и момента максимального повышения давления на валу насоса [5].

Статистический характер изменения параметров насоса (диаметра рабочего колеса, уплотнительных защитных колец и т. д.) может задаваться коэффициентом, характеризующим интенсивность изменения параметра и плотность его распределения.

Масштабы обновления инвестиционной политики требуют ужесточения требования к ресурсоемким проектам. Необходимо определить целесообразность эксплуатации НС при снижении рабочих параметров (в первую очередь надежности) ниже расчетных.

Образование новых русловых форм, заиление аванкамеры и деформация берегов изучались с точки зрения общих закономерностей руслообразования, а механизм непосредственного взаимодействия потока, водоворотов и размываемого берега до сих пор полностью не вскрыт при неустановившихся процессах.

Программа обеспечения надежности НА предназначена для определения состояния насосов в неблагоприятных гидравлических условиях подвода воды. В программе приводится способ диагностики агрегатов, при котором необходимый сигнал о состоянии рабочего колеса и лопастей снимают с подшипников вала НА и на основании полученных данных определяют остаточные ресурсы агрегатов [6].

Современные технологии ремонтных работ должны позволить решить ряд взаимосвязанных задач повышения эффективности эксплуатации при увеличении КПД насосов, водосбережения при повышении объемной составляющей КПД и безопасности эксплуатации крупных гидротехнических сооружений, к которым относятся НС с уникальными насосами типа ОП-10-26-, 185, 110, установленными на каскадах НС в Кашкадарьинской, Бухарской, Сурхандарьинской и других областях.

### **Выводы**

1 Совершенствование безопасности сопрягающих сооружений с переходными процессами целесообразно сконцентрировать на элементах устройств в водоподводящих и отводящих сооружениях НС с минимальной надежностью от регуляционных сооружений – 0,91, аванкамеры – 0,90, СУС – 0,85, водоприемника – 0,84.

2 Анализ современных направлений изучения неустановившегося движения воды в водоподводящих сооружениях НС показал, что параметр нестационарности влияет на структуру скоростного поля и сказывается на определении показателей надежности, которые определяются при расчете рассматриваемых эксплуатационных характеристик НА.

3 Анализируя основные модели, применяемые для управления надежностью ирригационных НС, можно их разделить на три группы: статические модели, динамические модели с сосредоточенными параметрами и динамические модели с распределенными параметрами. Эти модели отличаются между собой предпосылками, количеством и типом первичной информации и степенью детализации полученных результатов. При нормировании безопасности необходимо учитывать требования к безопасности, которые обеспечиваются посредством регламентации сочетаний нагрузок и воздействий системы на эти элементы.

### **Список использованных источников**

1 Азимов, А. И. Экологические аспекты энергосберегающих режимов крупных ирригационных насосных станций / А. И. Азимов, Ш. М. Шарипов, О. Я. Гловацкий // Материалы республиканской научно-практической конференции по инновациям в сельском хозяйстве. – Ташкент, 2010. – С. 63–66.

2 Glovatsky, O. Ya. Reliability assessment and measures for resources-saving on water lifting engine systems in the Republic of Uzbekistan / O. Ya. Glovatsky, R. R. Ergashev //

Perspectives of Innovations, Economics and Business. – 2010. – Vol. 4, iss. 1. – P. 111–113.

3 Гловацкий, О. Я. Методы управления безопасностью сопрягающих сооружений насосных станций с переходными процессами / О. Я. Гловацкий, Ш. Р. Рустамов, Ш. М. Шарипов // Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства: сб. докл. II Междунар. науч.-практ. конф., г. Тараз, 24 июня 2016 г. – Казахстан, 2016. – С. 143–146.

4 Гловацкий, О. Я. Оценка надежности гидротехнических систем ирригационных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Е. А. Печейкина, Ш. Р. Рустамов // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 5–6 окт. 2017 г. – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2017. – С. 235–238.

5 Гловацкий, О. Я. Оценки безопасности и повышение надежности эксплуатации гидротехнического узла крупных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Р. Р. Эргашев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2(62). – С. 108–113.

6 Программа для обеспечения надежности насосных агрегатов: свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин Республики Узбекистан № DGU 03969 / Гловацкий О. Я., Эргашев Р. Р., Насырова Н. Р., Бекчанов Ф. А.; заявитель и правообладатель Ташкент. ин-т ирригации и мелиорации. – № заявки DGU 2016 0452; опубл. 09.09.16.

УДК 626.84:633.2.031(476.4)

**М. Г. Голченко, Д. В. Яланский**

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Республика Беларусь

### **ОЦЕНКА ТЕПЛОВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПРИ ОРОШЕНИИ СЕНОКОСНО-ПАСТБИЩНОЙ ТРАВΟΣМЕСИ**

*Целью исследований явилась оценка тепловлагообеспеченности территории северо-восточной зоны Республики Беларусь на примере конкретного года (2017), а также установление внутривегетационного распределения метеоусловий посредством сравнения конкретного 2017 г. со среднемноголетними значениями. В результате математической обработки установлено, что 2017 г. является избыточно увлажненным по осадкам и средним по температуре воздуха. По методу, изложенному в работе М. Г. Голченко, получена суммарная мера сходства осадков со среднемноголетними величинами, которая при учете декадных величин составила 64,9 %, а при учете месячных величин – 79,0 %. Суммарная мера сходства среднесуточных температур воздуха при учете декадных величин составила 92,9 %, а при учете месячных величин – 95,4 %. Представлены результаты оперативного управления водным режимом в конкретном 2017 г. на примере сенокосно-пастбищной травосмеси.*

*Ключевые слова: теплообеспеченность, влагообеспеченность, атмосферные осадки, среднесуточные температуры воздуха, мера сходства метеоусловий, водный режим, оперативное управление, динамика влажности почвы, количество поливов.*

\*\*\*\*\*

**M. G. Golchenko, D. V. Yalanskiy**

Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus

### **EVALUATION OF HEAT AND MOISTURE AVAILABILITY OF THE NORTHERN EASTERN ZONE OF THE REPUBLIC OF BELARUS BY IRRIGATION OF THE MOWING AND GRAZING GRASS MIXTURES**

*The purpose of the research was to assess the heat and moisture availability of the territory of the north-eastern zone of the Republic of Belarus by the example of a specific year*

(2017), as well as to establish an inner vegetation distribution of meteorological conditions by means of comparing a specific year 2017 with long-term average annual. As a result of mathematical processing, it was found that 2017 is excessively moistened by precipitation and average by air temperature. According to the method outlined in the work by M. G. Golchenko, a total similarity of precipitation with long-term average annual values was obtained, which was 64,9 %, taking into account the decadal values, and 79.0 % taking into account the monthly values. The total similarity of the average daily air temperatures allowing for decadal values was 92.9 %, and allowing for monthly values were 95.4 %. The results of the operational control of the water regime in the specific year 2017 are presented on the example of mowing and grazing grass mixtures.

*Key words:* heat availability, moisture availability, atmospheric precipitation, average daily air temperatures, weather conditions similarity, water regime, operational control, dynamics of soil moisture, number of irrigation.

**Введение.** Общая оценка тепловлагообеспеченности представлена в работе А. П. Лихацевича, М. Г. Голченко [1]. Нами в данной работе была выполнена оценка тепловлагообеспеченности на примере конкретного года и конкретной метеостанции.

Агроклиматические ресурсы территории оцениваются с помощью агроклиматических показателей, оказывающих существенное влияние на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур и определяющих обеспеченность растений главным образом теплом и влагой. В условиях достаточной влагообеспеченности растения максимально используют солнечное тепло и накапливают наибольшее количество биомассы. При недостатке влаги использование тепла ограничивается, и тем больше, чем меньше влагообеспеченность, что приводит к снижению продуктивности [1].

**Материалы и методы.** Оценка тепловлагообеспеченности была выполнена на основании математической обработки метеорологических величин посредством сравнения конкретного 2017 г. с годами различной обеспеченности по осадкам и температурам воздуха. В результате применения метода сходства метеоусловий при сравнении данных конкретного года со среднемноголетними значениями сделаны выводы о равномерности (неравномерности) распределения метеоусловий относительно рассматриваемых лет внутри их вегетационного периода.

**Результаты и обсуждение.** Сравнение теплого периода (апрель – октябрь) конкретного 2017 г. с годами различной обеспеченности по осадкам и температурам воздуха (10, 25 и 50 %) приведем ниже. Метеоэлементы (осадки и среднесуточные температуры воздуха) за теплый период (апрель – октябрь) 2017 г. были получены по данным метеостанции г. Горки. Среднемноголетние величины метеопоказателей (осадки, среднесуточные температуры) были приняты согласно В. И. Вихрову [2] по данным метеостанции г. Горки.

Выполним оценку теплого периода (апрель – октябрь) 2017 г. на предмет влагообеспеченности. Суммарное количество осадков за апрель – октябрь в конкретном 2017 г. по данным метеостанции г. Горки составило 550,8 мм, в году 10%-ной обеспеченности – 559 мм, в году 25%-ной обеспеченности – 487 мм и в среднемноголетнем году – 412 мм. Результаты распределения декадных значений осадков за теплый период (апрель – октябрь) конкретного 2017 г. в сравнении с различными годами по влагообеспеченности (10, 25 и 50 %) за этот же период приведем в форме таблицы (таблица 1).

Анализ данных таблицы 1 позволил установить, что наименьшее сходство теплого периода (апрель – октябрь) 2017 г. наблюдается при его сравнении со среднемноголетним годом (численно равно 133,7 %), при сравнении с годом 25%-ной обеспеченности – 113,1 %, наибольшее сходство наблюдается при сравнении с годом 10%-ной обеспеченности (98,5 %). Оценка теплого периода конкретного 2017 г. на предмет вла-

гообеспеченности была выполнена исходя из наибольшего схождения со сравниваемыми годами различной обеспеченности по осадкам. Таким образом, теплый период (апрель – октябрь) 2017 г. можно оценить как избыточно увлажненный по осадкам, или как год 10%-ной обеспеченности.

**Таблица 1 – Декадные значения осадков по метеостанции г. Горки в 2017 г. в сравнении с различными годами по влагообеспеченности**

| Месяц               | Декада | мм    | % от года<br>10%-ной<br>обеспечен-<br>ности | мм    | % от года<br>25%-ной<br>обеспечен-<br>ности | мм    | % от года<br>50%-ной<br>обеспечен-<br>ности |
|---------------------|--------|-------|---|-------|---|-------|---|
| Апрель              | 1      | 7,1   | 31,7  | 7,1   | 36,4  | 7,1   | 43,0  |
|                     | 2      | 19,4  | 115,5                                       | 19,4  | 132,9                                       | 19,4  | 156,5                                       |
|                     | 3      | 38,8  | 173,2                                       | 38,8  | 199,0                                       | 38,8  | 235,2                                       |
| За месяц            |        | 65,3  | 106,0                                       | 65,3  | 121,8                                       | 65,3  | 143,8                                       |
| Май                 | 1      | 12,2  | 54,5  | 12,2  | 62,6  | 12,2  | 73,9  |
|                     | 2      | 12,4  | 44,3  | 12,4  | 50,8  | 12,4  | 60,2  |
|                     | 3      | 14,9  | 44,5  | 14,9  | 51,0  | 14,9  | 60,3  |
| За месяц            |        | 39,5  | 47,1  | 39,5  | 54,0  | 39,5  | 63,9  |
| Июнь                | 1      | 7,5   | 67,0  | 7,5   | 77,3  | 7,5   | 91,5  |
|                     | 2      | 19,3  | 68,9  | 19,3  | 79,1  | 19,3  | 93,7  |
|                     | 3      | 20,7  | 41,2  | 20,7  | 47,3  | 20,7  | 55,8  |
| За месяц            |        | 47,5  | 53,1  | 47,5  | 61,0  | 47,5  | 72,1  |
| Июль                | 1      | 23,5  | 46,7  | 23,5  | 53,7  | 23,5  | 63,3  |
|                     | 2      | 20,4  | 91,1  | 20,4  | 104,6                                       | 20,4  | 123,6                                       |
|                     | 3      | 96,4  | 246,5                                       | 96,4  | 282,7                                       | 96,4  | 334,7                                       |
| За месяц            |        | 140,3 | 125,5                                       | 140,3 | 144,0                                       | 140,3 | 170,3                                       |
| Август              | 1      | 14,0  | 83,3  | 14,0  | 95,9  | 14,0  | 112,9                                       |
|                     | 2      | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
|                     | 3      | 108,7 | 324,5                                       | 108,7 | 372,3                                       | 108,7 | 440,1                                       |
| За месяц            |        | 122,7 | 168,8                                       | 122,7 | 193,8                                       | 122,7 | 228,9                                       |
| Сентябрь            | 1      | 25,6  | 152,4                                       | 25,6  | 175,3                                       | 25,6  | 206,5                                       |
|                     | 2      | 11,6  | 29,7  | 11,6  | 34,0  | 11,6  | 40,3  |
|                     | 3      | 2,5   | 14,9  | 2,5   | 17,1  | 2,5   | 20,2  |
| За месяц            |        | 39,7  | 54,6  | 39,7  | 62,7  | 39,7  | 74,1  |
| Октябрь             | 1      | 37,0  | 94,6  | 37,0  | 108,5                                       | 37,0  | 128,5                                       |
|                     | 2      | 21,0  | 125,0                                       | 21,0  | 143,8                                       | 21,0  | 169,4                                       |
|                     | 3      | 37,8  | 337,5                                       | 37,8  | 389,7                                       | 37,8  | 461,0                                       |
| За месяц            |        | 95,8  | 142,8                                       | 95,8  | 164,0                                       | 95,8  | 193,9                                       |
| За апрель – октябрь |        | 550,8 | 98,5  | 550,8 | 113,1                                       | 550,8 | 133,7                                       |

Выполним оценку теплого периода (апрель – сентябрь) 2017 г. на предмет теплообеспеченности. Суммарное значение среднесуточных температур воздуха за апрель – сентябрь в конкретном 2017 г. по данным метеостанции г. Горки составило 2432,8 °С, в году 10%-ной обеспеченности – 2656 °С, в году 25%-ной обеспеченности – 2490 °С и в среднемноголетнем году – 2371 °С. Результаты распределения декадных значений среднесуточных температур воздуха за теплый период (апрель – сентябрь) конкретного 2017 г. в сравнении с различными годами по теплообеспеченности (10, 25 и 50 %) за этот же период представим в форме таблицы (таблица 2).

**Таблица 2 – Декадные значения среднесуточных температур воздуха по метеостанции г. Горки в 2017 г. в сравнении с различными годами по теплообеспеченности**

| Месяц                | Декада | °С   | % от года<br>10%-ной<br>обеспе-<br>ченности | °С   | % от года<br>25%-ной<br>обеспечен-<br>ности | °С   | % от года<br>50%-ной<br>обеспечен-<br>ности |
|----------------------|--------|------|---|------|---|------|---|
| Апрель               | 1      | 7,5  | 277,8                                       | 7,5  | 300,0                                       | 7,5  | 312,5                                       |
|                      | 2      | 3,0  | 56,6  | 3,0  | 60,0  | 3,0  | 63,8  |
|                      | 3      | 5,3  | 100,0                                       | 5,3  | 106,0                                       | 5,3  | 74,6  |
| За месяц             |        | 5,3  | 120,5                                       | 5,3  | 126,2                                       | 5,3  | 112,8                                       |
| Май                  | 1      | 8,5  | 80,2  | 8,5  | 85,0  | 8,5  | 119,7                                       |
|                      | 2      | 10,0 | 75,2  | 10,0 | 80,0  | 10,0 | 70,4  |
|                      | 3      | 15,0 | 94,3  | 15,0 | 100,7                                       | 15,0 | 105,6                                       |
| За месяц             |        | 11,2 | 84,2  | 11,2 | 89,6  | 11,2 | 94,9  |
| Июнь                 | 1      | 12,8 | 96,2  | 12,8 | 102,4                                       | 12,8 | 90,1  |
|                      | 2      | 16,2 | 87,1  | 16,2 | 93,1  | 16,2 | 114,1                                       |
|                      | 3      | 16,5 | 77,8  | 16,5 | 82,9  | 16,5 | 86,8  |
| За месяц             |        | 15,2 | 85,9  | 15,2 | 91,6  | 15,2 | 96,2  |
| Июль                 | 1      | 15,0 | 80,6  | 15,0 | 86,2  | 15,0 | 78,9  |
|                      | 2      | 16,1 | 75,9  | 16,1 | 80,9  | 16,1 | 97,0  |
|                      | 3      | 19,2 | 80,3  | 19,2 | 85,7  | 19,2 | 101,1                                       |
| За месяц             |        | 16,8 | 79,2  | 16,8 | 84,4  | 16,8 | 92,3  |
| Август               | 1      | 19,2 | 90,6  | 19,2 | 96,5  | 19,2 | 101,1                                       |
|                      | 2      | 21,2 | 100,0                                       | 21,2 | 106,5                                       | 21,2 | 127,7                                       |
|                      | 3      | 14,0 | 75,3  | 14,0 | 80,5  | 14,0 | 84,3  |
| За месяц             |        | 18,1 | 89,2  | 18,1 | 94,8  | 18,1 | 104,0                                       |
| Сентябрь             | 1      | 13,8 | 103,8                                       | 13,8 | 110,4                                       | 13,8 | 97,2  |
|                      | 2      | 14,8 | 111,3                                       | 14,8 | 118,4                                       | 14,8 | 157,4                                       |
|                      | 3      | 10,7 | 133,8                                       | 10,7 | 142,7                                       | 10,7 | 113,8                                       |
| За месяц             |        | 13,1 | 113,9                                       | 13,1 | 121,3                                       | 13,1 | 119,1                                       |
| За апрель – сентябрь |        | 13,3 | 89,9  | 13,3 | 96,4  | 13,3 | 100,8                                       |

На основании проведенного анализа данных таблицы 2 можно сделать вывод о том, что наименьшее сходство теплого периода (апрель – сентябрь) 2017 г. наблюдается при его сравнении с годом 10%-ной обеспеченности (численно равно 89,9 %), при сравнении с годом 25%-ной обеспеченности – 96,4 %, наибольшее сходство было зафиксировано при сравнении с годом 50%-ной обеспеченности (100,8 %). Таким образом, теплый период (апрель – сентябрь) 2017 г. можно оценить как средний по температуре воздуха, или как год 50%-ной обеспеченности.

Для оценки сходства внутривегетационного распределения метеоусловий теплового периода (апрель – октябрь) конкретного 2017 г. со среднемноголетними значениями был применен метод, изложенный в работе М. Г. Голченко [3]. Результаты распределения осадков (в процентах от суммы) по метеостанции г. Горки для 2017 и среднемноголетнего года представим в форме таблицы (таблица 3).

Мера сходства осадков по отдельным месяцам составила соответственно: 96,3; 64,7; 70,0; 88,0; 73,7; 71,4 и 81,9 %. В мае она была наиболее низкой, а в апреле – наиболее высокой. Суммарная мера сходства осадков в 2017 г. со среднемноголетними

значениями при учете месячных величин составила 79 %. Суммарная мера схождения осадков в конкретном 2017 г. со среднемноголетними значениями при учете коротких интервалов (декад) оказалась значительно ниже и составила 64,9 %. В результате проведенного анализа было установлено, что при учете месячных величин осадков сравниваемые годы имеют хорошее сходство, а при учете декадных величин – посредственное. Таким образом, был сделан вывод о том, что конкретный 2017 и среднемноголетний годы различались неравномерным выпадением осадков относительно друг друга внутри их вегетационного периода [3].

**Таблица 3 – Распределение осадков по метеостанции г. Горки**

В % от суммы

| Год     | Месяц |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     |
| 2017    | 11,85 | 7,17  | 8,62  | 25,47 | 22,27 | 7,21  | 17,39 |
| Средний | 11,00 | 15,00 | 16,00 | 20,00 | 13,00 | 13,00 | 12,00 |

Выполним оценку схождения внутривегетационного распределения среднесуточных температур воздуха теплого периода (апрель – сентябрь) конкретного 2017 г. со среднемноголетними значениями. Результаты распределения осадков (в процентах от суммы) по метеостанции г. Горки для 2017 и среднемноголетнего года представим в форме таблицы (таблица 4).

**Таблица 4 – Распределение среднесуточных температур воздуха по метеостанции г. Горки**

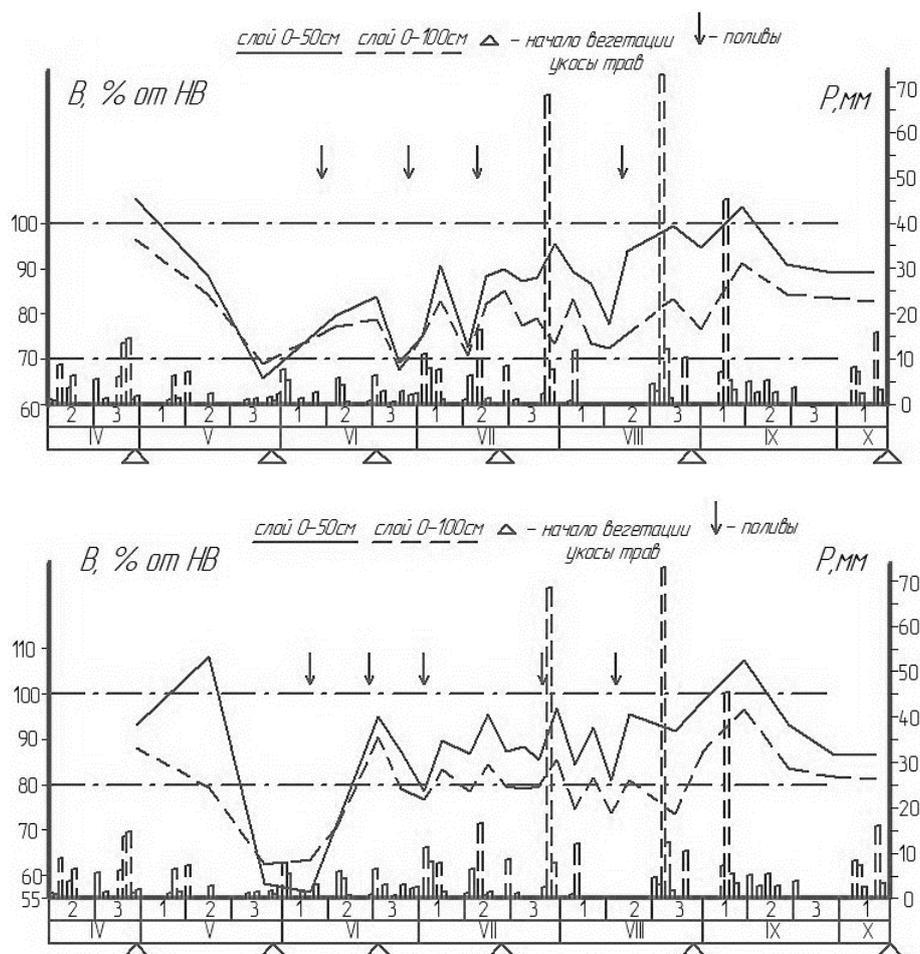
В % от суммы

| Год     | Месяц |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    |
| 2017    | 6,47  | 14,37 | 18,70 | 21,42 | 22,90 | 16,14 |
| Средний | 5,00  | 15,00 | 20,00 | 24,00 | 23,00 | 13,00 |

Мера схождения среднесуточных температур воздуха по отдельным месяцам составила соответственно: 87,2; 97,9; 96,6; 94,3; 99,8 и 89,2. В апреле она была наиболее низкой, а в августе – наиболее высокой. Суммарная мера схождения среднесуточных температур воздуха в 2017 г. со среднемноголетними значениями при учете месячных величин составила 95,4 %, а при учете коротких интервалов (декад) – 92,9 %. На основании выполненного анализа было установлено, что при учете месячных величин среднесуточных температур воздуха сравниваемые годы имеют полное сходство, а при учете декадных величин – хорошее. Таким образом, был сделан вывод о том, что рассматриваемые годы различались неравномерным распределением среднесуточных температур воздуха относительно друг друга внутри их вегетационного периода [3].

Динамику влажности, полученную путем измерения в полевых условиях термостатно-весовым способом полуметрового (корнеобитаемого) и метрового слоя почвы, осадков, поливов, а также укосов в 2017 г. по вариантам с предполивным уровнем влажности 70 и 80 % от наименьшей влагоемкости (НВ) на примере сенокосно-пастбищной травосмеси приведем на рисунке 1.

Анализ данных рисунка 1 позволил установить, что в варианте с предполивным уровнем влажности 70 % от НВ за вегетационный период 2017 г. было проведено четыре полива сенокосно-пастбищной травосмеси, в то время как в варианте 80 % от НВ их количество было равно пяти. Сказанное выше свидетельствует о том, что вариант с предполивным уровнем влажности 80 % от НВ предъявил наибольшие требования к водному режиму почвы при орошении сенокосно-пастбищной травосмеси в 2017 г.



**Рисунок 1 – Динамика влажности почвы по вариантам 70 и 80 % от НВ и слоям, осадков, поливов и укосов за вегетационный период 2017 г.**

**Выводы.** В результате проведенных исследований установлено, что конкретный 2017 г. является избыточно увлажненным по осадкам и средним по температуре воздуха. По методу, изложенному в работе М. Г. Голченко [3], получена суммарная мера сходства осадков со среднемноголетними величинами, которая при учете декадных величин составила 64,9 %, а при учете месячных величин – 79,0 %. Суммарная мера сходства среднесуточных температур воздуха при учете декадных величин составила 92,9 %, а при учете месячных величин – 95,4 %. При этом было установлено, что конкретный 2017 и среднемноголетний годы различались неравномерным распределением осадков и среднесуточных температур воздуха относительно друг друга внутри их вегетационного периода. Представлены результаты оперативного управления водным режимом, на основании которых было установлено, что вариант с предполивающим уровнем влажности 80 % от НВ предъявил наибольшие требования к водному режиму почвы при орошении сенокосно-пастбищной травосмеси в 2017 г.

#### Список использованных источников

- 1 Лихацевич, А. П. Орошаемое плодовоовощеводство: учеб. пособие / А. П. Лихацевич, М. Г. Голченко; под ред. А. П. Лихацевича. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 287 с.
- 2 Вихров, В. И. Изыскание и строительная климатология: практикум / В. И. Вихров. – Горки: БГСХА, 2015. – 192 с.
- 3 Голченко, М. Г. Методика оценки сходства внутривегетационного распределения атмосферных осадков при изучении водного режима почв / М. Г. Голченко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 1. – С. 87–89.

УДК 626.88

**О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Н. Шкура**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

### **РЫБОВОДНЫЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ ОРОСИТЕЛЬНО- ОБВОДНИТЕЛЬНОГО КАНАЛА И МАЛОЙ РЕКИ**

*Целью исследования поставлена разработка компоновочно-конструктивного решения рыбоводного комплекса и составляющих его сооружений, обеспечивающего комплексное и эффективное использование водно-ресурсного потенциала оросительного канала и биоресурсного потенциала малого водотока. Указанная цель может быть достигнута при совместном использовании свободных водных ресурсов оросительных каналов и рыбных ресурсов соседствующих с ними малых рек и балок при условии создания на их базе рыбоводных комплексов. В состав предлагаемого полносистемного рыбоводного комплекса кроме оросительного канала и малых водотоков предлагается включить рыбоход, искусственные нерестилища, приканальные рыбоводные бассейны и обеспечивающие их функционирование гидротехнические сооружения, предложения по конструктивно-компоновочным решениям которых приведены в работе.*

*Ключевые слова: рыбоводный комплекс, оросительный канал, конструктивно-компоновочные решения, рыбоход, нерестилище, рыбоводный бассейн, сооружения.*

\*\*\*\*\*

**O. A. Baev, A. Ju. Garbuz, V. N. Shkura**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

### **FISH-BREEDING COMPLEX ON THE BASIS OF IRRIGATION AND FEEDING CANAL AND MINOR RIVER**

*The aim of the research is the development of a constructive layout arrangement for the fish-breeding complex and its constituent structures, which provide for a multiple and effective use of water-resource potential of the irrigation canal and the bioresource potential of minor streams. This aim can be gained by the joint use of irrigation canal free water resources and fish resources of the adjacent minor streams and gullies, provided that fish-breeding complexes are formed on their basis. In addition to the irrigation canal and minor streams it is suggested to include into the proposed full-system fish-breeding complex a fishpass, artificial spawning grounds, canalside fishponds and hydraulic structures ensuring their functioning, which constructive layout solution proposes are outlined in the work.*

*Key words: fish-breeding complex, irrigation canal, constructive-layout solutions, fishpass, spawning grounds, fish-breeding basin, structures.*

**Введение.** В аридных зонах Российской Федерации созданы оросительные системы с развитой сетью магистральных каналов, обеспечивающих обводнение значительных территорий. В современных условиях использования оросительных систем по ряду причин и обстоятельств реальное потребление воды на орошение уменьшилось, тогда как возможности каналов по транспортированию и подаче воды остались на прежнем уровне. Указанное обстоятельство (снижение водопотребления при сохранении непродуктивных потерь воды) привело к снижению экономических показателей оросительных каналов, а их возможности по водоподаче используются не в полном объеме.

Многие магистральные каналы действующих оросительных систем располагаются в относительной близости к природным водотокам или пересекают их. Указанное обстоятельство создает возможности и предпосылки для обводнения вододефицитных балоч-

ных и (или) малоречных водотоков из каналов в целях их рыбоводного использования.

Установлены факты негативного влияния естественно сложившегося водного режима малых рек на условия и возможности их рыбоводного использования (естественного восстановления рыбных запасов в природных водных объектах) [1].

Отмеченные негативные моменты при использовании оросительных каналов и соседствующих с ними малых водотоков могут быть устранены при совместном использовании их водных и биологических возможностей путем устройства на их базе рыбоводных комплексов. Под рыбоводным комплексом, устраиваемым на базе оросительного канала и малого(ых) природного(ых) водотока(ов), понимается совокупность рыбоводных сооружений с обеспечивающей их функционирование гидротехнической арматурой, создающих условия для ведения рыбоводства. Обоснование возможности их создания и разработка их компоновочно-конструктивных схем и решений определены задачей статьи.

**Материалы и методы.** В основу разработки рыбоводных комплексов и составляющих их элементов положены известные данные о ведении рыбоводства в искусственных условиях и восстановлении рыбных запасов во внутриматериковых водных объектах. При разработке компоновочно-конструктивных решений сооружений использовались современные технологии поискового конструирования сооружений и природно-техногенных систем.

**Результаты и обсуждение.** Рыбоводные комплексы могут создаваться на близко расположенных оросительных каналах и природных водотоках и прилегающих к ним ландшафтных образованиях [2]. Для успешного функционирования рыбоводных комплексов необходимо создать условия для ведения в них рыбоводных процессов, т. е. для естественного или управляемого роста и развития культивируемых в них гидробионтов. Указанное требование может быть обеспечено созданием благоприятной для обитания рыб водной среды (необходимого водного пространства, требуемого количества и качества воды, благоприятного температурного, газового и органоминерального режима водных объектов и др.), возможности для захода мигрирующих рыб в водные объекты и свободного перемещения в них, нереста рыб и (или) развития их репродукционных продуктов, роста и развития гидробионтов. При обеспечении вышеуказанных требований в рыбоводных комплексах должны быть учтены биологические особенности культивируемых видов рыб, а также созданы возможности для искусственного зарыбления водных объектов комплекса и условия для роста и нагула рыб. При выборе месторасположения рыбоводного комплекса предпочтительной является местность с более высоким относительно природного водотока расположением оросительного канала, что позволит обеспечить регулируемую и самотечную подачу воды в объекты комплекса.

В наиболее общем случае в состав рыбоводного комплекса могут входить ниже следующие водные объекты и гидротехнические сооружения: магистральный канал оросительной системы; малый(е) водоток(и) природной гидрографической сети (балка (и) или малая река); рыбоходное сооружение, обеспечивающее проход мигрирующих рыб через водоподпорное сооружение, которое устроено на природном водотоке; искусственные нерестилища для фитофильных и (или) литофильных видов рыб, рыбоводный(ые) бассейн(ы) определенного назначения; концевой сброс из канала для обводнения природного водотока; гидротехническая инфраструктура рыбоводного комплекса (водовыпуски-водовпуски, водо- и рыбоспуски, водоводы различного порядка (каналы и трубы), водосбросы, регуляторы расходов и уровней воды и др.). Схема полного системного рыбоводного комплекса, создаваемого на базе оросительного канала и малой реки, приведена на рисунке 1.

При устройстве на малой реке водоподпорных сооружений (плотин, образующих «малоречные» или «балочные» пруды) проход мигрирующих рыб к местам нереста или нагула вверх по реке обеспечивается устройством рыбопропускного сооружения (рыбохода), пример конструктивного решения которого приведен на рисунке 2.

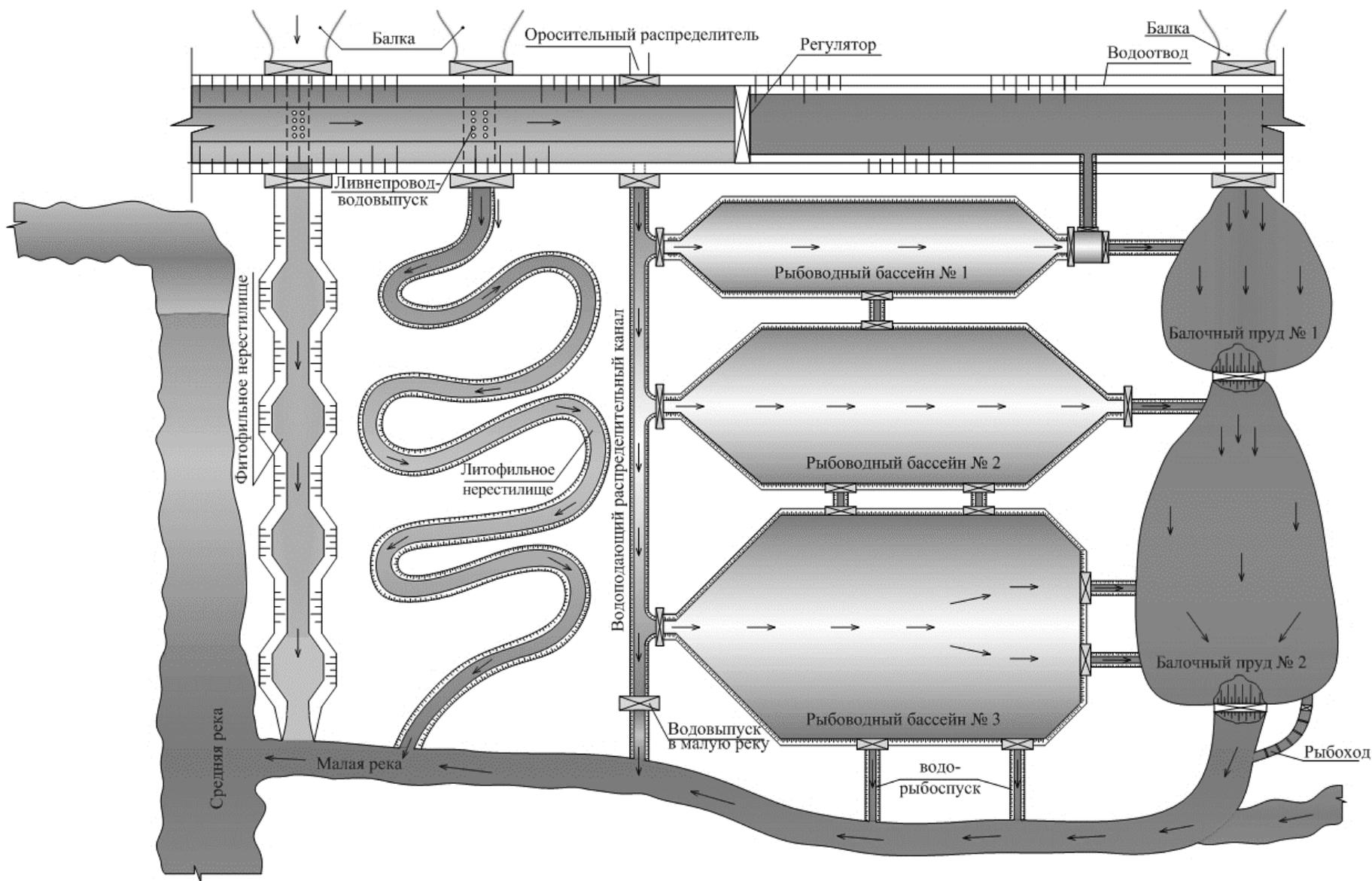
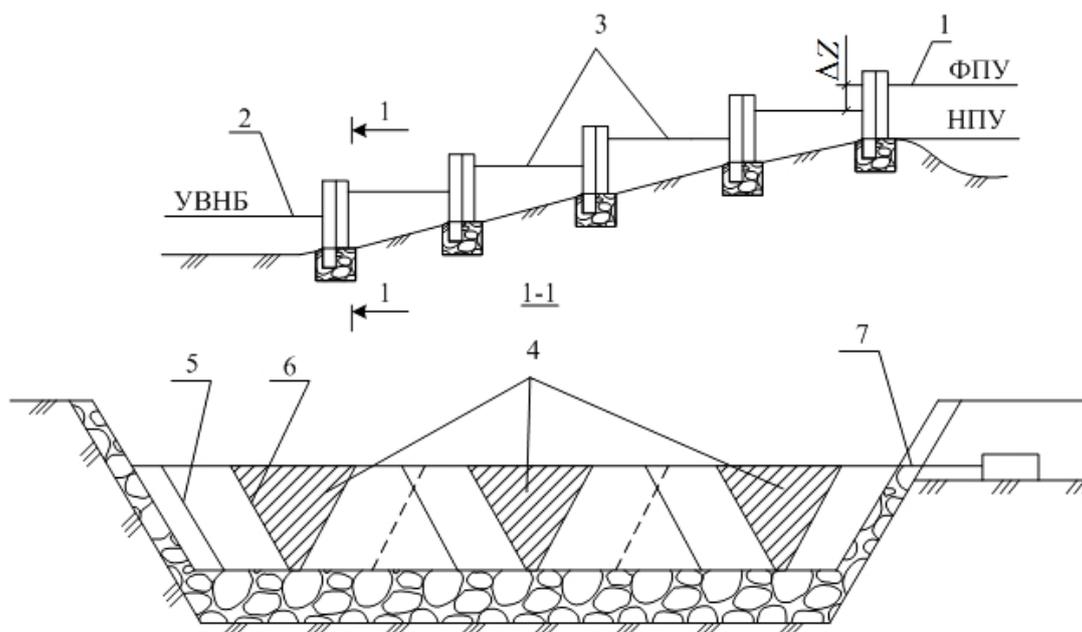


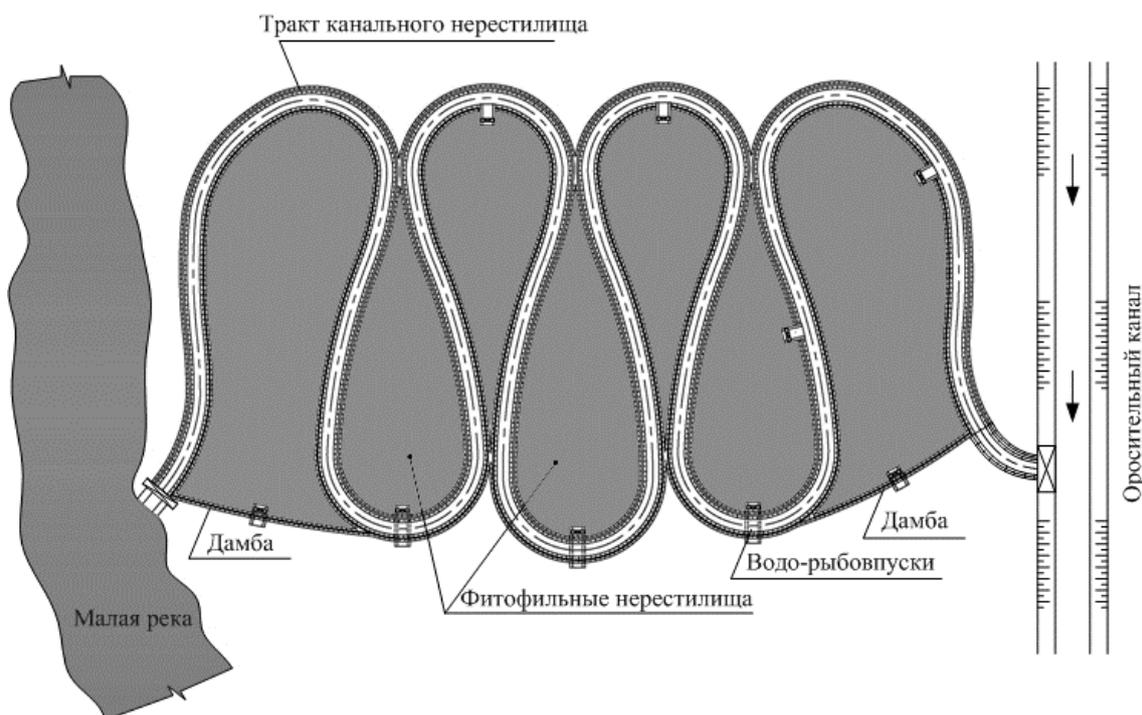
Рисунок 1 – Схема полносистемного рыбоводного комплекса на базе оросительного канала и водотоков малой реки



1 – верхний бьеф гидроузла; 2 – нижний бьеф гидроузла; 3 – ступень;  
 4 – впускное отверстие; 5 – неподвижный щит; 6 – подвижный щит; 7 – привод

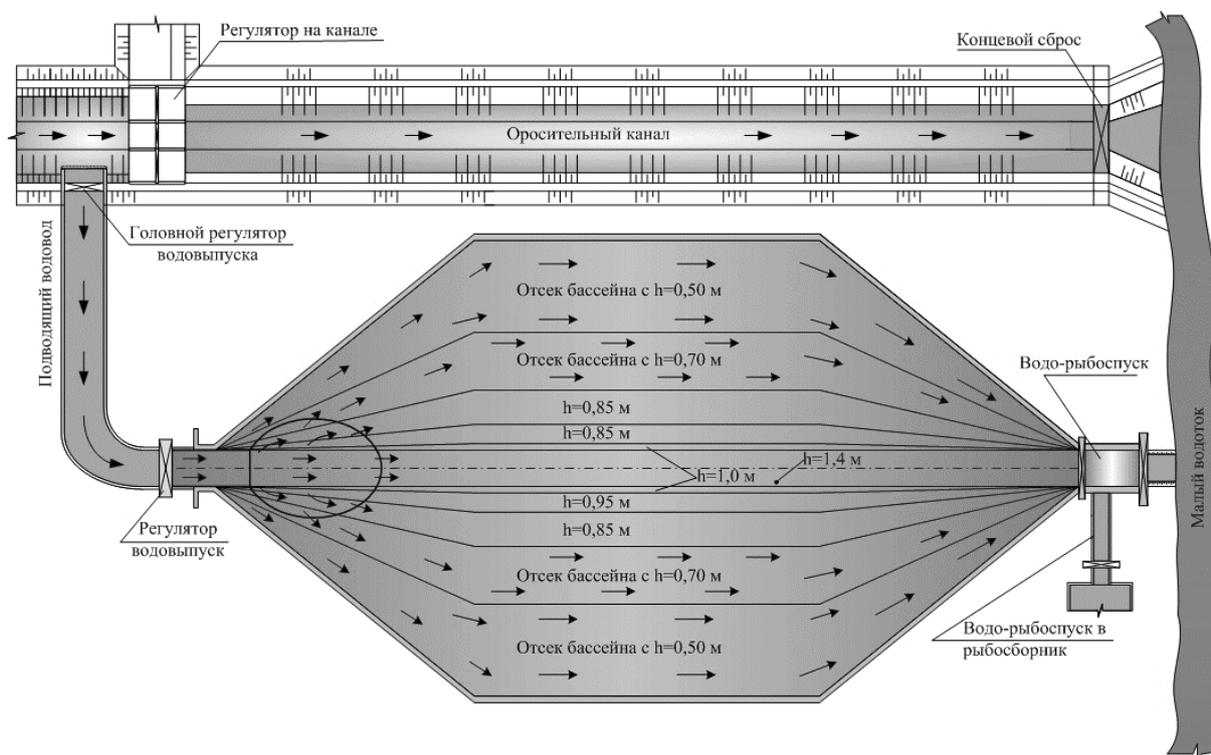
**Рисунок 2 – Конструктивная схема рыбохода-водосброса для низконапорного (балочного или малоречного) гидроузла**

В составе рыбоводного комплекса предусмотрено устройство искусственных нерестилищ для литофильных и фитофильных видов рыб. В нерестилищах, располагаемых в пределах межканально-речного участка, предусматривается создание соответствующих видам рыб нерестовых условий по объемам жизненного пространства, температурному и скоростному режиму, наличию нерестового субстрата и условий для развития репродукционных продуктов. Возможно устройство комбинированного («фитолитофильного») нерестилища, пример которого приведен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Компоновочная схема фитолитофильного нерестилища**

В составе комплекса могут устраиваться приканальные рыбоводные бассейны, пример конструктивного решения которых приведен на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Приканальный рыбоводный бассейн со ступенчатым ложем**

Приканальные рыбоводные бассейны различного назначения (нерестового, малькового, выростного или нагульного) «питаются» водой из оросительного канала, и их конструктивные решения предусматривают создание необходимых условий для жизнедеятельности рыб, их роста и развития и последующего отлова или выпуска в естественные водные объекты. Инженерная (гидротехническая) инфраструктура рыбоводных бассейнов позволяет обеспечить проведение всех необходимых технических и рыбоводных процессов заполнения их водой, обеспечения проточности, кормления и выпуска рыб.

#### **Выводы**

1 В различных природных и хозяйственно-экономических условиях на базе водоизбыточных оросительных каналов и вододефицитных малых природных водотоков рекомендуется устраивать рыбоводные комплексы с соответствующим набором сооружений, включая рыбоходы, нерестилища и рыбоводные бассейны.

2 Предложенная компоновочная схема приканального рыбоводного комплекса и конструкции отдельных рыбоводных сооружений позволят обеспечить эффективное и комплексное оросительно-рыбоводное использование водно-ресурсного потенциала оросительных каналов без нарушения режима водопотребления оросительной системы.

#### **Список использованных источников**

1 Шкура, Вл. Н. Рыбоводные мелиорации малых и средних степных рек (обоснование путей и средств их реализации) / Вл. Н. Шкура. – Новочеркасск: Лик, 2015. – 198 с.

2 Конструктивные схемы и методики гидравлического расчета элементов рыбоводных комплексов на базе оросительно-обводнительных каналов / В. Н. Шкура, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018. – 43 с.

УДК 631.6:338.43

**И. М. Кречетова**

Управление «Мелиоводхоз по Республике Алтай», Горно-Алтайск, Российская Федерация

**Л. Н. Медведева**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

**А. С. Роскошная**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

### **МЕЛИОРИРОВАННЫЕ ЗЕМЛИ – ОСНОВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ**

*В статье представлены результаты исследований аграрно-мелиоративного комплекса Республики Алтай. Показано, что преобладающее направление развития АПК – животноводство требует укрепления кормовой базы на основе проведения мелиоративных мероприятий. Для обеспечения устойчивого развития сельских территорий республики необходимо совершенствование организационно-экономических условий функционирования экономики, формирование инновационно-предпринимательского потенциала. На примере Кош-Агачского района сформулированы условия сохранения уникальной природной среды и обозначены границы возможного воздействия человека на агроландшафты.*

*Ключевые слова: мелиорация, сельское хозяйство, корма, животноводство, инновационно-предпринимательский потенциал, эколого-мелиоративные мероприятия.*

\*\*\*\*\*

**I. M. Krechetova**

Bureau of Reclamation and Water Supply in the Republic of Altai, Gorno-Altai, Russian Federation

**L. N. Medvedeva**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

**A. S. Roskoshnaya**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation; Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

### **RECLAIMED LANDS – THE BASIS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF ALTAI**

*The research results of the agro-reclamation complex of the Altai Republic are presented in the article. It is shown that the predominant direction of the agro-industrial complex (AIC) development – the animal husbandry requires the strengthening of the fodder base on the basis of the reclamation measures. To ensure the sustainable development of rural areas of the republic it is necessary to improve the organizational and economic conditions for the operation of the economy and to develop innovative and entrepreneurial potential. The conditions for the unique natural environment conservation on the example of Kosh-Agach region are laid down and the boundaries of possible human impacts on agro landscapes are indicated.*

*Key words: land reclamation, agriculture, forage, livestock, innovation-entrepreneurial potential, ecological and reclamation measures.*

Сельское хозяйство является доминирующей отраслью в экономике отдельных регионов России. Один из них – Республика Алтай, которая лидирует в Сибирском федеральном округе по производству мяса на душу населения, занимает второе место по производству молока. Выпуск продукции сельского хозяйства всеми сельхозтоваропроизводителями в 2017 г. составил 7,6 млрд руб., или 99,6 % (в сопоставимой оценке к соответствующему периоду прошлого года). Снижение объемов производства животноводческой продукции произошло в 2017 г. из-за недостатка кормов. Специфические особенности местоположения республики преопределили ее четко выраженную животноводческую специализацию. На 01.12.2017 общее поголовье скота составило 1284 тыс. голов, в т. ч. крупного рогатого скота – 307,7 тыс. голов (104,2 % к соответствующему периоду прошлого года), овец и коз – 876,8 тыс. голов (101,3 %). Валовой надой молока составил 78,4 тыс. т. Валовой сбор зерновых в Республике Алтай за 2017 г. составил 7,1 тыс. т [1].

Для повышения эффективности функционирования реального сектора экономики в республике принят ряд законодательных актов, в т. ч.:

- Стратегия социально-экономического развития Республики Алтай на период до 2028 года с рекомендациями по развитию агропромышленного комплекса: проведение региональной аграрной политики, ориентированной на адресную поддержку и стимулирование объемов производства высокорентабельной сельхозпродукции; создание равных условий конкуренции для сельхозпроизводителей путем закупки произведенной сельхозпродукции по выгодным ценам; создание сети продуктовых рынков для удовлетворения потребности объектов социальной сферы; для повышения эффективности личных подсобных хозяйств необходимо интегрировать их с сельскохозяйственными, перерабатывающими и обслуживающими предприятиями, открыть доступ к кредитам и государственным субсидиям, развивать сферу торгово-посреднических услуг, шире используя механизм потребкооперации; создание специальной службы по оказанию сельскохозяйственным товаропроизводителям образовательной, информационной и консультационной поддержки [2];

- программы, направленные на техническую и технологическую модернизацию АПК, инновационное развитие подотраслей сельского хозяйства и смежных отраслей, устойчивое развитие сельских территорий, развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения, обеспечение условий реализации государственной программы Республики Алтай «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» (объем бюджетных ассигнований на реализацию программы на период с 2013 по 2020 г. составляет 10,2 млн руб.) [3].

Реализация данных направлений позволит перевести район из дотационного статуса на самообеспечение, увеличить производство сельскохозяйственной продукции, повысить качество жизни на селе (в сельской местности проживает более 70 % населения республики) [4].

Поскольку в стратегии развития республики основной упор был сделан на развитие животноводства, то создание соответствующей кормовой базы становится весьма актуальным. Несмотря на большой удельный вес сенокосов и пастбищ в общем объеме сельскохозяйственных угодий, сбор с них составляет 30 % кормов. Структура сельскохозяйственных угодий Республики Алтай за 2017 г. представлена на рисунке 1.

В последние годы продуктивность сенокосов и пастбищ интенсивно снижается вследствие неудовлетворительного состояния почвенного покрова, сужающегося биологического разнообразия трав, высокой антропогенной нагрузки на единицу площади. Проведенные исследования, посвященные повышению эффективности функционирования АПК республики с учетом значений внешних и внутренних факторов, показывают, что правительство республики может сформировать несколько стратегий и обосновать оптимистический и инерционный сценарии развития. Особую

роль в развитии животноводства должен сыграть мелиоративный сектор АПК, который включает ФГБУ «Управление «Мелиоводхоз по Республике Алтай» (управляющая структура), каналы (общая протяженность которых составляет 401,8 км), трубопроводы (101,1 км), водные объекты, в т. ч. р. Катунь, Чуя, Урсул, Аргут, Тархата. Сводные показатели плана водопользования на объектах мелиорации за 2018 г. по Республике Алтай представлены в таблице 1.



**Рисунок 1 – Структура сельскохозяйственных угодий Республики Алтай, 2017 г.**

**Таблица 1 – Сводные показатели плана водопользования на объектах мелиорации за 2018 г. по Республике Алтай**

| Показатель плана   | Единица измерения  | Всего | В т. ч. государственные системы федеральной собственности |
|--|--------------------|-------|---|
| 1 Наличие орошаемых земель на 01.01.2018 (кроме земель лиманного орошения) | тыс. га            | 6,995 | 3,4   |
| 2 Планируется использовать в сельскохозяйственном производстве             | тыс. га            | 6,995 | 3,4   |
| 3 Включено в план вегетационных поливов                                    | тыс. га            | 3,4   | 0   |
| 4 Не включено в план вегетационных поливов – всего                         | тыс. га            | 3,595 | 0   |
| В т. ч. по причинам:   |                    |       |   |
| - высокий уровень грунтовых вод  | тыс. га            | 0,260 | 0   |
| - неисправность внутрихозяйственной оросительной сети и гидросооружений    | тыс. га            | 0,435 | 0   |
| - недостаток воды в источниках орошения                                    | тыс. га            | 0,108 | 0   |
| 5 Способы проведения вегетационных поливов:                                |                    |       |   |
| - дождеванием  | тыс. га            | 1,586 | 1,586   |
| - по бороздам и полосам  | тыс. га            | 1,814 | 1,814   |
| 6 Структура посевных площадей по орошаемым землям                          |                    |       |   |
| Посевная площадь – всего   | тыс. га            | 1,8   | 1,8   |
| В т. ч. кормовые культуры  | тыс. га            | 1,6   | 1,6   |
| 7 Сенокосы и пастбища  | тыс. га            | 5,195 | 5,195   |
| 8 Забор воды   |                    |       |   |
| Суммарный забор воды из водных объектов                                    | млн м <sup>3</sup> | 6,52  | 6,52  |
| Потери воды на фильтрацию и испарение                                      | млн м <sup>3</sup> | 0,905 | 0,905   |
| Суммарная подача воды на все нужды   | млн м <sup>3</sup> | 5,72  | 5,72  |
| В т. ч.: орошение  | млн м <sup>3</sup> | 5,22  | 5,22  |
| обводнение   | млн м <sup>3</sup> | 0,5   | 0,5   |
| 9 КПД магистральных и межхозяйственных каналов                             |                    | 0,86  | 0,86  |

По данным ФГБУ «Управление «Мелиоводхоз по Республике Алтай».

Общая площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий составляет 6,99 тыс. га (из них не поливается по причине неисправности оросительной сети 3,5 тыс. га, в т. ч. по причине недостатка воды в источнике – 0,1 тыс. га). КПД магистральных и межхозяйственных каналов – 0,86.

Одним из центров развития животноводства является Кош-Агачский район Республики Алтай. Это самый холодный регион республики (зимы длительные и малоснежные), местами сохранились участки с вечной мерзлотой. С учетом суровых природно-климатических условий Кош-Агачский район в 1992 г. был включен в перечень местностей, приравненных к районам Крайнего Севера. Основной бюджетобразующей отраслью реального сектора экономики муниципального района является сельское хозяйство, в нем функционируют 325 сельскохозяйственных предприятий разных форм собственности (ИП, СПК, КФХ) и 5371 личное подсобное хозяйство (ЛПХ). Посевная площадь во всех категориях хозяйствования Республики Алтай на 2018 г. представлена в таблице 2.

**Таблица 2 – Посевная площадь во всех категориях хозяйствования Республики Алтай на 2018 г.**

В га

| Наименование муниципального образования | Сельхозорганизаций | ЛПХ  | КФК и ИП | Посевная площадь, всего |         |
|---|--------------------|------|----------|-------------------------|---------|
|   |                    |      |          | 2016 г.                 | 2017 г. |
| Республика Алтай                        | 51341              | 3734 | 50058    | 103714                  | 105133  |
| Кош-Агачский район                      | 555                | 3    | 1046     | 1576                    | 1604    |
| Майминский район                        | 1346               | 440  | 2224     | 5661                    | 4010    |
| Онгудайский район                       | 5085               | 382  | 7669     | 12539                   | 13377   |
| Турочакский район                       | 464                | 301  | 485      | 1665                    | 1251    |
| Улаганский район                        | 3                  | 114  | 852      | 561                     | 969     |
| Усть-Канский район                      | 11736              | 525  | 15953    | 27387                   | 28214   |
| Усть-Коксинский район                   | 21973              | 542  | 5390     | 27050                   | 27905   |
| Чемальский район                        | 253                | 457  | 2822     | 3174                    | 3531    |
| Чойский район                           | 60                 | 223  | 1099     | 2752                    | 1383    |
| Шебалинский район                       | 9823               | 449  | 12318    | 21030                   | 22590   |
| Горно-Алтайск                           | 42                 | 297  | –        | 319                     | 339     |

Объем производства сельскохозяйственной продукции в хозяйствах всех категорий на 01.12.2017 (в фактически действовавших ценах) составил 728,08 млн руб. (на душу населения 38269 руб.), в т. ч. продукция животноводства – 712,47 млн руб., продукция растениеводства – 15,6 млн руб. поголовье скота в хозяйствах всех категорий Кош-Агачского района на 01.12.2017 представлено в таблице 3 [5].

**Таблица 3 – Поголовье скота в хозяйствах всех категорий Кош-Агачского района на 01.12.2017**

| Поголовье                   | на 01.12.2016 | на 01.12.2017 | Темп роста, % |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Крупный рогатый скот, голов | 51633         | 52968         | 102,6         |
| в т. ч. коров, голов        | 24005         | 24540         | 102,2         |
| Овец и коз, голов           | 350697        | 364153        | 103,8         |
| Лошадей, голов              | 9855          | 11510         | 116,8         |
| Свиней, голов               | 17            | 7             | 41,2          |
| Маралов, голов              | 28            | 26            | 92,9          |

Рост объема производства сельхозпродукции в 2017 г. был связан с увеличением объемов производства мяса и шерсти (таблица 4).

**Таблица 4 – Производство продукции животноводства в хозяйствах всех категорий Кош-Агачского района на 01.12.2017**

| Наименование продукции               | на 01.12.2016 | на 01.12.2017 | Темп роста, % |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Скот и птица на убой в живом весе, т | 2099,1        | 2344,0        | 111,7         |
| Молоко, т                            | 3196,1        | 3099,5        | 97,0          |
| Шерсть, т                            | 358,6         | 361,6         | 100,8         |
| Козий пух, т                         | 546,1         | 517,3         | 94,7          |

Посевная площадь сельскохозяйственных культур под урожай 2017 г. в хозяйствах всех категорий (без учета ЛПХ) составила 1676 га. В структуре посевной площади 10,4 % занято многолетними травами посева прошлых лет, 89,6 % занято однолетними травами. По состоянию на 01.12.2017 всеми хозяйствами МО «Кош-Агачский район» было заготовлено сена 12739,1 т, или 77,3 % к показателям 2016 г. Обеспеченность кормами составляет 1,29 т к. е. на одну условную голову, что составляет 76 % от потребности в кормах, уменьшение связано со сложившейся засухой и с нашествием саранчовых вредителей в районе. Для обеспечения кормами в полном объеме закупается кормов 715 т, или 0,6 т к. е. на 1 условную голову.

Разведение крупного и мелкого рогатого скота мясного направления не требует создания больших запасов кормов, животные практически круглый год находятся на пастбищах и используют подножный корм. Тем не менее, как показывают исследования, создание страхового запаса кормов является стратегической задачей для устойчивого развития отрасли, поскольку без кормовой базы и орошаемых земель ведение сельскохозяйственного производства является рискованным.

Мелиорация для этих мест является гарантом успешного производства сельскохозяйственной продукции. Проблема оросительных мелиораций в этом регионе стоит очень остро. Так, например, в Кош-Агачском районе 16 участков оросительных систем республиканского и муниципального значения не используются или используются частично [6].

В настоящее время фактически поливаются только сельхозугодья в Кош-Агачском районе, в котором функционируют государственные Чаган-Бургазинская (748 га), Тархатинская (983 га), Елангашская (438 га) (рисунок 2) и Самахинская (165 га) оросительные системы [7]. В связи с этим стратегическая задача руководства республики и района – увеличение кормовой базы на основе использования орошаемых земель и развитие племенного животноводства.



слева – магистральный трубопровод, справа – магистральный канал

**Рисунок 2 – Елангашская оросительная система  
 (Источник: ФГБУ «Управление «Мелиоводхоз по Республике Алтай»)**

Дефицит кормовых ресурсов обосновывает увеличение эксплуатации Тархатинской межхозяйственной оросительной системы Кош-Агачского района Республики Алтай, реконструкция которой была проведена в период с 2008 по 2014 г. Данная оросительная система включает в себя водозаборное сооружение на р. Тархата, магистральный трубопровод протяженностью 9,4 км и оросительную сеть из стальных труб, уложенных на поверхности земли, для подачи воды к дождевальным машинам «Фрегат» (18 шт.) [8].

В зоне Тархатинской межхозяйственной оросительной системы находятся два основных аграрных предприятия, которые используют в хозяйственной деятельности 50,1 тыс. га. Протяженность внутрихозяйственной сети составляет 9,1 км. Развитие сельхозпроизводства сосредоточено на производстве продукции животноводства (до 99 % в денежном выражении) и товарных кормов (до 1 %). Растениеводство в основном ориентировано на обеспечение животноводческой отрасли грубыми кормами. В связи с этим только повышение эффективности используемых орошаемых сельхозугодий, в т. ч. посредством наиболее полной реализации их природно-ресурсного потенциала, позволит получать качественную сельхозпродукцию в необходимом объеме и обеспечивать экологическую устойчивость мелиоративных ландшафтов. Решение данных задач потребует исследования инновационно-инвестиционных факторов, разработки научных основ совершенствования институтов и механизмов устойчивого развития сельских территорий, внедрения зеленых технологий, в т. ч. использования возобновляемых источников энергии [9].

В ходе исследования была разработана инфраструктура формирования инновационно-предпринимательского потенциала района, которая должна обеспечить поступательное развитие Кош-Агачского района Республики Алтай (рисунок 3) [10, 11].



**Рисунок 3 – Инновационно-предпринимательский потенциал аграрного комплекса Кош-Агачского района Республики Алтай**

Для повышения эффективности сельского хозяйства в сложившихся условиях потребуются усиление внимания к вопросам мелиорации земель, введение в оборот новых ресурсов, улучшение условий жизни сельского населения, создание новых рабочих мест [12].

Таким образом, предлагаемые эколого-мелиоративные мероприятия позволят повысить эффективность возделывания кормовых культур, увеличить их урожайность, сохранить плодородие орошаемых почв и экологическую стабильность уязвимых горно-

котловинных ландшафтов и будут способствовать увеличению поголовья скота, что в результате позволит выполнять в достаточной мере продовольственную доктрину страны.

### **Список использованных источников**

1 Основные показатели социально-экономического развития Республики Алтай за январь-сентябрь 2017 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://altai-republic.ru/economy\\_finances/social-economic-situation/social\\_economic\\_development\\_january\\_september\\_2017.pdf](http://altai-republic.ru/economy_finances/social-economic-situation/social_economic_development_january_september_2017.pdf), 2018.

2 О стратегии социально-экономического развития Республики Алтай на период до 2028 года (с изменениями на 29.03.2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/819066192>, 2018.

3 О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы (с изменениями на 1 марта 2018 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902361843>, 2018.

4 Кречетова, И. М. Основные направления повышения эффективности реализации государственных программ по мелиорации земель (на примере Республики Алтай) / И. М. Кречетова, Л. Н. Медведева // 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». – Новочеркасск, 2017. – С. 288–297.

5 Инвестиционный паспорт муниципального образования «Кош-Агачский район» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mokoshagach.ru/content/193/Инвестиционный%20паспорт%20муниципального%20образования%20Кош-Агачский%20район18.pdf>, 2018.

6 Орошение – залог успешного сельхозпроизводства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vezdaaltaya.ru/2017/11/16/oroshenie-zalog-uspeshnogo-selkhozpr/>, 2018.

7 Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mcx-dm.ru/gts/>, 2015.

8 Получено разрешение на ввод в эксплуатацию первой в 2014 году оросительной системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mcx-dm.ru/about/publish/73502>, 2018.

9 Роскошная, А. С. «Солнечная» энергетика в развитии мелиорации: задачи и решения / А. С. Роскошная, Л. Н. Медведева // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы III междунар. науч.-практ. интернет-конф. / ФГБНУ «ПНИИАЗ». – Солёное Займище, 2018. – С. 248–254.

10 Медведева, Л. Н. Научно-методическое обоснование создания мелиоративного аграрного парка на юге России / Л. Н. Медведева // Экология и мелиорация агроландшафтов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Волгоград, 2–5 окт. 2017 г. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – С. 143–147.

11 Куприянова, С. В. Инновационный потенциал мелиорации: стратегирование и моделирование процессов / Л. Н. Медведева, С. В. Куприянова // Актуальные направления научных исследований в АПК: от теории к практике: материалы Нац. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 10 нояб. 2017 г. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. – С. 125–130.

12 Медведева, Л. Н. Зеленые технологии – новое качество жизни и трудовой деятельности на селе / Л. Н. Медведева // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: в 3 т.: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., г. Барнаул, 27–28 февр. 2017 г. – Барнаул, 2017. – Т. 1. – С. 96–98.

УДК 556.53

**Ю. М. Косиченко**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

**Е. Г. Угроватова**

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛИГОНАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ КАНАЛОВ В ЗЕМЛЯНОМ РУСЛЕ**

*Целью работы является апробация методики расчета канала рационального профиля в земляном русле на примере Невинномысского канала и сравнение полученных результатов с реальными параметрами действующего канала. С целью упрощения решения предложено полигональное сечение заменить приведенным трапецидальным сечением. Используя основное уравнение равномерного движения в открытом русле, получили зависимость для параметра оптимизации и разработали методику расчета основных параметров полигонального рационального профиля, которую апробировали на примере Невинномысского канала.*

*Ключевые слова: полигональное сечение, земляное русло, гидравлически наиболее выгоднейшее сечение.*

\*\*\*\*\*

**Yu. M. Kosichenko**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

**E. G. Ugrovatova**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

### **OPTIMIZATION OF THE POLYGONAL CANAL CROSS SECTION IN THE EARTH CANAL**

*The aim of the work is to test the calculation methodology for the rational profile canal in an earth canal by the example of the Nevinnomysskiy Canal and to compare the results obtained with the actual parameters of the operating canal. In order to simplify the solution, the polygonal cross-section is proposed to be replaced with the given trapezoidal cross-section. Using the basic equation of uniform motion in an open canal, a dependence for the optimization parameter has been obtained and a technique for calculating the basic parameters of a polygonal rational profile, which was tested using the example of the Nevinnomysskiy Canal has been developed.*

*Key words: polygonal section, earth canal, the most efficient hydraulic cross-section.*

**Введение.** Вопросы оптимизации поперечных сечений каналов представляют значительный интерес, поскольку объем земляных работ определяется непосредственно площадью сечения каналов.

Изучением оптимизации поперечных сечений каналов занимались многие ученые: Р. Р. Чугаев [1], А. А. Угинчус [2], А. М. Латышенков [3], С. О. Курбанов и Н. В. Ханов [4] и др.

Как известно, абсолютно наиболее выгоднейшим с гидравлической точки зрения сечением будет такое, при котором обеспечивается максимальный расход в канале [2, 3].

При минимальном значении периметра смоченной части русла  $\chi_{\min}$  происходит снижение объемов выполняемых работ и материалов для устройства облицовки канала.

При разных значениях коэффициентов откосов параметр гидравлически наивыгоднейшего профиля канала трапецеидального сечения будет равен [1]:

$$\beta_{г.н.} = \sqrt{1+m_1^2} + \sqrt{1+m_2^2} - (m_1 + m_2),$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – коэффициенты заложения откосов канала.

Значения параметра гидравлически наивыгоднейшего профиля канала при разных  $m_1$  и  $m_2$  представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Значения параметра наивыгоднейшего профиля канала**

| $m$            | 0 | 0,25 | 0,5   | 0,75 | 1,0   | 1,5   | 2,0   | 2,5   | 3,0   | 4,0   |
|----------------|---|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\beta_{г.н.}$ | 2 | 1,56 | 1,236 | 1,0  | 0,828 | 0,606 | 0,472 | 0,385 | 0,325 | 0,246 |

Поскольку гидравлически наивыгоднейшие профили каналов получаются узкими и глубокими, то с практической точки зрения они будут неудобными при эксплуатации. Поэтому целесообразно получить профили каналов, в которых отношение скоростей  $\vartheta/\vartheta_{г.н.}$  было бы на 2–3 % меньше единицы.

В таких каналах отношение площадей  $\omega/\omega_{г.н.}$  на 2–3 % должно превышать единицу. При малых отклонениях от гидравлически наивыгоднейшей площади  $\omega_{г.н.}$  параметр  $\beta = b/h$  резко возрастет. В этом случае площадь сечения канала рекомендуется назначить в пределах  $\omega \leq (1,01...1,05)\omega_{г.н.}$ .

**Материалы и методы.** Для расчета таких каналов Р. Р. Чугаев [1] предложил ввести понятие практически наивыгоднейшего параметра  $\beta_{г.н.}^0$ , при котором величина  $\omega$  будет незначительно отличаться от  $\omega_{мин}$ . При этом каналы будут иметь относительно малую глубину.

Параметр  $\beta_{г.н.}^0$  будет иметь значение в пределах:

$$\beta_{г.н.} \leq \beta_{г.н.}^0 \leq \beta_{г.н.пред}$$

где  $\beta_{г.н.пред}$  находится по формуле:

$$\beta_{г.н.пред} = 2,5 + \frac{m}{2}.$$

Так как каналы абсолютно гидравлически наивыгоднейшего сечения, как правило, получаются неудобными с практической точки зрения, их целесообразно проектировать только для некоторых типов мелиоративных каналов – сбросных и коллекторно-дренажных.

В связи с этим крупные магистральные каналы не проектируют с гидравлически наивыгоднейшим профилем. Малые мелиоративные каналы систем орошения и осушения целесообразно проектировать с профилем, близким к гидравлически наивыгоднейшему.

В работах А. А. Угинчуса, А. М. Латышенкова и др. [2, 3] было указано, что поперечные профили каналов необходимо выполнять близкими к абсолютно гидравлически наивыгоднейшему сечению за счет незначительного уменьшения (на 2–3 %) средней скорости движения потока. В результате можно отказаться от неудобных и невыгодных сечений (узких и глубоких) с параметрами формы канала  $\beta = 0,25...0,83$  и перейти к более удобным трапецеидальным сечениям с  $\beta = 2,2...4,4$  [3]. Такой профиль канала можно назвать рациональным, так как он будет выгодным с гидравлической точки зрения (близким к гидравлически наивыгоднейшему сечению) и более удобным с практической точки зрения (легче проводить очистку каналов от наносов различными механизмами).

Применение полигональных сечений в крупных каналах объясняется тем, что они соответствуют естественной плавной форме сечения, очерчиваемой по части окружности или параболе.

С целью определения параметра оптимизации рационального профиля канала полигонального сечения  $\beta_{\text{рац}}$  используем уравнение равномерного движения в открытом русле [1]:

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = K = \omega C \sqrt{R}, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход канала, м<sup>3</sup>/с;

$i$  – уклон дна канала;

$\omega$  – площадь сечения канала, м<sup>2</sup>;

$C$  – коэффициент Шези;

$R$  – гидравлический радиус, м.

Согласно предложению А. М. Латышенкова [3] учтем соотношения между скоростью и площадью сечения в виде:

$$A_v = \frac{v}{v_{\text{г.н.}}} = \frac{\omega_{\text{г.н.}}}{\omega}, \quad (2)$$

где  $A_v$  – коэффициент скорости, принимаемый равным 0,97;

$v$ ,  $v_{\text{г.н.}}$  – средние скорости живого сечения, близкого к гидравлически наивыгоднейшему, и гидравлически наивыгоднейшего сечения, м/с;

$\omega$ ,  $\omega_{\text{г.н.}}$  – площади живого сечения, близкого к гидравлически наивыгоднейшему, и гидравлически наивыгоднейшего сечения, м<sup>2</sup>.

Учитывая сложность определения параметра  $\beta_{\text{рац}}$  для полигонального сечения, по предложению А. А. Угинчуса [2] для упрощения расчетов приведем откосы полигонального сечения к фиктивному трапецидальному сечению  $m_{\text{пр}}$ . Тогда параметр  $\beta_{\text{рац}}$  трапецидального сечения рассчитывается по общеизвестной формуле с учетом приведенного заложения откоса:

$$\beta_{\text{г.н.}} = \left( \frac{b}{h} \right)_{\text{г.н.}} = 2 \left( \sqrt{1 + m_{\text{пр}}^2} - m_{\text{пр}} \right). \quad (3)$$

Заменяя в основном уравнении (1) гидравлические параметры  $\omega$ ,  $R$  и  $C$  выражениями в соответствии с уравнениями (2) и (3):

$$\omega = 1,03 \cdot \omega_{\text{г.н.}} = 1,03 \cdot h^2 \cdot (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}}),$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h \cdot (\beta + m_{\text{пр}})}{(\beta + 2\sqrt{1 + m_{\text{пр}}^2})},$$

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6} = \frac{1}{n} \cdot \left[ \frac{h \cdot (\beta + m_{\text{пр}})}{\beta + 2\sqrt{1 + m_{\text{пр}}^2}} \right]^{1/6},$$

запишем его в виде:

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = 1,03 \cdot h^2 \cdot (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}}) \cdot \frac{1}{n} \cdot \left[ \frac{h(\beta + m_{\text{пр}})}{\beta + 2\sqrt{1 + m_{\text{пр}}^2}} \right]^{2/3},$$

где  $h$  – глубина канала, м;

$m_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент заложения откосов;

$\beta$  – относительная ширина канала по дну;

$\chi$  – смоченный периметр, м;

$n$  – коэффициент шероховатости русла.

Приняв  $\beta = \beta_{\text{рац}}$ , получим выражение для определения параметра оптимизации  $\beta_{\text{рац}}$  фиктивного трапецидального профиля канала рационального профиля, близкого к гидравлически наивыгоднейшему сечению [5]:

$$\beta_{\text{рац}} = \frac{2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2}(Q \cdot n)^{3/2} - h \cdot m_{\text{пр}} [i^{0,5} 1,03 h_{\text{г.н.}}^2 (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}}{h [i^{0,5} 1,03 h_{\text{г.н.}}^2 (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2} - (Q \cdot n)^{3/2}}. \quad (4)$$

Учитывая, что  $A_h = \frac{h}{h_{\text{г.н.}}}$  [3], запишем  $h = A_h \cdot h_{\text{г.н.}}$ . Откуда, если принять

$$A_9 = 0,97, \text{ по А. М. Латышенко } A_h = \frac{1 - \sqrt{1 - A_9^4}}{A_9^{5/2}}, \quad A_h = 0,713. \text{ Тогда } h = 0,713 h_{\text{г.н.}}$$

Подставляя его в формулу (4), запишем в более общем виде:

$$\beta_{\text{рац}} = \frac{A \cdot 2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2} - B \cdot m_{\text{пр}}}{B - A},$$

где  $A = (Q \cdot n)^{3/2}$ ;

$$B = 0,713 h_{\text{г.н.}}^4 [1,03 i^{0,5} (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}.$$

Параметр  $h_{\text{г.н.}}$  для фиктивного трапецидального сечения вычисляем по формуле:

$$h_{\text{г.н.}} = \sqrt[4]{\frac{(A \cdot 2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2})}{B' m_{\text{пр}}}}, \quad (5)$$

где  $B' = 0,713 [1,03 i^{0,5} (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}$ .

Далее рассмотрим предлагаемую авторами методику расчета канала рационального полигонального сечения [5].

1 Задаемся глубинами элементов полигонального сечения  $h_1, h_2, h_3, h = h_1 + h_2 + h_3$ .

2 Принимаем в первом приближении относительные глубины каждой части полигонального сечения: нижней  $\alpha_1 = h_1 / h$ , средней  $\alpha_2 = h_2 / h$ , верхней  $\alpha_3 = h_3 / h$ .

3 Находим приведенные значения коэффициентов заложения откосов трапецидального сечения [3]:

$$m_{\text{пр}} = \frac{(1 + 2\alpha_2 + 2\alpha_3) \cdot m_1 + (\alpha_2^2 + 2\alpha_2\alpha_3) \cdot m_2 + \alpha_3^2 m_3}{(1 + \alpha_2 + \alpha_3)^2},$$

$$m'_{\text{пр}} = \frac{m_1 + \alpha_2 m_2 + \alpha_3 m_3}{1 + \alpha_2 + \alpha_3},$$

$$\text{где } m_1 = 2\sqrt{1+m_1^2};$$

$$m_2 = 2\sqrt{1+m_2^2};$$

$$m_3 = 2\sqrt{1+m_3^2};$$

где  $m_1, m_2, m_3$  – коэффициенты заложения откосов элементов полигонального сечения.

4 Находим  $\beta_{\text{г.н.}}$ :

$$\beta_{\text{г.н.}} = \left(\frac{b}{h}\right)_{\text{г.н.}} = 2\left(\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2} - m_{\text{пр}}\right).$$

5 Вычисляем значение параметра рационального профиля фиктивного трапецидального канала по формуле (4):

$$\beta_{\text{рац}} = \frac{2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2} (Q \cdot n)^{3/2} - h \cdot m_{\text{пр}} [i^{0,5} 1,03 h_{\text{г.н.}}^2 (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}}{h [i^{0,5} 1,03 h_{\text{г.н.}}^2 (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2} - (Q \cdot n)^{3/2}}.$$

6 Определяем  $h_{\text{г.н.}}$  по формуле (5):

$$h_{\text{г.н.}} = \sqrt[4]{\frac{(A \cdot 2 \sqrt{1+m_{\text{пр}}^2})}{B' m_{\text{пр}}}},$$

где  $B' = 0,713 [1,03 i^{0,5} (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}$ .

7 Находим полную глубину канала полигонального рационального профиля:

$$h_{\text{рац}} = 0,713 \cdot h_{\text{г.н.}}$$

8 Находим ширину по дну полигонального рационального профиля:

$$b_{\text{рац}} = \beta_{\text{рац}} \cdot h_{\text{рац}}$$

9 Вычисляем площадь живого сечения и смоченный периметр полигонального рационального профиля:

$$\omega_{\text{рац}} = (b_{\text{рац}} + m_{\text{пр}} \cdot h_{\text{рац}}) \cdot h_{\text{рац}},$$

$$\chi_{\text{рац}} = b_{\text{рац}} + 2h_{\text{рац}} \cdot \sqrt{1+m_{\text{пр}}^2}.$$

10 Определяем глубину  $h_1$  для полигонального рационального профиля:

$$h_1 = \frac{h_{\text{рац}}}{1 + \alpha_2 + \alpha_3},$$

$$h_1 = \frac{3\chi}{2(m_1' - m_1 + k_2 + k_3)} - \sqrt{\frac{(3\chi)^2}{4(m_1' - m_1 + k_2 + k_3)^2} - \frac{\omega}{m_1' - m_1 + k_2 + k_3}},$$

где  $k_2 = \alpha_2(m_2' - m_1' + \alpha_2 m_2' + \alpha_3 m_3' - 2m_1 - \alpha_2 m_2 + \alpha_3 m_2' - 2\alpha_3 m_2)$ ;

$$k_3 = \alpha_3(m_3' + m_1' + \alpha_3 m_3' - 2m_1 - \alpha_3 m_3).$$

11 Находим глубины  $h_2$ ,  $h_3$  и  $h$ :

$$h_2 = \alpha_2 \cdot h_1,$$

$$h_3 = \alpha_3 \cdot h_1,$$

$$h = h_1 + h_2 + h_3.$$

12 При значении полной глубины  $h$ , отличающейся от ранее заданной, на втором этапе выполняется пересчет параметров рационального полигонального профиля.

13 Определяем ширину по верху каждой части рационального профиля полигонального сечения:

$$B_1 = b_{\text{рац}} + 2m_1 h_1,$$

$$B_2 = B_1 + 2m_2 h_2,$$

$$B_3 = B_2 + 2m_3 h_3.$$

**Результаты и обсуждение.** Далее приведем расчет рационального профиля полигонального сечения на примере Невинномысского канала при следующих данных:  $Q = 75 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $m_1 = 3$ ;  $m_2 = 2$ ;  $m_3 = 1,5$ ;  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$ ;  $n = 0,0225$ ;  $i = 0,00014$ .

В таблице 2 даны результаты расчетов всех параметров, а сравнение с Невинномысским каналом – в таблице 3.

Согласно выполненным расчетам, основные расчетные параметры полигонального рационального профиля (см. таблицу 3): глубина  $h$ , ширина по дну  $b$ , ширина канала по верху  $B_3$  и параметр  $\beta$  – получены близкими к земляному руслу Невинномысского канала [5].

**Таблица 2 – Результаты расчетов канала по методике авторов**

|          |           |                |               |               |              |              |                     |                 |
|----------|-----------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------------|-----------------|
| $m_{пр}$ | $m'_{пр}$ | $\beta_{г.н.}$ | $h_{г.н.}, м$ | $\beta_{рац}$ | $h_{рац}, м$ | $b_{рац}, м$ | $\omega_{рац}, м^2$ | $\chi_{рац}, м$ |
| 2,5      | 4,8       | 0,385          | 5,63          | 2,88          | 4,01         | 11,56        | 86,6                | 33,1            |

Продолжение таблицы 2

|              |                        |          |          |          |          |          |          |
|--------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $R_{рац}, м$ | $\vartheta_{рац}, м/с$ | $h_1, м$ | $h_2, м$ | $h_3, м$ | $B_1, м$ | $B_2, м$ | $B_3, м$ |
| 2,67         | 0,87                   | 1,34     | 1,34     | 1,34     | 19,6     | 24,96    | 30,3     |

**Таблица 3 – Сравнение расчетных параметров с Невинномысским каналом**

| Наименование сечения канала    | Задаваемый параметр |                  |         |        | Расчетный параметр |         |                      |          |
|--------------------------------|---------------------|------------------|---------|--------|--------------------|---------|----------------------|----------|
|                                | $Q, м^3/с$          | $\vartheta, м/с$ | $i$     | $n$    | $h, м$             | $\beta$ | $b, м$               | $B_3, м$ |
| Расчетное сечение              | 75,0                | 0,87             | 0,00014 | 0,0225 | 4,0                | 2,88    | 11,6                 | 30,3     |
| Сечение Невинномысского канала | 75,0                | 1,04             | 0,00014 | 0,0250 | 3,9                | 2,56*   | $\frac{6,0}{10,0}$ * | 31,6     |

\* Расчет параметров проводился для деформированного русла.

**Вывод.** На основании сравнения полученных параметров расчетного сечения с сечением натурального канала можно заключить, что параметры близки к рациональному расчетному профилю.

**Список использованных источников**

1 Чугаев, Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости) / Р. Р. Чугаев. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.

2 Угинчус, А. А. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов / А. А. Угинчус. – М.: Стройиздат, 1965. – 274 с.

3 Каналы систем водоснабжения и ирригации (рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов) / А. М. Латышенков [и др.]. – М.: Стройиздат, 1972. – 153 с.

4 Курбанов, С. О. Основы оптимизации полигональных сечений гидротехнических каналов / С. О. Курбанов, Н. В. Ханов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 12. – С. 27–31.

5 Косиченко, Ю. М. Исследование гидравлически выгодного профиля полигонального сечения крупных каналов и их гидравлических сопротивлений / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Природообустройство. – 2014. – № 2. – С. 85–89.

УДК 620(075.8)

**А. Н. Рыжаков, А. А. Кузьмичёв, Л. Н. Медведева**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

**Д. В. Белых**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОБЪЕКТАХ МЕЛИОРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ПРИГОРОДНОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ)**

*В статье представлены результаты исследований использования солнечной энергии на объектах мелиорации. Предложен вариант размещения на магистральном канале Пригородной оросительной системы Краснодарского края солнечных панелей в количестве, необходимом для покрытия потребляемой мощности одного агрегата*

головной насосной станции НС-1 23 (мощность 630 кВт·ч). Проведены инженерно-технические и экономические расчеты стоимости проектирования, монтажа, экономической эффективности для двух вариантов размещения 8764 солнечных панелей (российского и китайского производства) мощностью 200 Вт. В результате предварительного расчета было установлено, что установка солнечных панелей китайского производства обойдется в 1,44 раза дешевле отечественного аналога. Затраты на электроэнергию для ГНС за время работы канала, а значит и сумма сэкономленных средств в случае использования солнечных панелей, в течение года составят 20,19 млн руб. Стоимость выработанной электроэнергии в зимний период (за 617 ч) для нужд населения составит 4,97 млн руб. Таким образом, при общих затратах на установку панелей отечественного производства, составляющих 318,46 млн руб., и общих затратах на установку панелей китайского производства 227,22 млн руб. срок окупаемости составит 15,8 и 11,3 года соответственно. Был обоснован организационно-правовой инструментарий применения механизма государственно-частного партнерства в целях привлечения инвестиций в мелиорацию.

*Ключевые слова:* мелиорация, возобновляемые источники энергии, солнечные панели, магистральный канал, государственно-частное партнерство, инвестиции, инновации.

\*\*\*\*\*

**A. N. Ryzhakov, A. A. Kuz'michev, L. N. Medvedeva**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

**D. V. Belykh**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation; Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

#### **SOLAR ENERGY USE AT LAND RECLAMATION FACILITIES (ON THE EXAMPLE OF PRIGORODNAYA IRRIGATION SYSTEM OF KRASNODAR TERRITORY)**

*The results of studies on the use of solar energy at land reclamation facilities are presented. A variant of solar panels installation on the main canal of Prigorodnaya irrigation system of Krasnodar Territory in the amount necessary to cover the power consumption of one unit of the base pumping station NS 1 23 (power 630 kWh) is proposed. The engineering-technical and economic cost calculations of design, installation and economic efficiency for two variants of installation of 8764 solar panels (Russian- and Chinese made) with a power of 200 W have been carried out. As a result of the preliminary calculation it was found that the installation of Chinese made solar panels will cost 1.44 times cheaper than the domestic equivalent. Electricity costs for the base pumping station during the canal's operation, and therefore the savings of using solar panels during the year will be 20.19 million rubles. The cost of generated electricity in winter (for 617 hours) for domestic needs will be 4.97 million rubles. Thus, with the total cost for installing domestic made panels of 318.46 million rubles, and the total cost for installing Chinese-made panels of 227.22 million rubles, the payback time will be 15.8 and 11.3 years, respectively. The organizational and legal instrument for applying the public-private partnership mechanism with the aim of attracting investments into land reclamation was substantiated.*

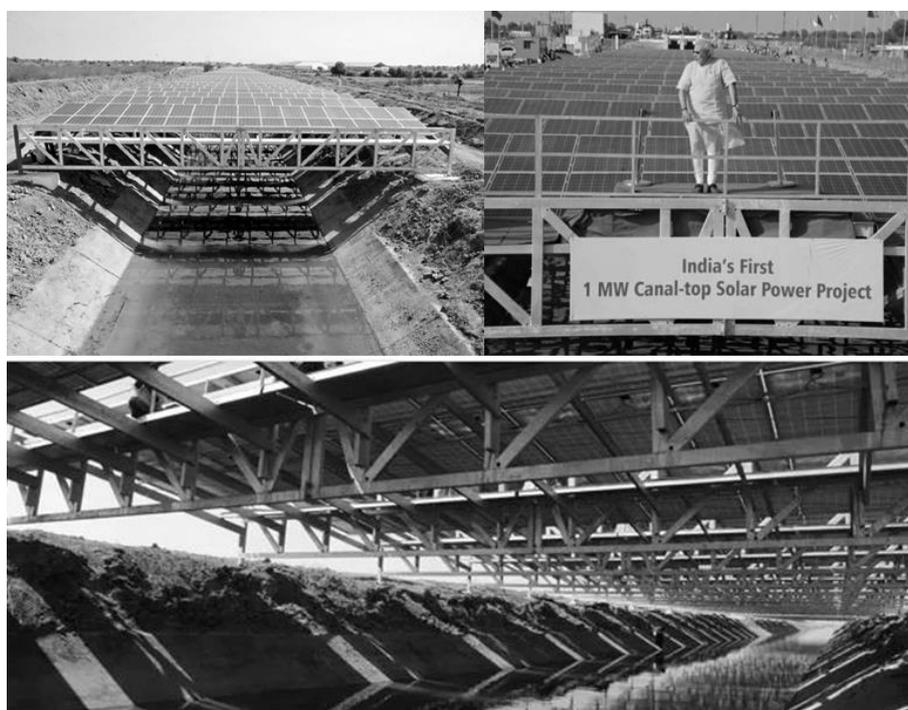
*Key words:* reclamation, renewable energy sources, solar panels, main channel, public-private partnership, investments, innovations.

**Введение.** Увеличение энергообеспеченности отраслей народного хозяйства, в т. ч. агропромышленного комплекса, должно идти не только в направлении интенсивного использования природных невозобновляемых энергоресурсов, в частности уг-

леводородов, но и путем создания и внедрения технологий и средств использования возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов [1].

Эффективность и целесообразность использования разных способов превращения солнечной энергии в электрическую и тепловую энергии в значительной степени зависят от потенциала территорий. Например, в регионах с высоким уровнем солнечной радиации создание солнечных электростанций башенного и модульного типов и гелиоэнергетических установок с использованием солнечных прудов в комплексе с ветроэлектрическими установками (ВЭУ) позволит обеспечить эти регионы электрической энергией на 95 % [2]. В Южном федеральном округе, на Северном Кавказе и юге Сибири годовое число солнечных часов позволяет достаточно эффективно осуществлять солнечную генерацию [3, 4]. В этих регионах из-за высокой солнечной радиации и большого количества часов с солнечным сиянием использование солнечной энергии может оказаться значительно дешевле стоимости 1 кВт·ч тепловой энергии, получаемой на тепловой электрической станции (ТЭС).

В мировой экономике имеются примеры использования водных объектов для солнечной энергетики. Так, например, в Индии в штате Гуджарат государственная генерирующая компания Mahagenco разместила над оросительными каналами солнечные панели (рисунок 1) [5].



**Рисунок 1 – Применение солнечных панелей над оросительными каналами в штате Гуджарат, Индия, 2014 г. (источник: <http://in-space.info/news/solnechnye-elektrostantsii-spuskayut-na-vodu>)**

Размещение солнечных панелей над оросительными каналами преследовало несколько целей: сокращение капитальных затрат посредством размещения солнечных панелей над оросительными каналами (экономия на выделении земель под застройку), уменьшение потери воды из водных объектов за счет сокращения испарения, охлаждение панелей за счет водной глади, получение экологически чистой энергии, создание новых рабочих мест.

**Материал и методы.** В статье представлены инженерно-технические и экономико-математические расчеты с целью обоснования размещения над оросительными каналами солнечных панелей. Вследствие того, что Краснодарский край наиболее бла-

гоприятен по условиям размещения солнечных панелей, объектом исследования был выбран Пригородный оросительный канал, входящий в мелиоративную систему региона. Применение методов мониторинга, сравнительного анализа, нормативного, расчетно-конструктивного моделирования позволило обосновать реализацию «Проекта создания комплекса солнечных панелей над оросительным каналом» (далее – Проект) с задействованием инструментария государственно-частного партнерства.

**Результаты и обсуждение.** Краснодарский край в силу своего физико-географического положения имеет большое количество солнечного тепла и света. Положение края в пределах географических координат (43°30' – 46°30' с. ш.) определяет высоты стояния солнца над горизонтом, угол наклона солнечных лучей от 68°33' в полдень 22 июня до 21°30' 22 декабря. Годовое количество тепла составляет на севере края 115 ккал/см<sup>2</sup>, а на юге – 120 ккал/см<sup>2</sup>. В летний период суммарная радиация составляет 48 ккал/см<sup>2</sup>, зимой – до 12 ккал/см<sup>2</sup>; кроме зимнего периода, во все периоды года имеет место положительный тепловой баланс, более 45 ккал/см<sup>2</sup>. Высота солнца зимой менее 30°, с марта по сентябрь – более 45°. Продолжительность солнечного сияния 2200–2400 ч/год, т. е. на 800–900 ч. больше, чем в Москве [6]. В Краснодарском крае средняя продолжительность солнечного сияния за год составляет 2174 ч, при этом годовой максимум отмечается в июле (323 ч), а минимум – в декабре (57 ч) [6] (таблица 1).

**Таблица 1 – Продолжительность солнечного сияния в Краснодарском крае**

В ч

| Величина     | Месяц |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | I     | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
| Средняя      | 71    | 83   | 130  | 181  | 242  | 289  | 323  | 291  | 239  | 173  | 95   | 57   |
| Максимальная | 166   | 131  | 187  | 255  | 337  | 362  | 393  | 363  | 317  | 253  | 167  | 131  |
| Минимальная  | 27    | 37   | 79   | 100  | 159  | 200  | 252  | 214  | 161  | 108  | 43   | 18   |
| Год          | 1967  | 1924 | 1924 | 1955 | 1915 | 1917 | 1925 | 1976 | 1929 | 1914 | 1955 | 1927 |

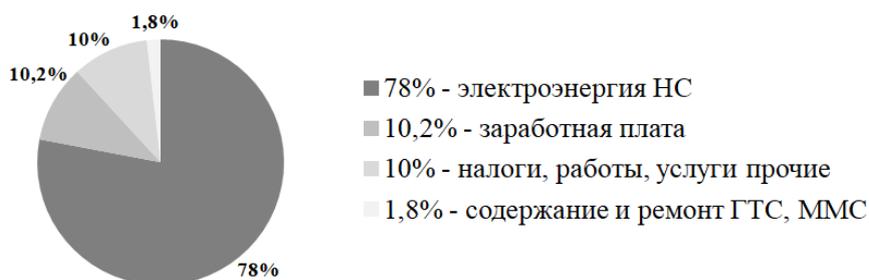
Данные показатели свидетельствуют об экономической целесообразности использования здесь возобновляемых источников энергии – установки солнечных панелей.

В Краснодарском крае имеется значительное количество объектов мелиорации. В частности, созданы и функционируют 16 оросительных систем, в т. ч. Фёдоровская, Темрюкская, Крюковская, Пригородная.

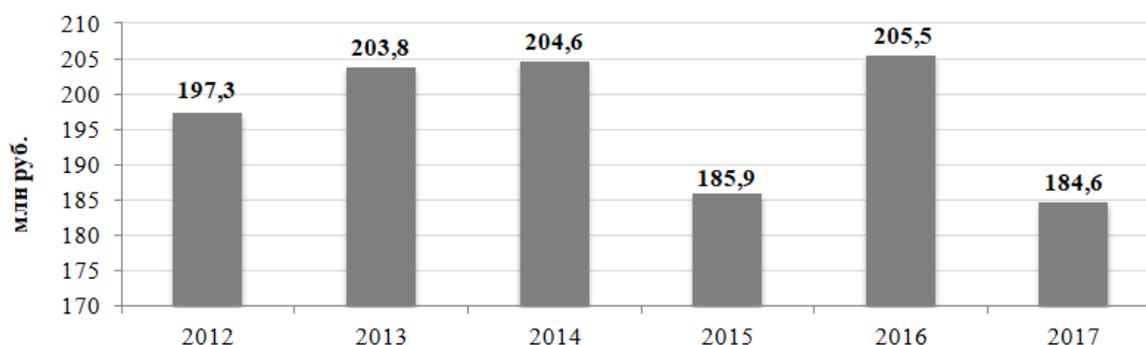
Уполномоченным государственным органом в области мелиорации земли в крае выступает федеральное государственное бюджетное учреждение «Управление мелиорации земли и водного хозяйства Краснодарского края» (ФГБУ «Управление «Кубань-мелиоводхоз»), которое находится в ведении Министерства сельского хозяйства РФ. Основной целью деятельности учреждения является создание необходимых условий для увеличения объемов производства высококачественной сельскохозяйственной продукции на основе восстановления и повышения плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения при выполнении комплекса гидромелиоративных, культуртехнических, водохозяйственных, организационных и других мероприятий, эксплуатации мелиоративных систем. В данный момент на территории края реализуется государственная подпрограмма «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». Хозяйственно-экономическая деятельность ФГБУ «Управление «Кубань-мелиоводхоз» складывается из средств, поступающих из федерального центра, и платы за оказываемые услуги, главной из которых является подача воды сельхозтоваропроизводителям. До 78 % выделенных федеральных денег ФГБУ «Управление «Кубань-мелиоводхоз» тратит на оплату электроэнергии для работы насосных станций (рисунки 2, 3).

Исследования показали, что динамика финансирования ФГБУ «Управление «Кубань-мелиоводхоз» из федерального бюджета является нестабильной и имеет тен-

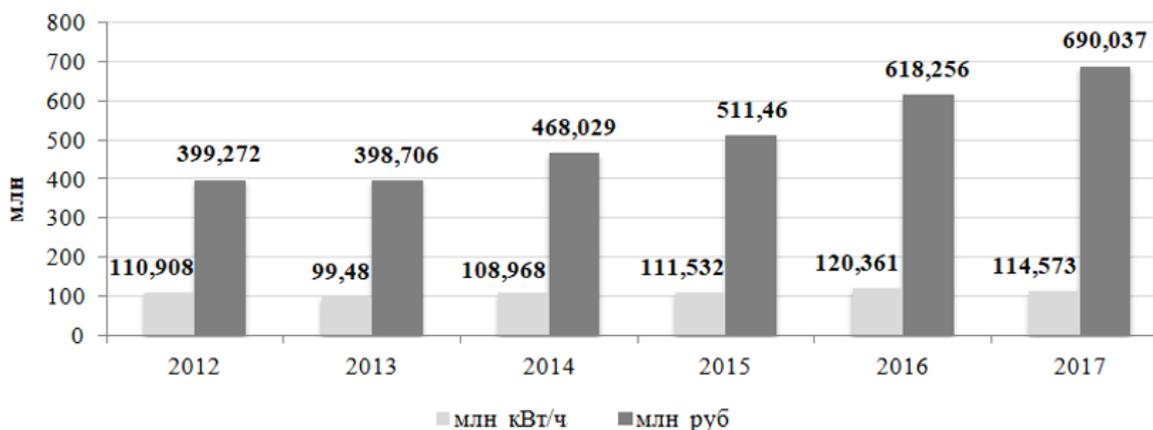
денцию к уменьшению, а из данных рисунка 4 видно, что общие затраты на электроэнергию стремительно увеличиваются из года в год.



**Рисунок 2 – Структура затрат в стоимости услуги по поливу земель со стороны ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз», 2017 г.**



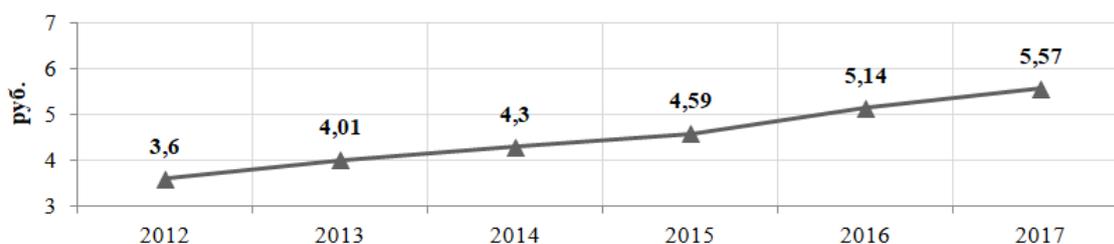
**Рисунок 3 – Затраты ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» на оплату электроэнергии, млн руб., по годам**



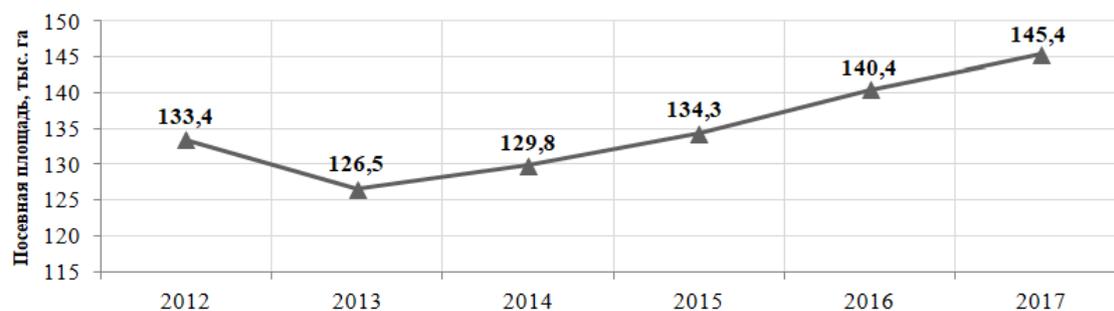
**Рисунок 4 – Фактический расход кВт·ч и затраты на полив ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» по годам**

ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» вынуждено постоянно отстаивать свою точку зрения перед сельхозтоваропроизводителями при объявлении очередного повышения платы за подачу воды. Из данных рисунка 5 видно, как увеличивается фактическая стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, потребляемой при орошении в Краснодарском крае.

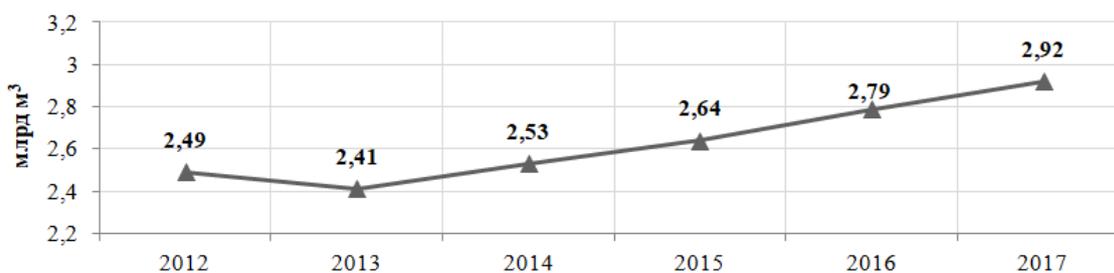
Увеличение цен в 1,54 раза за последние 5 лет негативно сказывается на развитии агропромышленного комплекса края и не обеспечивает прирост орошаемых земель в необходимом количестве. Динамика посевных площадей Краснодарского края (рисунок 6) ведет к увеличению объемов подачи воды на мелиорированные земли со стороны ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» (рисунок 7).



**Рисунок 5 – Фактическая стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, используемой для полива, по годам**



**Рисунок 6 – Динамика посевных площадей в Краснодарском крае, тыс. га**



**Рисунок 7 – Объем подачи воды на мелиорированные земли со стороны ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз», млрд м³**

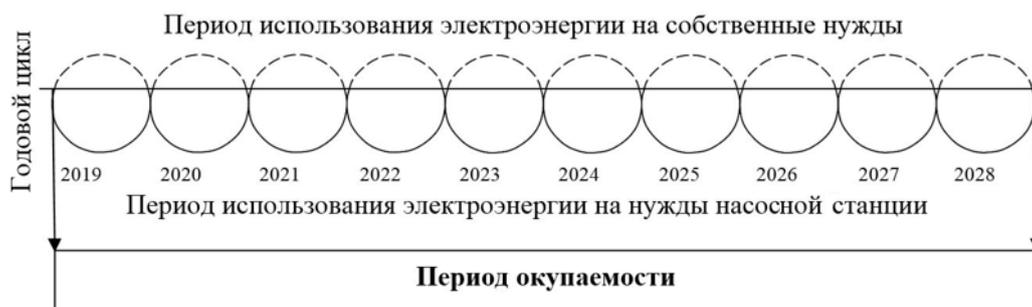
Одним из возможных вариантов сокращения затрат ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» является использование солнечной энергии (размещение солнечных панелей на одном из магистральных каналов). В ходе исследования было определено, что наиболее предпочтительным местом для размещения комплекса солнечных панелей является Пригородная оросительная система (ПОС), находящаяся в ведении ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» [7].

ПОС расположена в северо-восточной пригородной части Краснодара и южной части Динского района. Строительство оросительной системы было начато в 1977 г. и завершено в 1985 г. В настоящее время ПОС обслуживает 18 крупных водопользователей различной организационно-правовой формы собственности (ЗАО, ООО, СПК), а также пять владельцев личных подсобных хозяйств. Орошаемый массив в зоне Краснодарского края охватывает площади СПК «Краснодарский» и АОЗТ «Солнечная» [8]. Головной водозабор в систему осуществляется из верхнего бьефа Краснодарского водохранилища насосной станцией № 1, а сброс воды ведется через приазовские реки Кочеты и Понура. Общая площадь орошения в зоне ПОС составляет 23,3 тыс. га.

Для реализации Проекта – размещения солнечных панелей над оросительным каналом потребовалось решить ряд важных организационных задач: определить предполагаемых заказчиков, инвесторов, исполнителей Проекта, а также потребителей. Исследования показывают, что данный Проект можно реализовать на основе применения

инструментария государственно-частного партнерства. Организационно-правовой формой исполнения Проекта может выступить созданный на основе добровольного участия партнеров сельскохозяйственный потребительский кооператив (некоммерческая организация). Членами предполагаемого кооператива являются ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» (со стороны государства), 23 водопользователя (18 крупных хозяйств и пять владельцев личных подсобных хозяйств). Данная организационно-правовая форма может объединить интересы государства и частных лиц, а также использовать их денежные и материальные ресурсы в целях повышения эффективности сельскохозяйственного производства, водопользования. Выгода обеих сторон заключается в том, что энергия, получаемая от солнечных панелей, остается в собственности членов сельскохозяйственного потребительского кооператива и может существенно повлиять на уровень оплаты подачи воды на поля (снизить его).

В результате реализации Проекта ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» уменьшает свои затраты на приобретение энергии у генерирующих компаний и формирует цену за подачу воды с учетом интересов членов кооператива, являющихся в то же время и пользователями воды. По Проекту в вегетационный период (180 дней) 90 % выработанной электроэнергии будет использоваться для обеспечения работы насосной станции, в оставшийся период (185 дней) энергия, поступающая в результате солнечной генерации, может использоваться членами кооператива для своих нужд или продаваться на сторону (рисунок 8).



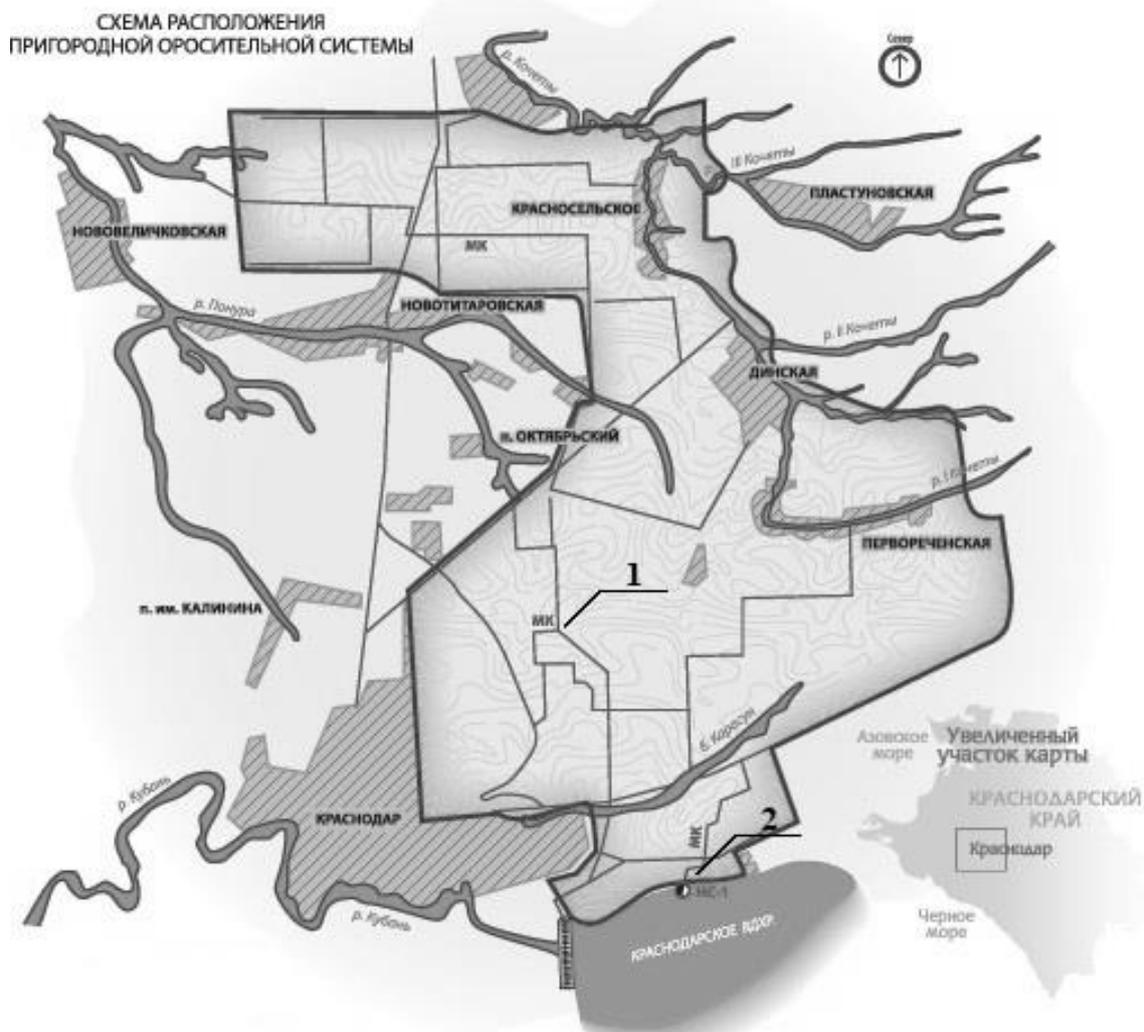
**Рисунок 8 – Соотношение периодов использования полученной электроэнергии от солнечных панелей**

Таким образом, полученная электроэнергия от солнечных панелей, выработанная в зимний период, может использоваться для нужд членов кооператива, а в летний период (период полива) электроэнергия расходуется на орошение (на работу насосной станции).

**Реализация Проекта.** Согласно данным мониторинга водных объектов магистральный канал ПОС имеет следующие характеристики: уровень безопасности удовлетворительный, русло бетонное и земляное, техническая оценка канала удовлетворительная [9]. Суммарная производительность головной насосной станции (ГНС) НС-1  $23,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , потребляемая мощность всех агрегатов составляет  $4535 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . Насосная станция оснащена семью насосными агрегатами производительностью  $3,2 \text{ м}^3/\text{с}$ , мощностью электродвигателя  $630 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . Также имеется резервный агрегат марки ОВ6-55 производительностью  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ , мощностью электродвигателя  $125 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . Насосная станция НС-1 без замены оборудования эксплуатируется с 1978 г., в результате реальное энергопотребление превышает проектное. При этом общая площадь орошения оросительной системы по проектным данным составляет  $23940 \text{ га}$ , а полив в 2016 г. был произведен лишь на площади  $5888 \text{ га}$  [8]. Согласно данным, представленным департаментом мелиорации, годовое потребление электроэнергии ГНС составляет  $5754910 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , затраты на электроэнергию для ГНС –  $27313,3 \text{ тыс. руб.}$  [10].

Рассматриваемый участок магистрального канала берет свое начало между дач-

ным товариществом «Знаменский» и пос. Пригородным и заканчивается в районе пос. Лазурного (от третьего бьефа канала до восьмого) (рисунок 9).



1 – магистральные и распределительные каналы; 2 – насосная станция НС-1

**Рисунок 9 – Схема расположения Пригородной оросительной системы Краснодарского края (источник: <http://www.kmvh.ru/mhm3.html>)**

Участок канала под Проект (рисунок 10) имеет характеристики, представленные в таблице 2 [8].

**Таблица 2 – Гидравлические элементы в бьефах рассматриваемого участка магистрального канала**

| Но-<br>мер<br>бьефа | Шеро-<br>хова-<br>тость | Уклон   | Длина<br>бьефа,<br>м | Залож-<br>ение от-<br>коса | Ширина<br>по дну,<br>м | Отбор во-<br>ды, м <sup>3</sup> /с,<br>95 % | Нормаль-<br>ная глуби-<br>на, м |
|---------------------|-------------------------|---------|----------------------|----------------------------|------------------------|---|---------------------------------|
| 3                   | 0,017                   | 0,0003  | 4500                 | 2                          | 2                      | 1,2   | 2,041                           |
| 4                   | 0,017                   | 0,0004  | 3500                 | 2                          | 1                      | 1,2   | 2,041                           |
| 5                   | 0,017                   | 0,0004  | 2250                 | 2                          | 1                      | 1,2   | 1,953                           |
| 6                   | 0,020                   | 0,00045 | 3500                 | 2                          | 1,5                    | 1,2   | 1,836                           |
| 7                   | 0,020                   | 0,0006  | 4000                 | 2                          | 1,5                    | 1,2   | 1,641                           |
| 8                   | 0,025                   | 0,0004  | 5000                 | 2                          | 1,5                    | 0,9   | 1,855                           |



1 – магистральный канал ПОС; 2 – участок магистрального канала для размещения солнечных панелей

**Рисунок 10 – Схема расположения участка на магистральном канале Пригородной оросительной системы для размещения солнечных панелей**

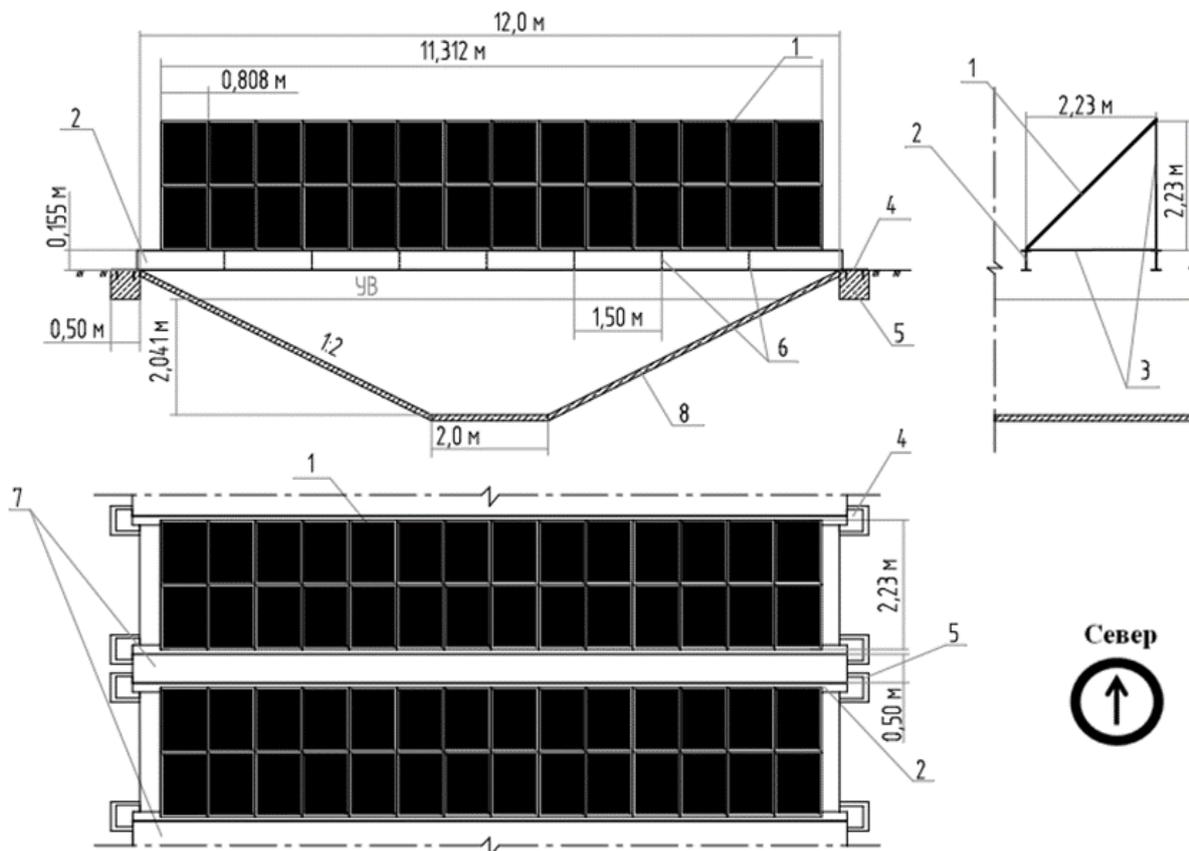
Канал в бетонной облицовке (рисунок 11) отвечает условиям для размещения солнечных панелей.



**Рисунок 11 – Вид канала в начале шестого бьефа (фото авторов)**

Рассматриваемый проектный участок имеет протяженность 22,75 км. Ширина канала по верху составляет 12,0 м, ее можно принять за ширину размещения солнечных панелей. Общая площадь, подходящая для размещения панелей, составляет 273000 м<sup>2</sup>. Параметры канала на рассматриваемом участке представлены в таблице 2.

Схема размещения солнечных панелей по рассматриваемому Проекту представлена на рисунке 12.



- 1 – солнечная панель (направление на юг, угол размещения 45°); 2 – двутавр 35Б1;  
 3 – крепление панелей (сигма-профиль); 4 – закладная деталь МИ1-22;  
 5 – бетонный фундамент; 6 – поперечное ребро двутавра; 7 – технологический переход (деревянный мостик); 8 – бетонная облицовка канала

**Рисунок 12 – Схема размещения солнечных панелей на магистральном канале Пригородной оросительной системы по Проекту**

Расчет эффективности Проекта производился следующим образом. Была взята потребляемая мощность ГНС [10] за вегетационный период (время работы канала) и стоимость потребляемой ею электроэнергии (расчет стоимости необходимой для ГНС электроэнергии велся по тарифу второго полугодия 2017 г. (5,59 руб./кВт·ч)). Затем было рассчитано необходимое для покрытия расхода электроэнергии при работе одного агрегата количество солнечных панелей, определена их стоимость и расходы на установку. Срок окупаемости Проекта рассчитывался как отношение затрат на солнечные панели к сумме предполагаемой прибыли от продажи электроэнергии населению [11] и средств, сэкономленных в связи с собственной выработкой электроэнергии для ГНС в течение года. Расчет проводился для солнечных панелей как отечественных производителей, так и зарубежных, в частности китайских, так как они являются наиболее продаваемыми на мировом рынке. Из рассмотренного ряда панелей было выбрано две модели: КСМ-200 (200 Вт) от НПП «Квант» (г. Москва) [12] и СНН 200W-72М (200 Вт)

от Chinaland Solar Energy Co., Ltd. (Китай), поставщика ООО «Чистая Энергия» [13].  
Произведенные расчеты сведены в таблицы 3–6.

**Таблица 3 – Расчет показателей головной насосной станции**

| Показатель   | Единица измерения | Величина |
|--|-------------------|----------|
| Мощность всех агрегатов ГНС (НС-1 23)                              | кВт·ч             | 4535     |
| Мощность одного агрегата ГНС                                       | кВт·ч             | 630      |
| Годовое потребление электроэнергии                                 | кВт·ч             | 5754910  |
| Годовое потребление электроэнергии агрегата                        | кВт·ч             | 2721600  |
| Затраты на электроэнергию для ГНС<br>(5,59 руб./кВт·ч)             | млн руб.          | 32,17    |
| Затраты на электроэнергию для одного агрегата<br>(5,59 руб./кВт·ч) | млн руб.          | 15,21    |

**Таблица 4 – Расчет затрат на солнечные панели для реализации Проекта**

| Показатель   | Единица измерения | КСМ-200         | CHN 200W-72M    |
|--|-------------------|-----------------|-----------------|
| Мощность   | Вт·ч              | 200             | 200             |
| Габариты   | мм                | 1586 × 806 × 35 | 1580 × 808 × 35 |
| Срок службы  | лет               | 25              | 25              |
| Площадь панели   | м <sup>2</sup>    | 1,278           | 1,276           |
| Мощность с 1 м <sup>2</sup>  | Вт·ч              | 156,46          | 156,66          |
| Мощность с 1 м <sup>2</sup> за вегетационный период (1557 ч)                                   | кВт·ч             | 243,6           | 243,92          |
| Площадь панелей, необходимая для удовлетворения энергопотребления одного агрегата ГНС          | м <sup>2</sup>    | 11172,3         | 11157,7         |
| Необходимое количество панелей (согласно компоновочной схеме)                                  | шт.               | 8764            | 8764            |
| Количество панелей в одном ряду  | шт.               | 28              |                 |
| Количество рядов   | шт.               | 313             |                 |
| Длина участка магистрального канала для размещения панелей (согласно компоновочной схеме)      | м                 | 854,5           |                 |
| Стоимость одной панели   | руб.              | 19500           | 9090            |
| Сумма затрат на все панели   | млн руб.          | 170,9           | 79,7            |
| Стоимость комплекта сопутствующих установок (аккумулятор, контроллер, инвертор и пр.) на 1 ряд | руб.              | 317600          |                 |
| Сумма всех затрат на сопутствующие установки (аккумулятор, контроллер, инвертор и пр.)         | млн руб.          | 99,41           |                 |
| Стоимость установки панелей на участок (из расчета, что установка 1 панели ≈ 3000 руб.)        | млн руб.          | 26,29           | 26,29           |
| Сумма расходов на панели   | млн руб.          | 296,6           | 205,4           |

Расчет расходов на металлоконструкции производился по средней розничной стоимости необходимых материалов и оказания услуг по г. Краснодару (таблица 5).

Таблица 5 – Расчет стоимости металлоконструкций для реализации Проекта

| Показатель  | Единица измерения   | Величина       |
|---|---------------------|----------------|
| <i>Двутавр</i>  |                     |                |
| Номер профиля   |                     | 35Б1           |
| Вес   | кг/м                | 38,9           |
| Длина на ряд  | пог. м              | 24             |
| На все ряды   | пог. м              | 7512           |
| Вес всего   | т                   | 292,2          |
| Цена  | руб./т              | 38 000         |
| Стоимость всего   | млн руб.            | 11,1           |
| <i>Фундамент</i>  |                     |                |
| Закладные детали  |                     | МИ1-22         |
| Параметры   | мм                  | 150 × 240 × 8  |
| Вес   | кг/шт.              | 2,7            |
| Цена  | руб./шт.            | 435            |
| Количество закладных деталей на ряд                             | шт.                 | 4              |
| Количество закладных деталей всего                              | шт.                 | 1252           |
| Стоимость всего   | млн руб.            | 0,54           |
| Объем одного бетонного фундамента                               | м <sup>3</sup>      | 0,125          |
| Объем бетона под фундамент на ряд                               | м <sup>3</sup>      | 0,5            |
| Объем бетона под фундамент всего                                | м <sup>3</sup>      | 156,5          |
| Цена  | руб./м <sup>3</sup> | 1000           |
| Стоимость бетонного фундамента всего                            | млн руб.            | 0,16           |
| Расходы на фундамент всего                                      | млн руб.            | 0,7            |
| <i>Металл на поперечные ребра для двутавра</i>                  |                     |                |
| Расстояние между поперечными ребрами                            | м                   | 1,5            |
| Количество поперечных ребер на 1 двутавр                        | шт.                 | 14             |
| Параметры поперечного ребра                                     | мм                  | 70 × 350 × 8,5 |
| Площадь металла на поперечные ребра на 1 двутавр                | м <sup>2</sup>      | 0,343          |
| Площадь металла на поперечные ребра на ряд                      | м <sup>2</sup>      | 0,686          |
| Площадь металла на поперечные ребра всего                       | м <sup>2</sup>      | 214,72         |
| Вес металла   | кг/м <sup>2</sup>   | 62,8           |
| Вес металла на поперечные ребра всего                           | т                   | 13,48          |
| Цена металла  | руб./т              | 32000          |
| Стоимость металла на поперечные ребра всего                     | млн руб.            | 0,43           |
| <i>Затраты на настил для технологических переходов (дерево)</i> |                     |                |
| Параметры перехода между рядами                                 | м                   | 13 × 0,5       |
| Площадь всех переходов  | м <sup>2</sup>      | 2034,5         |
| Объем леса (25 × 100 × 2,5) всего                               | м <sup>3</sup>      | 50,86          |
| Цена за 1 м <sup>3</sup> леса                                   | руб.                | 6825           |
| Стоимость леса для переходов                                    | млн руб.            | 0,35           |
| <i>Сварочные работы</i>   |                     |                |
| Цена  | руб./т              | 30000          |
| Вес металлических конструкций                                   | т                   | 309,1          |
| Стоимость всего   | млн руб.            | 9,27           |
| <b>Стоимость металлоконструкций и переходов, итого</b>          | <b>млн руб.</b>     | <b>21,86</b>   |

**Таблица 6 – Расчет срока окупаемости Проекта**

| Показатель   | Единица измерения | КСМ-200 (производства России) | СНН 200W-72М (производства Китая) |
|--|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Сумма расходов на установку на канале панелей  | млн руб.          | 318,46                        | 227,22                            |
| Мощность выработанной электроэнергии панелями для одного агрегата ГНС  | МВт·ч             | 2721,6                        | 2721,6                            |
| Мощность ГНС, покрываемая электросетями  | МВт·ч             | 3033,31                       | 3033,31                           |
| Расходы на электроэнергию, поставляемую электросетями (5,59 руб./кВт·ч)  | млн руб.          | 16,96                         | 16,96                             |
| Экономия в связи с собственной выработкой электроэнергии для одного агрегата ГНС за год  | млн руб.          | 15,21                         | 15,21                             |
| Суммарная мощность, выработанная панелями за зимний период (617 ч)   | МВт·ч             | 1078,5                        | 1078,5                            |
| Стоимость выработанной электроэнергии в зимний период для нужд населения (4,61 руб./кВт·ч)   | млн руб.          | 4,97                          | 4,97                              |
| Сумма предполагаемой прибыли от продажи электроэнергии населению и средств, сэкономленных в связи с собственной выработкой электроэнергии для одного агрегата ГНС за год | млн руб.          | 20,19                         | 20,19                             |
| Срок окупаемости панелей   | лет               | 15,8                          | 11,3                              |

В результате предварительного расчета выяснили, что установка солнечных панелей китайского производства обойдется в 1,44 раза дешевле отечественного аналога. Затраты на электроэнергию для ГНС за время работы канала, а значит и сумма сэкономленных средств в случае использования солнечных панелей, в течение года составят 20,19 млн руб. Стоимость выработанной электроэнергии в зимний период (за 617 ч) для нужд населения составит 4,97 млн руб. Таким образом, при общих затратах на установку панелей отечественного производства 318,46 млн руб. и китайского 227,22 руб. срок окупаемости составит 15,8 и 11,3 года соответственно.

**Выводы.** Результаты расчетов по Проекту показывают, что солнечные панели, размещаемые над магистральными каналами, могут быть достаточно эффективными. Применение механизма государственно-частного партнерства позволяет аккумулировать средства инвесторов для обеспечения водопользователей более дешевой энергией, позволяющей формировать более низкую цену на услуги по подаче воды. Исследования показали, что в настоящее время конъюнктура рынка делает китайские солнечные панели более рентабельными. Солнечная энергия является альтернативным возобновляемым источником энергии, в настоящее время имеет высокий потенциал и может использоваться на объектах мелиорации.

#### Список использованных источников

1 Медведева, Л. Н. Зеленые технологии – новое качество жизни и трудовой деятельности на селе / Л. Н. Медведева // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., г. Барнаул, 27–28 февр. 2017 г. – Барнаул: Алтайский дом печати, 2017. – С. 96–98.

2 Роскошная, А. С. «Солнечная» энергетика в развитии мелиорации: задачи и

решения / А. С. Роскошная, Л. Н. Медведева // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы III междунар. науч.-практ. интернет-конф. / ФГБНУ «ПНИИАЗ». – Солёное Займище, 2018. – С. 248–254.

3 Белых, Д. В. Использование умных технологий в сельском хозяйстве на конвергентной платформе Smart Agriculture / Д. В. Белых, Л. Н. Медведева, А. С. Роскошная // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 89–94.

4 Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: крат. курс лекций / сост. А. М. Эфендиев; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 94 с.

5 Альтернативная энергетика: Индия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energyland.info/news-show-mir-alternate-146068.html>, 2018.

6 Нагалецкий, Э. Ю. Региональная мелиоративная география. Краснодарский край: монография / Э. Ю. Нагалецкий, Ю. Я. Нагалецкий, И. Н. Папенко. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 280 с.

7 Пригородная оросительная система [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kmvh.ru/mhm3.html>, 2018.

8 Ткачев, А. А. Анализ результатов расчета переходных гидравлических процессов для способа активного управления водораспределением на примере магистрального канала Пригородной оросительной системы г. Краснодара / А. А. Ткачев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 116–120.

9 Данные мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru.html>, 2018.

10 Техничко-эксплуатационная карта мелиоративной системы за 2015 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://mcx-dm.ru/gts/7902?report=tek&current\\_id=88956](http://mcx-dm.ru/gts/7902?report=tek&current_id=88956), 2018.

11 Тарифы на электроэнергию для Краснодара и Краснодарского края с 1 января 2018 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energo-24.ru/authors/energo-24/12827.html>, 2018.

12 Наземная фотоэнергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://npp-kvant.ru/?features=наземная-фотоэнергетика.html>, 2018.

13 Солнечная батарея СНН 200W-72М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://al-energy.ru/magazin/product/solnechnaya-batareya-chn-200w-72m>, 2018.

УДК 626.826:627.824

**Е. О. Складенко, П. С. Матюшенко**

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

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ОСНОВАНИЕ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С УСТРОЙСТВОМ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС МЕТОДОМ ЭГДА**

*Целью исследований являлась оценка эффективности работы противofильтрационных стен в грунте основания грунтовой плотины. Проведены экспериментальные исследования фильтрации через грунтовую плотину с ПФУ в основании, в т. ч. с учетом пространственного характера движения фильтрационного потока, и на этой основе подготовлены предложения по совершенствованию методики исследования методом ЭГДА. Разработан способ расчета фильтрации в основании грунтовой плотины с ПФУ в виде цементационной завесы при наличии различных повреждений.*

*Произведен анализ, и построена геометрическая модель, позволяющая оценивать эффективность ПФУ при образовании областей просачивания на разных глубинах.*

*Ключевые слова: фильтрация, ПФУ, противофильтрационные устройства, ЭГДА, гидродинамическая сетка, математическое моделирование, модель, матрица планирования, геометрический образ.*

\*\*\*\*\*

**E. O. Sklyarenko, P. S. Matyushenko**

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

### **METHODOLOGY OF FILTRATION RESEARCH THROUGH THE GROUND DAM BASE WITH ANTI-FILTRATION WALLS BY THE EHDA METHOD**

*The purpose of the research was to evaluate the effectiveness of the filtration-proof walls in the earth dam ground base. Experimental studies of filtration through the dam with anti-filtration curtains (PFU) in the ground base have been carried out, including the spatial nature of filtration flow, and on this basis proposals have been prepared for improving the EHDA method of investigation. A method for calculating filtration in the ground dam base with PFU in the form of a cement curtain at the presence of various damages has been developed. The analysis has been carried out, and a geometric model allowing to evaluate the efficiency of PFU at the seepage areas formation at different depths has been developed.*

*Keywords: filtration, PFU, anti-filtration devices, EHDA, hydrodynamic grid, mathematical modeling, model, planning matrix, geometric image.*

Метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) является одним из самых распространенных экспериментальных методов решения уравнения Лапласа. Наибольшее признание этот метод завоевал в гидротехнике, в подтверждение чего можно указать, что при проектировании подавляющего большинства крупных гидротехнических сооружений в нашей стране был использован метод ЭГДА.

Согласно техническим условиям и нормам проектирования фильтрационный расчет всех гидротехнических сооружений I и II класса обязательно должен быть выполнен при помощи метода ЭГДА [1].

Между стационарным движением грунтовых вод в пористой среде и стационарным движением электрического тока в проводящей среде существует аналогия, положенная в основу метода ЭГДА Н. Н. Павловским в 1922 г. [2].

При изучении движения фильтрационного потока на электрических моделях с помощью метода ЭГДА необходимо строго соблюдать следующие условия подобия:

- электрическая модель должна представлять изучаемую область фильтрации в некотором масштабе  $m$  без всякого искажения;
- коэффициенты электропроводности  $\sigma$  модели должны быть пропорциональны соответствующим коэффициентам фильтрации  $k$ , м/сут, т. е. между моделью и натурой должно существовать физическое подобие  $\sigma = n \cdot k$ , где  $n$  – коэффициент подобия;
- граничные условия для модели и природы должны быть подобны.

Схема прибора ЭГДА (его электрических соединений) показана на рисунке 1. Как видно, прибор имеет две электрические цепи:

- питающую, при помощи которой подводится постоянный ток к модели сооружения;
- измерительную, которая служит для измерения электрических потенциалов в отдельных точках электропроводной модели.

В питающую цепь  $A$  (включенную в сеть переменного тока) входят трансформатор и выпрямитель. Ток от сети через выпрямитель и трансформатор приводится к шине  $1$ , затем проходит через электропроводящую модель сооружения и через шину  $2$  возвращается в сеть.

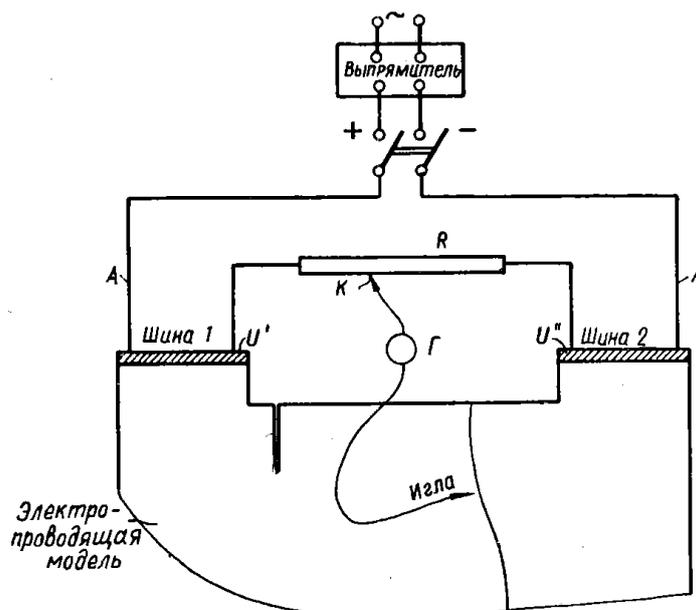


Рисунок 1 – Схема прибора ЭГДА

Измерительная цепь устроена по принципу мостика Уитстона и включает в себя электропроводящую модель сооружения, реостат  $R$  и гальванометр  $\Gamma$ . К подвижному контакту  $K$  реостата подключена через гальванометр на гибком проводе игла, с помощью которой можно измерить электрический потенциал в любой точке модели.

Использование электропроводной бумаги (рисунок 2) в качестве проводящей среды позволяет существенно упростить технику моделирования задач [3].

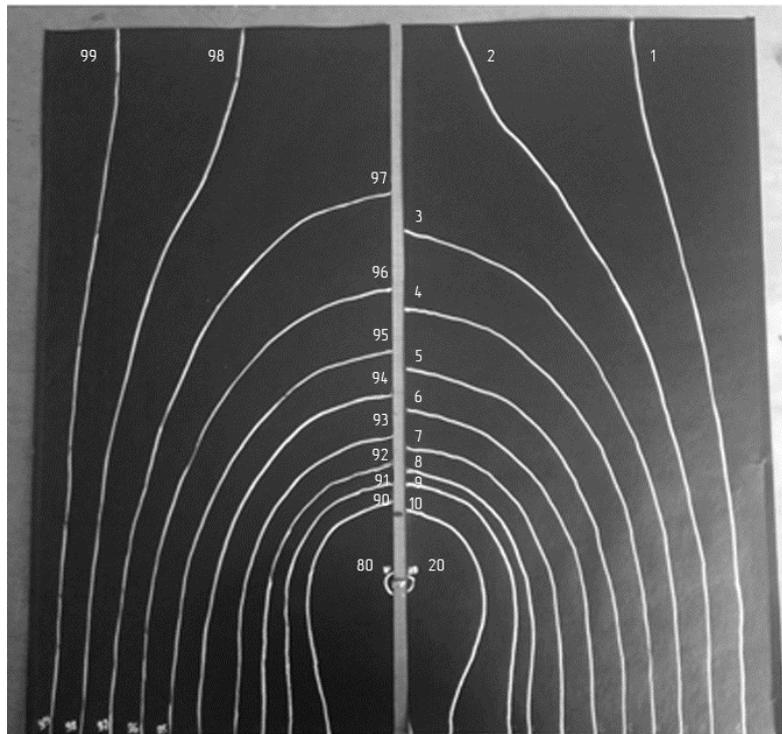


Рисунок 2 – Модель из электропроводной бумаги

Моделирование задач фильтрации со свободными поверхностями несколько сложнее моделирования чисто напорных задач фильтрации.

Сложность заключается в том, что граница области фильтрации полностью

не известна и в самом процессе решения задачи необходимо определить кривую депрессии. Кроме того, при моделировании задач данного типа могут встречаться особые граничные условия на низовом откосе выше горизонта воды в нижнем бьефе.

Подготовка модели заключалась в следующем. Для области фильтрации были приняты размеры  $50 \times 50$  м, при планировании эксперимента эти значения откладывались в масштабе 1:100.

Моделирование аварийных ситуаций осуществлялось путем создания повреждения в цементационной завесе в наиболее вероятных местах (примыкание к ядру и середина завесы) в виде областей просачивания высотой 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 м. При этом предполагалось, что области просачивания в завесе закольматированы грунтом с коэффициентом фильтрации, соответствующим данному грунту (где находится стена). В связи с этим они моделировались в соответствующих местах электрической модели полосками электропроводной бумаги шириной от 1 до 5 мм.

Выполнение граничных условий осуществляли при помощи подсоединения металлических шин вдоль линий дна бьефов, которые являются линиями равного пьезометрического напора.

После того, как модель была изготовлена и были соблюдены все необходимые граничные условия, приступили к решению фильтрационной задачи.

Решение задачи начали путем построения гидродинамической сетки движения фильтрационного потока [4].

Эквипотенциальные линии строили, отыскав при помощи измерительной иглы ряд точек с заданным потенциалом ( $\varphi = 90\%$ ,  $\varphi = 80\%$ , ...,  $\varphi = 10\%$ ) и соединив их плавными кривыми. Эквипотенциальные линии вычерчивались непосредственно на электропроводной бумаге.

Используя свойство ортогональности линий тока с эквипотенциалами в точках их пересечения, линии тока наносили визуально от руки. При этом следили, чтобы гидродинамическая сетка состояла из криволинейных квадратов. Практически это сводится к тому, что средние линии каждого квадрата приблизительно равны.

После построения сетки эквипотенциальных линий и линий тока определяли удельный фильтрационный расход и выходные градиенты.

Используя свойство ортогональности линий тока с эквипотенциалами в точках их пересечения, линии тока строили визуально от руки. При этом необходимо, чтобы гидродинамическая сетка состояла из криволинейных квадратов. Практически это сводится к тому, что средние линии каждого квадрата приблизительно равны.

Имея построенную гидродинамическую сетку движения, определяли:

- выходные градиенты напора;
- удельный фильтрационный расход,  $\text{м}^2/\text{сут}$ :

$$q = km \frac{\Delta h}{\Delta l_{\text{cp}}},$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации соответственно слоя основания,  $\text{м}/\text{сут}$ ;

$m$  – мощность слоя основания,  $\text{м}$ ;

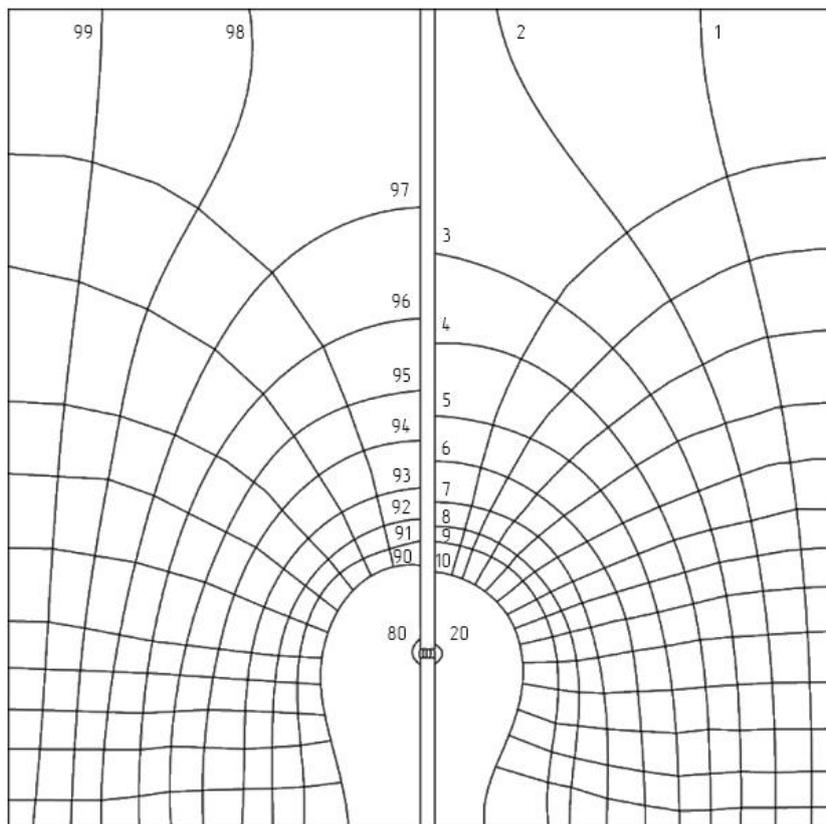
$\Delta h$  – потери напора в пределах рассматриваемого пояса ( $\Delta h = 0,1 \cdot H$ ),  $\text{м}$ ;

$\Delta l_{\text{cp}}$  – средняя ширина рассматриваемого пояса,  $\text{м}$ .

Для планирования эксперимента по квадратам были построены шесть гидродинамических сеток (рисунок 3). В разных вариантах были повреждения от 0,2 до 1,0 м, расположенные на высоте стенки от  $0,2H$  до  $0,8H$ . Стенка перекрывает фильтрационный поток до водоупора.

Математическое моделирование и построение образов функций отклика. В настоящей работе для построения геометрических образов исследуемых функций отклика использованы методы линейной алгебры [5], сущность которых заключается

в следующем. Если по двум координатным осям откладывать численные значения факторов  $x_1$  и  $x_2$ , а по третьей оси – значения соответствующего им отклика  $y_i$ , то двухфакторная модель второго порядка описывает с математической точки зрения некоторую поверхность в трехмерном пространстве. В зависимости от сочетания численных значений коэффициентов, модель описывает одну из трех возможных поверхностей – эллипсоидную, параболическую или гиперболоидную. Для установления конкретного вида поверхности, описываемой исследуемой моделью, уравнение вида (1) необходимо привести к так называемой канонической форме [6].



**Рисунок 3 – Гидродинамическая сетка для расчетной схемы 3**

С этой целью вычисляют инварианты поверхности, представляющие собой некоторые выражения, составленные из коэффициентов уравнения исследуемой функции отклика, которые не меняются при переходе от одной прямоугольной декартовой системы координат к другой, т. е. при поворотах и параллельных переносах координатных осей.

Общий вид полинома второй степени для двух факторов следующий:

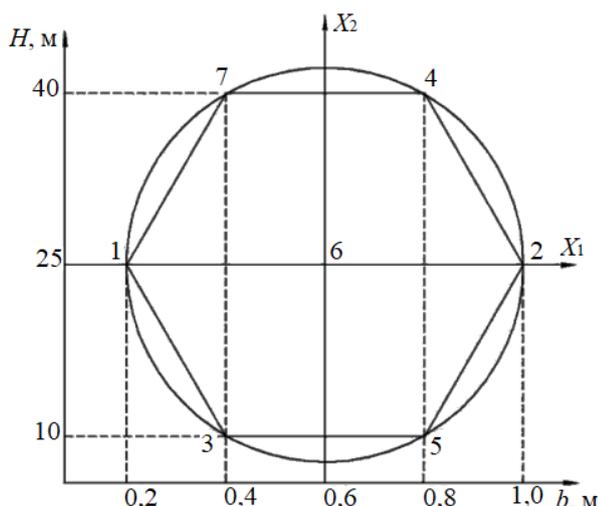
$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2. \quad (1)$$

Условия кодирования и варьирования переменных представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Кодирование и варьирование факторов**

| Фактор                         | Код $x_i$ | Основной уровень $x_0$ | Интервал варьирования | Нижний уровень «←» | Верхний уровень «+» |
|--------------------------------|-----------|------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Область раскрытия пучка трещин | $x_1$     | 0,6                    | 0,2                   | 0,2                | 1,0                 |
| Глубина образования, м         | $x_2$     | 25                     | 15                    | 10                 | 40                  |

Графически план эксперимента представлен на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Условия проведения опытов по симплексно-суммируемому плану второго порядка на правильном шестиугольнике**

В плане проведения опытов один фактор варьируется на пяти уровнях, а второй фактор – на трех уровнях. Расчетная матрица и результаты эксперимента представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Матрица планирования  $y(Q) = f(b, H)$ , условия и результаты опытов**

| Номер опыта | План  |        |         |         |           | Натуральное значение фактора |     | Отклик $y(Q)$ |
|-------------|-------|--------|---------|---------|-----------|------------------------------|-----|---------------|
|             | $x_1$ | $x_2$  | $x_1^2$ | $x_2^2$ | $x_1 x_2$ | $b$                          | $H$ |               |
| 1           | -1    | 0      | 1       | 0       | 0         | 0,2                          | 25  | 17,82         |
| 2           | +1    | 0      | 1       | 0       | 0         | 1,0                          | 25  | 25,32         |
| 3           | -0,5  | -0,87  | 0,25    | 0,75    | 0,43      | 0,4                          | 10  | 29,01         |
| 4           | +0,5  | +0,87  | 0,25    | 0,75    | 0,43      | 0,8                          | 40  | 22,01         |
| 5           | +0,5  | -0,87  | 0,25    | 0,75    | -0,43     | 0,8                          | 10  | 14,97         |
| 6           | 0     | 0      | 0       | 0       | 0         | 0,6                          | 25  | 37,68         |
| 7           | -0,5  | +0,87  | 0,25    | 0,75    | -0,43     | 0,4                          | 40  | 33,83         |
| Суммы       | (1 y) | (2 y)  | (11 y)  | (22 y)  | (12 y)    |                              |     | (0 y)         |
| $y_1(L)$    | -5,43 | 10,318 | 68,095  | 74,865  | 0,954     |                              |     | 181           |

Определение коэффициентов полиномиальной модели  $y(Q) = f(b, H)$ . С помощью матрицы планирования, описанной в таблице 2, вычисляем оценки коэффициентов неполного полинома второй степени [7]:

$$b_0 = (0y) - \sum(iiy) = 181 - (68,095 + 74,865) = 38,$$

$$b_1 = \frac{1}{3}(1y) = -\frac{5,43}{3} = -1,81,$$

$$b_2 = \frac{1}{3}(2y) = \frac{10,318}{3} = 3,44,$$

$$b_{12} = \frac{4}{3}(12y) = 4 \frac{0,9546}{3} = 1,27,$$

$$b_{11} = \frac{2}{3}(11y) + \frac{5}{6}[\sum(iiy)] - (0y) = \frac{2}{3}(68,095) + \frac{5}{6}(68,095 + 74,865) - 181 = -16,11,$$

$$b_{22} = \frac{2}{3}(22y) + \frac{5}{6}[\sum(iiy)] - (0y) = \frac{2}{3}(74,865) + \frac{5}{6}(68,095 + 74,865) - 181 = -11,6.$$

Следовательно, модель  $y_1(Q) = f(b, H)$  имеет вид:

$$y = 38 - 1,81x_1 + 3,44x_2 - 16,11x_1^2 - 11,6x_2^2 + 1,28x_1x_2. \quad (2)$$

Для построения геометрического образа модель (1) приведена к канонической форме (методом линейной алгебры).

Инварианты модели (1):

$$S = -16,11 - 11,6 = -27,7067,$$

$$\delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -16,11 & 0,635 \\ 0,635 & -11,6 \end{vmatrix} = 186,47;$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} & 0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & b_{22} & 0,5b_2 \\ 0,5b_1 & 0,5b_2 & b_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -16,11 & 0,635 & -0,905 \\ 0,635 & -11,6 & 1,72 \\ -0,905 & 1,72 & 38 \end{vmatrix} = 7141,15.$$

Каноническое уравнение:

$$y' = \lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2 + \frac{\Delta}{\delta},$$

$$\frac{\Delta}{\delta} = \frac{7141,15}{186,47} = 38,3,$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{S}{2} \pm \sqrt{\frac{S^2}{4} - \delta},$$

$$\lambda_{1,2} = -\frac{27,71}{2} \pm \sqrt{2,34} = -13,85 \pm 2,31,$$

$$\lambda_{1,2} = -13,85 + 2,31 = -11,54, \quad \lambda_{1,2} = -13,85 - 2,31 = -16,2,$$

$$y' = -11,54z_1^2 - 16,2z_2^2 + 38,3. \quad (3)$$

Система координат для канонической формы (3):

- тангенс угла поворота оси абсцисс:

$$K_1 = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\lambda - b_{11}}{0,5 \cdot b_{12}} = \frac{-11,5 + 16,2}{0,635} = 7,4;$$

- координаты центра поверхности:

$$X_{1S} = \frac{\begin{vmatrix} -0,5b_1 & 0,5b_{12} \\ -0,5b_2 & b_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{22} \\ -0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} 0,905 & 0,635 \\ -1,72 & -11,6 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -16,11 & -5,8 \\ -0,635 & -11,6 \end{vmatrix}} = -0,05136$$

$$X_{2S} = \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & -0,5b_1 \\ b_{12} & -0,5b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -16,11 & 0,905 \\ 1,27 & -1,72 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -16,11 & 0,635 \\ -0,635 & -11,6 \end{vmatrix}} = 0,142436$$

Поскольку коэффициенты канонической формы (3) оба имеют отрицательные знаки, модель описывает поверхность отклика эллипсоидного типа. Координаты центра поверхности отклика:  $X_{1S} = -0,05136$ ;  $X_{2S} = 0,142436$ .

Построение геометрического образа модели  $y(Q) = f(b, H)$  (рисунок 5):

$$z_1 = \sqrt{\frac{38,3 - y}{11,51}}, z_2 = \sqrt{\frac{38,3 - y}{16,2}}.$$

При:

$$\begin{aligned} y = 15 &\rightarrow z_1 = 1,422788, z_2 = 1,19928; \\ y = 20 &\rightarrow z_1 = 1,260921, z_2 = 1,06284; \\ y = 25 &\rightarrow z_1 = 1,07495, z_2 = 0,906084; \\ y = 30 &\rightarrow z_1 = 0,849183, z_2 = 0,715783; \\ y = 35 &\rightarrow z_1 = 0,53545, z_2 = 0,451335; \\ y = 37 &\rightarrow z_1 = 0,336073, z_2 = 0,283279. \end{aligned}$$

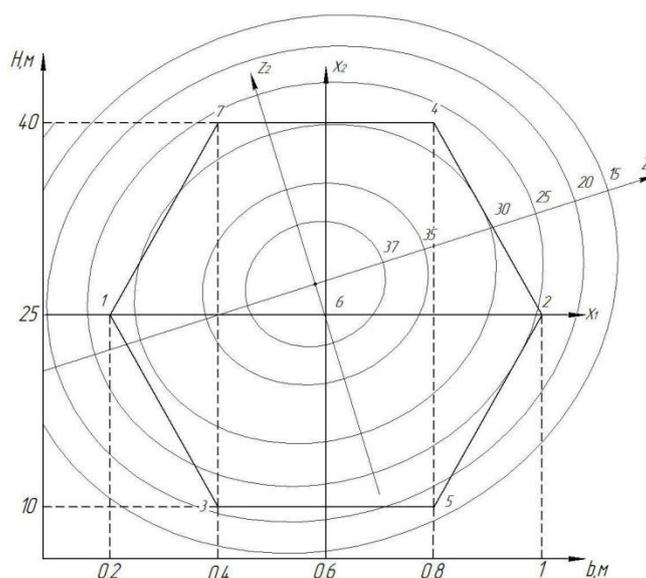


Рисунок 5 – Геометрический образ модели  $y(Q) = f(b, H)$

Для проверки адекватности модели (2) составлена вспомогательная таблица 3.

Оценка дисперсии неадекватности данной модели:

$$S_{\text{на}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{n-1} = \frac{186,1952}{6} = 31,03.$$

Таблица 3 – Данные для расчета дисперсии неадекватности для модели  $y(Q) = f(b, H)$

| Номер опыта | План  |       |         |         |           | $y_i^T$ по опыту | $y_i^Э$ по модели | $ y_i^T - y_i^Э $ | $(\Delta y_i)^2$ |
|-------------|-------|-------|---------|---------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|             | $x_1$ | $x_2$ | $x_1^2$ | $x_2^2$ | $x_1 x_2$ |                  |                   |                   |                  |
| 1           | -1    | 0     | 1       | 0       | 0         | 17,82            | 23,7              | 5,88              | 34,5744          |
| 2           | 1     | 0     | 1       | 0       | 0         | 25,32            | 20,08             | 5,24              | 27,4576          |
| 3           | -0,5  | -0,87 | 0,25    | 0,75    | 0,43      | 29,01            | 23,7351           | 5,2749            | 27,82457         |
| 4           | 0,5   | 0,87  | 0,25    | 0,75    | 0,43      | 22,01            | 27,9107           | 5,9007            | 34,81826         |
| 5           | 0,5   | -0,87 | 0,25    | 0,75    | -0,43     | 14,97            | 20,8243           | 5,8543            | 34,27283         |
| 6           | 0     | 0     | 0       | 0       | 0         | 37,68            | 38                | 0,32              | 0,1024           |
| 7           | -0,5  | 0,87  | 0,25    | 0,75    | -0,43     | 33,83            | 28,6199           | 5,2101            | 27,14514         |
| Сумма       |       |       |         |         |           |                  |                   |                   | 186,1952         |

Для оценки модели было поставлено три параллельных опыта в центральной точке плана, при этом получены следующие показатели удельного фильтрационного

расхода ( $y_{i0}$ ): 34,95; 36,53; 37,68 м<sup>3</sup>/сут. Тогда имеем среднее арифметическое  $\bar{y}_0 = 36,38$  м<sup>3</sup>/сут.

Оценка дисперсии воспроизводимости составляет:

$$S_0^2 = \frac{|34,95 - 36,38|^2 + |36,53 - 36,38|^2 + |37,68 - 36,38|^2}{2} = 1,8787.$$

Критерием для проверки нуль-гипотезы является дисперсионное отношение:

$$F_a = \frac{S_{\text{на}}^2}{S_0^2} = \frac{31,03}{1,8787} = 16,51; F_a = 16,51 \leq F_{\text{табл}} \left( \frac{f_1}{f_2} \right) \{a\} = 16,81.$$

Следовательно, условие выполняется и с вероятностью  $p = 0,99$  можно считать полученную модель адекватной.

В качестве заключения можно сделать вывод, что наибольший удельный фильтрационный расход (37,68 м<sup>3</sup>/сут) наблюдается при образовании в цементационной завесе области просачивания мощностью 0,6 м на глубине 25 м. Наименьшие фильтрационные расходы наблюдаются в стене в грунте на глубинах 10 м при образовании пучков просачивания мощностью 0,8 м (14,97 м<sup>3</sup>/сут) и 25 м с областью просачивания мощностью 0,2 м (17,82 м<sup>3</sup>/сут). Это подтверждается данными, полученными при математическом моделировании и построении геометрического образа функции откликов. Исходя из полученных результатов, можно судить о необходимости разработки технологических решений для усиления зон конструкции с минимальной эффективностью при образовании повреждений.

#### Список использованных источников

- 1 Жернов, И. Е. Моделирование фильтрационных процессов / И. Е. Жернов, И. Н. Павловец. – Киев: Высш. шк., 1976. – 192 с.
- 2 Киселёв, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселёв. – Изд. 4-е. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
- 3 Дружинин, Н. И. Метод электрогидродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации / Н. И. Дружинин. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 114 с.
- 4 Фильчаков, П. Ф. Интеграторы ЭГДА. Моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге / П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчишин; АН УССР. Ин-т математики. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 171 с.
- 5 Головина, Л. И. Линейная алгебра и некоторые ее приложения / Л. И. Головина. – М.: Кн. по Требованию, 2013. – 392 с.
- 6 Колганов, А. В. Планирование эксперимента в гидромелиоративных исследованиях: учеб. пособие / А. В. Колганов, А. М. Питерский, А. Т. Лисконов. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 1999. – 213 с.
- 7 Налимов, В. В. Планирование эксперимента / В. В. Налимов // Сборник трудов Московского государственного университета. – М.: Наука, 1971.

## МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.24

**Н. Н. Хожанов, М. К. Масатбаев, Г. Н. Хожанова**

Таразский государственный университет имени М. Х. Дулати, Тараз,  
Республика Казахстан

### **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С УЧЕТОМ АБСОЛЮТНОЙ ВЫСОТЫ МЕСТНОСТИ**

*В статье рассмотрены вопросы эколого-мелиоративного и экономического оздоровления орошаемых земель с точки зрения оценки радиационного баланса, направленного на дальнейшее совершенствование методологии регулирования почвенно-мелиоративных критериев на основе энергетических ресурсов конкретной местности. Предложена формула ( $R_H = R/H$ ) для оценки продуктивности климата с учетом абсолютной высоты местности, которая позволяет детально охарактеризовать реальные возможности той или иной территории для размещения сельскохозяйственных культур и оценить продуктивность растений и почвы, эффективность использования земельно-водных ресурсов, направленного на оздоровление экологической обстановки в орошаемом земледелии. Исследованиями установлено, что в водохозяйственных бассейнах по основным орошаемым культурам нормативные значения оросительных норм в целом были увеличены на 2080 м<sup>3</sup>/га. При возделывании овощных, бахчевых культур, многолетних трав, сои, виноградников и садов оросительные нормы занижены почти в 2 раза. Вследствие этого на протяжении многих лет ощущался острый недостаток урожая и относительно низкое качество данных культур. Превышение оросительных норм на протяжении многих лет способствовало подпитыванию грунтовых вод, ухудшению мелиоративного состояния земель и экологической обстановки в регионе. Представлены теоретические расчеты, свидетельствующие о зональных различиях в потреблении оросительной воды, которые описываются уравнением вида:  $Op = (R_H \cdot H - LOc)/L$ .*

*Ключевые слова: продуктивность климата, абсолютные отметки местности, радиационный баланс, оросительная норма, коэффициент ретроспективности.*

\*\*\*\*\*

**N. N. Khozhanov, M. K. Masatbaev, G. N. Khozhanova**

Taraz State University named after M. Kh. Dulati, Taraz, Republic of Kazakhstan

### **ENVIRONMENTAL SUBSTANTIATION OF FARMING SYSTEM AND IRRIGATION WATER REQUIREMENTS OF AGRICULTURAL CROPS TAKING INTO ACCOUNT THE HEIGHT ABOVE SEA LEVEL**

*The article deals with the issues of environmental-reclamative and economic recovery of irrigated lands in terms of assessing the radiation balance, aimed at further improving the methodology for regulating soil-reclamation criteria based on the energy resources of a particular locality. The formula ( $R_H = R/H$ ) for estimating the climate productivity taking into account the height above sea level, which allows to characterize in detail the real possibilities of a given territory for the placement of crops and assess the plants and soil productivity, the efficiency of land and water resources use, aimed at improving the ecological situation in irrigated agriculture. Studies have found that in the water basins for the main irrigated crops, the statutory values of irrigation requirements were generally increased by 2080 m<sup>3</sup> per ha.*

*When growing green seeds, gourds, perennial grasses, soybeans, vineyards and orchards, irrigation rates are almost halved. As a result, for many years there was an acute shortfall in yield and a relatively low quality of these crops. The exceedence of irrigation rate for many years contributed to the groundwater recharge, the deterioration of the reclamation state of lands and the ecological situation in the region. Theoretical calculations indicating zonal differences in the consumption of irrigation water, which are described by an equation of the form:  $O_p = (R_H \cdot H - LOc)/L$  are presented.*

*Key words: climate productivity, surface level, radiation balance, irrigation norm, retrospective coefficient.*

**Введение.** Физическая среда представляет собой совокупность факторов разной природы, оказывающих на природную среду энергетические воздействия. Физические факторы – носители различных видов энергии в природной системе представлены упругими колебаниями, инерционными силами и энергетическими полями. В отличие от многих химических и некоторых биологических загрязнителей физические факторы не являются чем-то новым для биосферы. Между тем необходимость регулирования физических факторов обуславливается прежде всего увеличением выраженности этих факторов, т. е. изменением направленности и интенсивности эволюционного процесса по сравнению с естественными режимами средообразующих процессов.

Целью исследований является разработка теоретических основ методологии экологического обоснования системы земледелия и оросительных норм сельскохозяйственных культур с учетом абсолютной высоты местности.

Актуальность решения поставленной задачи вытекает из концепции перехода к зеленой экономике, утвержденной Указом Президента РК № 577 от 30 мая 2013 г. В ней сформулированы основные требования к развитию политики в области управления водными ресурсами.

**Материалы и методы.** Отличия в показателях энергетических ресурсов орошаемых массивов, расположенных в основных областях Казахстана, выявлены на основе метода аналитического мониторинга. Коэффициенты ретроспективности получены путем деления показателя конкретной метеостанции на среднюю величину. Оценка продуктивности климата проведена по формуле, определяющей радиационный индекс абсолютной высоты местности ( $R_H$ ):

$$R_H = R / H, \quad (1)$$

где  $R$  – фактический радиационный баланс, кДж/см<sup>2</sup>;

$H$  – абсолютная отметка местности, м.

Оросительная норма ( $O_p$ ) с учетом абсолютной отметки местности определялась по формуле:

$$O_p = (R_H \cdot H - LOc) / L, \quad (2)$$

где  $L$  – скрытая теплота парообразования, ккал/см<sup>3</sup>;

$Oc$  – атмосферные осадки, мм.

**Результаты и обсуждение.** Как следует из данных таблицы 1, коэффициент ретроспективности ( $K_1$ ) орошаемых массивов свидетельствует, что показатель ретроспективности абсолютной отметки местности оказывает серьезное влияние на все виды агротехнических и мелиоративных работ. При этом ее абсолютные показатели по южным областям республики колеблются в пределах 0,14–2,70. При этом показатели ретроспективности суммарной испаряемости и радиационного баланса изменяются в значительной степени. Отсюда следует, что по такому показателю, как коэффициент ретроспективности абсолютной высоты местности ( $K_1$ ), орошаемые массивы Казахстана можно подразделить на три группы: равнинный ( $K_1 < 1$ ), предгорный ( $K_1 = 1 \dots 2$ ) и горный ( $K_1 > 2$ ). Кроме того, показатель ретроспективности испаряемости ( $K_2$ ) в горной зоне по сравне-

нию с предгорной и равнинной снижен на 18–23 %, показатель ретроспективности радиационного баланса ( $K_3$ ) – соответственно на 12–16 %. Эти данные свидетельствуют о необходимости корректировки методов регулирования физических факторов, направленных на оздоровление экологической обстановки в орошаемом земледелии.

**Таблица 1 – Коэффициенты ретроспективности орошаемых массивов**

| Метеостанция           | Абсолютная<br>отметка мест-<br>ности $h$ , м | $E_0$ ,<br>мм | $R$ ,<br>кДж/см <sup>2</sup> | $K_1 = \frac{h}{h^{cp}}$ | $K_2 = \frac{E}{E_0^{cp}}$ | $K_3 = \frac{R}{R^{cp}}$ |
|------------------------|--|---------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Кызылординская область |  |               |                              |                          |                            |                          |
| 1 Арал                 | 62   | 1057          | 175,0                        | 0,14                     | 0,98                       | 0,99                     |
| 2 Казалы               | 66   | 1094          | 179,0                        | 0,16                     | 1,02                       | 1,01                     |
| 3 Монсыр               | 71   | 1051          | 174,4                        | 0,17                     | 0,98                       | 0,98                     |
| 4 Саксаул              | 78   | 1094          | 179,0                        | 0,18                     | 1,02                       | 1,01                     |
| 5 Чидан-Работ          | 88   | 1226          | 193,6                        | 0,21                     | 1,14                       | 1,09                     |
| 6 Карак                | 91   | 1155          | 185,8                        | 0,22                     | 1,07                       | 1,05                     |
| 7 Жосалы               | 101  | 1142          | 184,4                        | 0,24                     | 1,06                       | 1,04                     |
| 8 Кызылорда            | 128  | 1129          | 183,0                        | 0,30                     | 1,05                       | 1,03                     |
| 9 Злиха                | 138  | 1148          | 185,8                        | 0,33                     | 1,07                       | 1,05                     |
| 10 Шиели               | 152  | 1165          | 186,8                        | 0,36                     | 1,08                       | 1,06                     |
| 11 Ак-кум              | 173  | 1276          | 199,1                        | 0,41                     | 1,19                       | 1,13                     |
| Жамбылская область     |  |               |                              |                          |                            |                          |
| 12 Камкалы-Кол         | 207  | 1170          | 187,5                        | 0,49                     | 1,09                       | 1,06                     |
| 13 Уланбель            | 266  | 1116          | 181,5                        | 0,63                     | 1,04                       | 1,03                     |
| 14 Байкадам            | 337  | 1083          | 177,9                        | 0,80                     | 1,00                       | 1,00                     |
| 15 Шыганак             | 349  | 1040          | 173,2                        | 0,83                     | 0,97                       | 0,98                     |
| 16 Мойынкум            | 350  | 1052          | 174,4                        | 0,83                     | 0,98                       | 0,98                     |
| 17 Уюк                 | 372  | 1116          | 181,5                        | 0,88                     | 1,04                       | 1,03                     |
| 18 Тюкен               | 420  | 1012          | 170,0                        | 0,99                     | 0,94                       | 0,96                     |
| 19 Толеби              | 455  | 1096          | 179,3                        | 1,08                     | 1,02                       | 1,01                     |
| 20 Умбет               | 520  | 1103          | 180,1                        | 1,23                     | 1,03                       | 1,02                     |
| 21 Тараз               | 642  | 1048          | 173,9                        | 1,52                     | 0,97                       | 0,98                     |
| 22 Акыр-тобе           | 643  | 1068          | 176,2                        | 1,52                     | 0,99                       | 0,99                     |
| 23 Кулан               | 682  | 1051          | 170,4                        | 1,62                     | 0,98                       | 0,96                     |
| 24 Мерке               | 703  | 1041          | 173,2                        | 1,66                     | 0,97                       | 0,98                     |
| 25 Отар                | 742  | 935           | 161,5                        | 1,76                     | 0,87                       | 0,91                     |
| 26 Шокпар              | 769  | 1041          | 173,3                        | 1,82                     | 0,97                       | 0,98                     |
| 27 Анаркай             | 832  | 1109          | 180,8                        | 1,97                     | 1,03                       | 1,02                     |
| 28 Жуалы               | 952  | 830           | 149,9                        | 2,25                     | 0,77                       | 0,84                     |
| 29 Шокпак              | 1135   | 861           | 153,3                        | 2,68                     | 0,80                       | 0,86                     |
| 30 Кордай              | 1141   | 879           | 155,3                        | 2,70                     | 0,82                       | 0,88                     |
| Среднее                | $h^{cp} = 422$                               | 1072,9        | 176,6                        |                          |                            |                          |

Для оценки почвенно-мелиоративных условий и потребности почвообразовательного процесса в мелиорации весомое значение приобретает гидротермический коэффициент М. И. Будыко, или индекс сухости ( $R'$ ). Вместе с тем гидротермический коэффициент ( $R'$ ) не учитывает показатель абсолютной высоты местности ( $H$ ). Поэтому мы попытались выявить данный пробел и уточнить действительные энергетические показатели продуктивности природной системы Казахстана с учетом географии местности. Установленные нами корреляционные зависимости свидетельствуют, что связь меж-

ду отметкой местности ( $H$ ) и индексом сухости ( $R'$ ) для отдельных регионов Казахстана имеет специфические особенности. Так, для Южно-Казахстанской области (ЮКО) она описывается уравнением вида:  $R' = 4 - H/250$ , для Северо-Казахстанской области (СКО)  $R' = 1,6 - H/794$ , для Западно-Казахстанской области (ЗКО)  $R' = 2,2 - H/113,6$ .

Далее, учитывая, что индекс сухости  $R' = R/LOc$ , и приравнивая к расчетным, можно установить связь фактического радиационного баланса ( $R$ ) с абсолютной отметкой местности:

- для ЮКО  $R = LOc (1000 - H)/250$ ;
- для СКО  $R = LOc (1270 - H)/794$ ;
- для ЗКО  $R = LOc (250 - H)/113,6$ .

Данная ситуация, если учитывать эколого-мелиоративные и экономические аспекты орошаемого земледелия и основываться на данных радиационного баланса, способствовала дальнейшему совершенствованию методологии регулирования почвенно-мелиоративных критериев на основе энергетических ресурсов конкретной местности. В этом плане нами предложена формула (1) для оценки продуктивности климата с учетом абсолютной высоты местности, которая позволяет детально охарактеризовать реальные возможности той или иной территории для размещения сельскохозяйственных культур, рационального использования земельно-водных ресурсов, направленного на оздоровление экологической обстановки в орошаемом земледелии (таблица 2).

**Таблица 2 – Радиационный индекс абсолютной высоты местности  $R_H$**

| Абсолютная отметка местности, м      | Рациональный баланс, кДж/см <sup>2</sup> | Атмосферные осадки, мм | Радиационный индекс абсолютной высоты местности |
|--------------------------------------|--|------------------------|---|
| <b>Южно-Казахстанская область</b>    |  |                        |   |
| 316                                  | 305,3                                    | 186                    | 0,96  |
| 206                                  | 453,5                                    | 238                    | 2,20  |
| 789                                  | 481,1                                    | 951                    | 0,61  |
| 237                                  | 503,6                                    | 275                    | 2,12  |
| 543                                  | 636,1                                    | 582                    | 1,17  |
| 238                                  | 475,5                                    | 264                    | 1,99  |
| <b>Северо-Казахстанская область</b>  |  |                        |   |
| 226                                  | 307,7                                    | 392                    | 1,36  |
| 132                                  | 275,2                                    | 320                    | 2,08  |
| 134                                  | 274,7                                    | 320                    | 2,05  |
| 114                                  | 270,8                                    | 310                    | 2,37  |
| 34                                   | 422,1                                    | 374                    | 12,4  |
| 104                                  | 269,9                                    | 352                    | 2,59  |
| <b>Западно-Казахстанская область</b> |  |                        |   |
| 28                                   | 473,7                                    | 391                    | 16,91   |
| 28                                   | 412,6                                    | 313                    | –   |
| 15                                   | 434,4                                    | 351                    | 28,96   |
| 44                                   | 304,6                                    | 289                    | 6,9   |

Для предгорной зоны Казахстана, как следует из данных таблицы 2, отношение радиационного индекса к абсолютной высоте местности составляет порядка 0,61–2,20. Отсюда видно, что в одной почвенно-климатической зоне показатели  $R_H$  не одинаковы. Это дает основание считать, что используемые в многолетнем разрезе агротехнические и мелиоративные мероприятия, направленные на получение больших урожаев сельскохозяйственных культур, себя полностью не оправдали, так как имело место нерациональное использование биоэнергетического потенциала орошаемой территории.

Для равнинной зоны Казахстана  $2,0 < R_H < 28,96$ , для предгорной зоны

$0,3 < R_H < 2,0$ , для горной зоны  $0 < R_H < 0,3$ . Выявленная классификация природной системы позволяет рационально размещать сельскохозяйственные культуры и совершенствовать систему земледелия, направленную на оздоровление природной системы.

Энергетические ресурсы ландшафтов, как процесс теплообмена в конкретной географической точке пространства за известный промежуток времени, характеризуются балансом прихода и расхода энергии [1]. Поэтому радиационный баланс дневной поверхности ( $R$ ), использованный А. А. Григорьевым для определения показателя влияния радиации на испарение ( $P_1 = P/LE$ ), и радиационный индекс сухости ( $R' = R/LOc$ ) [2, 3] полностью характеризуют сущность открытого В. В. Докучаевым закона природной зональности.

Преимущество показателя «индекс сухости»  $R'$  перед другими считают очевидным [3–10]: во-первых, он характеризует условия тепло- и влагообеспеченности ландшафтов, во-вторых, определяет в значительной степени условия формирования почвенных, гидрогеологических и геохимических условий, в-третьих, позволяет учесть характер и интенсивность антропогенной деятельности.

Кроме того, теоретические расчеты свидетельствуют, что зональные различия в потреблении оросительной воды можно описать формулой (2) (таблица 3).

**Таблица 3 – Расчетная оросительная норма с учетом абсолютной отметки местности**

|                     |       |      |     |      | В м <sup>3</sup> /га |
|---------------------|-------|------|-----|------|----------------------|
| Географическая зона | $R_H$ | $H$  | Ос  | LOc  | Оросительная норма   |
| Горная              | 0,1   | 1000 | 600 | 36   | 1066,6               |
|                     | 0,2   | 650  | 500 | 30   | 1666,6               |
|                     | 0,3   | 450  | 400 | 24   | 1850                 |
| Предгорная          | 0,4   | 350  | 350 | 26   | 1983,3               |
|                     | 0,5   | 200  | 320 | 19,2 | 1346,6               |
|                     | 1,0   | 150  | 320 | 19,2 | 2180                 |
|                     | 2,0   | 100  | 300 | 18   | 3033,3               |
| Равнинная           | 5,0   | 30   | 250 | 15   | 2250                 |
|                     | 10,0  | 20   | 200 | 12   | 3133,3               |
|                     | 15,0  | 10   | 200 | 12   | 2300                 |

Преобразовав уравнение теплового баланса [6], получили экологическую норму водопотребности орошаемых земель для условий Казахстана в следующей формулировке:

$$O_p = R/R'L - R'L(\Delta W + O_c + g).$$

Расчетные оросительные нормы сельскохозяйственных культур Арало-Сырдарьинского и Урало-Каспийского водохозяйственных бассейнов на гидроморфных почвах (при УГВ = 1...2 м) приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Оросительные нормы на основе радиационного баланса**

| Культура                   | $R$ при $R^* = 1$ ккал/(см <sup>2</sup> ·год) | Осадки Ос, мм | Благоприятная оросительная норма при $R^* = 1$ , мм | Нормативное значение оросительной нормы $O_p$ , мм | Отклонение, мм |
|----------------------------|---|---------------|---|--|----------------|
| 1                          | 2   | 3             | 4   | 5  | 6              |
| Южно-Казахстанская область |   |               |   |  |                |
| Яровая пшеница             | 408   | 380           | 300   | 315  | +15            |
| Озимая пшеница             | 387   | 380           | 265   | 265  | 0              |

## Продолжение таблицы 4

| 1                             | 2   | 3   | 4    | 5   | 6    |
|-------------------------------|-----|-----|------|-----|------|
| Кукуруза на зерно             | 498 | 380 | 450  |     | 0    |
| Кукуруза на силос             | 459 | 380 | 222  | 450 | +163 |
| Хлопчатник                    | 471 | 380 | 405  | 435 | +30  |
| Картофель                     | 492 | 380 | 440  | 440 | 0    |
| Овощи                         | 549 | 380 | 535  | 535 | 0    |
| Бахчевые                      | 417 | 380 | 778  | 315 | -463 |
| Многолетние травы             | 591 | 380 | 1261 | 635 | -626 |
| Соя                           | 495 | 380 | 995  | 445 | -550 |
| Виноград                      | 450 | 380 | 870  | 370 | -500 |
| Сады                          | 537 | 380 | 1111 | 515 | -696 |
| Западно-Казахстанская область |     |     |      |     |      |
| Яровая пшеница                | 360 | 350 | 240  | 250 | +10  |
| Кукуруза на силос             | 387 | 350 | 285  | 295 | +10  |
| Кукуруза на зерно             | 417 | 350 | 335  | 345 | +10  |
| Картофель                     | 411 | 350 | 325  | 335 | +10  |
| Овощи                         | 438 | 350 | 370  | 380 | +10  |
| Бахчевые                      | 354 | 350 | 230  | 240 | +10  |
| Многолетние травы             | 459 | 350 | 405  | 415 | +10  |
| Соя                           | 366 | 350 | 250  | 260 | +10  |
| Сады и ягодники               | 393 | 350 | 290  | 305 | +15  |

Отсюда следует, что на гидроморфных почвах исследуемого водохозяйственного бассейна по основным орошаемым культурам нормативные значения оросительных норм в целом были увеличены на 2080 м<sup>3</sup>/га. При возделывании овощных, бахчевых культур, многолетних трав, сои, винограда и садов расчетные оросительные нормы занижены почти в 2 раза. Вследствие этого на протяжении многих лет ощущались острый недобор урожая и относительно низкое качество данных культур. Превышение оросительных норм на протяжении многих лет способствовало подпитыванию грунтовых вод, ухудшению мелиоративного состояния земель и экологической обстановки в регионе.

**Выводы.** В условиях Казахстана радиационный индекс абсолютной высоты местности колеблется от 0 до 28,96, что нужно учитывать при проведении проектно-изыскательских работ по реконструкции орошаемых земель.

Исследованиями установлено, что оросительные нормы сельскохозяйственных культур требуют корректировки в зависимости от абсолютной отметки местности, которая ранее не учитывалась. На гидроморфных почвах исследуемого водохозяйственного бассейна при возделывании основных орошаемых культур нормативные значения оросительных норм в целом были увеличены на 2080 м<sup>3</sup>/га.

При возделывании овощных, бахчевых культур, многолетних трав, сои, виноградников и садов расчетные значения оросительных норм занижены почти в 2 раза.

Исходя из этого, назрела необходимость перехода на новый уровень оценки принципов и основных методов системы земледелия.

#### Список использованных источников

1 Хожанов, Н. Н. Оптимизация оросительной нормы сельскохозяйственных культур / Н. Н. Хожанов, Н. К. Ержанова // Водное хозяйство Казахстана. – 2012. – № 8–9(46–47). – С. 24–27.

2 Будыко, М. И. Глобальная экология / М. И. Будыко. – М.: Мысль, 1977. – 327 с.

3 Григорьев, А. А. Географическая зональность и некоторые ее закономерности / А. А. Григорьев // Изв. АН СССР. Серия геогр. – 1954. – № 5. – С. 15–23; № 6. – С. 21–35.

4 Докучаев, В. В. Избранные труды / В. В. Докучаев; под ред. Б. Б. Польшова. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – 643 с.

5 Ольдекоп, Э. М. Об испарении с поверхности речных бассейнов / Э. М. Ольдекоп // Труды Юрьевской обсерватории. – М., 1911. – С. 12–24.

6 Мустафаев, Ж. С. Почвенно-экологическое обоснование сельскохозяйственных земель в Казахстане / Ж. С. Мустафаев. – Алма-Ата: Наука, 1997. – 358 с.

7 Каримов, Э. К. Улучшение эколого-мелиоративного состояния и повышение продуктивности орошаемых земель Узбекистана (на примере Голодной и Каршинской степей): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Каримов Эргаш Каримович. – М., 1997. – 50 с.

8 Айдаров, И. П. Моделирование почвенно-мелиоративных процессов / И. П. Айдаров, А. И. Корольков, В. Х. Хачатурьян // Биологические науки. – 1987. – № 9. – С. 27–28.

9 Волобуев, В. Р. Введение в энергетику почвообразования / В. Р. Волобуев. – М.: Наука, 1974. – 120 с.

10 Энергетические основы интенсивной системы земледелия / Н. Н. Хожанов, А. С. Сейткадиев, Х. И. Турсунбаев, К. К. Мусабеков, К. А. Естаев, М. К. Масатбаев // Вестник науки и образования. – 2017. – Т. 1, № 12(36). – С. 34–41.

УДК 614.777

**И. А. Усманов, У. А. Садыкова**

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

### **К ВОПРОСУ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В УЗБЕКИСТАНЕ**

*Цель исследований состояла в совершенствовании устаревшей методики эколого-гигиенического районирования административных территорий Узбекистана по степени опасности загрязнения почвы для здоровья населения. Для этого проанализирована действующая в настоящее время на территории республики санитарно-нормативная документация по данному вопросу. Установлено, что разработанная в 1995 г. методика не соответствует современным требованиям и не может обеспечить безопасные условия землепользования. Определен перечень приоритетных индикаторных показателей загрязнения почвы и состояния очистки территорий населенных мест, имеющих достаточно выраженные корреляционные взаимосвязи с показателями заболеваемости населения. Предложенная методика может быть использована для экологического районирования территорий и проведения государственного санитарно-эпидемиологического надзора за состоянием загрязнения почвы.*

*Ключевые слова: районирование почвы, состояние загрязнения почвы, приоритетные и индикаторные показатели степени загрязнения почвы, населенные пункты, здоровье населения, охрана почвы и землепользование.*

\*\*\*\*\*

**I. A. Usmanov, U. A. Sadykova**

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

### **ON THE QUESTION OF ZONING THE TERRITORY BY THE EXTEND OF SOIL POLLUTION IN UZBEKISTAN**

*The aim of the research was to upgrade the outdated methodology of environmental and health zoning the administrative territories of Uzbekistan in terms of the hazard extend of*

*soil pollution for public health. For this purpose the sanitary-regulatory documentation on that issue in the republic has been analyzed. It is found that the methodology developed in 1995 does not meet modern requirements and cannot provide safe land use conditions. The list of priority indicator values of soil pollution and the state of communities' territories treatment that have sufficiently evident correlated relations with the indicators of the disease incidence has been determined. The proposed methodology can be used for ecological zoning territories and carrying out public sanitary and epidemiological control for soil pollution.*

*Key words: soil zoning, soil contamination state, priority and indicator values of soil pollution extent, communities, public health, soil protection and land use.*

**Введение.** Исследования экологов и гигиенистов, выполненные в последние годы и посвященные рассмотрению и обсуждению различных аспектов проблемы экологического районирования административных территорий Узбекистана по степени опасности загрязнения почвы для здоровья населения, подтвердили, что разработанная в 1995 г. методика [1] явилась важным научным вкладом, способствующим развитию экологической науки и санитарной практики [2–4]. Однако, с другой стороны, выявили ряд ее недостатков и необходимость ее модернизации [5, 6].

Необходимость совершенствования методики была обусловлена несколькими причинами. Прежде всего, в некоторых ее разделах использовано недостаточное число количественных индикаторных показателей загрязнения (например, в разделе оценки уровней загрязнения почвы всего три показателя). Кроме того, некоторые ее положения не совпадают с содержанием вновь разработанных за этот период и утвержденных Министерством здравоохранения и Госкомприродой санитарно-нормативных и методических документов. Еще одной причиной являются недостатки 5-ступенчатой градации определяемых уровней загрязнения почвы.

Цель работы – выявление на примере оценки уровней загрязнения почвы и состояния очистки территорий населенных мест недостатков методики 1995 г., анализ содержания санитарно-нормативных документов по этим разделам экологии и гигиены, утвержденных соответствующими министерствами за период с 1991 г., определение приоритетных индикаторных показателей для последующего использования при совершенствовании и модернизации обсуждаемой методики.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В разработку были взяты ниже следующие санитарно-нормативные и методические документы по вышеупомянутым разделам экологии и гигиены:

- СанПиН РУз № 0127-02 «Санитарные правила инвентаризации, классификации, складирования и обезвреживания промышленных отходов»;
- СанПиН РУз № 0128-02 «Гигиенический классификатор токсичных промышленных отходов в условиях Республики Узбекистан»;
- СанПиН РУз № 0149-04 «Санитарные правила и нормы сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений»;
- СанПиН РУз № 0157-04 «Санитарные требования к хранению и обеззараживанию твердых бытовых отходов на специальных полигонах в условиях Узбекистана»;
- СанПиН РУз № 0158-04 «Санитарные правила и нормы сбора, транспортировки и хранения асбестосодержащих отходов в условиях Узбекистана»;
- СанПиН РУз № 0180-05 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков на ЗПО в природно-климатических условиях Узбекистана»;
- СанПиН РУз № 0183-05 «Гигиенические требования к качеству почвы населенных мест в специфических природно-климатических условиях Узбекистана»;
- СанПиН РУз № 0191-05 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) экзогенных вредных веществ в почве»;
- СанПиН РУз № 0212-06 «Санитарные правила и нормы гигиенической оценки степени загрязнения почвы разных типов землепользования в специфических условиях Узбекистана»;

- СанПиН РУз № 0272-09 «Санитарные правила и нормы составления гигиенических обоснований к схемам охраны почвы от загрязнения в условиях Узбекистана»;
- «Методические указания по организации санитарной охраны почвы населенных мест Узбекистана» (№ 012-3/0174).

На следующем этапе исследований на основе анализа вышеназванных санитарно-нормативных и методических документов был определен предварительный перечень индикаторных показателей загрязнения почвы и состояния очистки территорий населенных мест, включающий более 40 оценочных показателей. Затем из этого перечня были отобраны приоритетные индикаторные показатели, имеющие достаточно выраженные коррелятивные взаимосвязи с показателями заболеваемости населения и пригодные для использования при проведении государственного санитарного надзора за уровнями загрязнения почвы (таблица 1).

**Таблица 1 – Перечень приоритетных индикаторных показателей загрязнения почвы и состояния очистки территорий населенных мест для совершенствования методики 1995 г.**

| Наименование показателя  | Допустимая величина показателя |
|--|--------------------------------|
| 1 Мышьяк (2,0 мг/кг по валовому содержанию), 1-й класс по транслокации | < 0,8 ПДК                      |
| 2 Ртуть (2,1 мг/кг по валовому содержанию), 1-й класс по транслокации  | <0,8 ПДК                       |
| 3 Фтор (10,0 мг/кг, водорастворимая форма), 2-й класс по транслокации  | < 1,0 ПДК                      |
| 4 Сурьма (4,5 мг/кг по валовому содержанию), 2-й класс по транслокации | < 1,0 ПДК                      |
| 5 При комбинации ЭХВ по ПДК и фоновому содержанию                      | выше фона, ниже ПДК            |
| 6 Индекс патогенных энтеробактерий в 1 г почвы                         | 0 (отсутствуют)                |
| 7 ОМЧ в 1 г почвы (млн)  | < 3,0                          |
| 8 Титр кишечной палочки  | > 0,1                          |
| 9 Титр анаэробов   | > 0,01                         |
| 10 Наличие энтеровирусов (количество клеток в 1 г почвы)               | < 1,0                          |
| 11 Жизнеспособные яйца и личинки гельминтов (шт./кг)                   | < 1,0                          |
| 12 Жизнеспособные цисты патогенных простейших (шт./кг)                 | < 1,0                          |
| 13 Личинки и куколки синантропных мух (шт./кг)                         | < 1,0                          |
| 14 Суммарный удельный вес нестандартных проб почвы (в %)               | < 10,0                         |
| 15 Охват населения централизованной системой очистки (в %)             | > 90,0                         |
| 16 Охват населения централизованной системой канализации (в %)         | > 50,0                         |
| 17 Процент вывозимых ТБО и мусора                                      | > 90,0                         |
| 18 Санитарное число  | > 0,98                         |
| 19 Содержание азота нитратов (мг/100 г почвы)                          | < 0,2                          |
| 20 Содержание хлоридов (мг/100 г почвы)                                | < 2,0                          |

Эти показатели, вошедшие в итоговую таблицу, могут быть использованы в процессе совершенствования методики эколого-гигиенического районирования административных районов Узбекистана по степени опасности загрязнения почвы и состояния очистки территорий населенных мест для здоровья населения.

По мере совершенствования экологического и санитарного законодательства страны в области гигиены и санитарной охраны почвы возможны изменения данного перечня приоритетных индикаторных показателей.

**Выводы**

1 Анализ действующих в республике нормативно-методических документов за этроспективный период показал, что разработанная в 1995 г. методика эколого-гигиенического районирования административных территорий по степени загрязнения почвы не соответствует современным требованиям.

2 Для обеспечения безопасного землепользования населения рекомендована усовершенствованная методика эколого-гигиенического районирования территории по степени загрязнения почвы, которая включает 20 приоритетных показателей.

3 Усовершенствованная методика может быть использована соответствующими контролирующими органами для проведения мониторинга состояния загрязнения почвы.

**Список использованных источников**

1 Искандарова, Ш. Т. Актуальные проблемы эколого-гигиенического районирования административных территорий / Ш. Т. Искандарова. – Ташкент: Фан, 1996. – 98 с.

2 К вопросу развития перспективных направлений научно-практических исследований по гигиене и санитарной охране почвы в Узбекистане / И. И. Ильинский, Г. Т. Искандарова, Ш. Т. Искандарова, А. И. Исхаков // Актуальные проблемы гигиены, экологии и здоровья населения: сб. респ. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2007. – С. 29–30.

3 К вопросу выбора показателей загрязнения почвы разных типов землепользования в условиях Узбекистана / И. И. Ильинский, Ш. Т. Искандарова, Л. Г. Тетюхина, М. Г. Тупичина // Сборник научных трудов, посвященный 19-летию независимости Республики Узбекистан. – Ташкент, 2010. – С. 34–37.

4 Пономарева, Л. А. Современные проблемы гигиены в Республике Узбекистан / Л. А. Пономарева, И. Б. Бойко // Актуальные проблемы гигиены, экологии и здоровья населения: сб. респ. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2007. – С. 21–22.

5 Искандаров, Т. И. Санитарно-гигиенические проблемы охраны почвы от загрязнения в специфических природно-климатических условиях Узбекистана / Т. И. Искандаров, И. И. Ильинский, Ш. Т. Искандарова. – Ташкент: Фан, 2010. – 130 с.

6 Искандаров, Т. И. Гигиенические основы мероприятий по охране почвы от загрязнения в условиях Узбекистана / Т. И. Искандаров, И. И. Ильинский, Ш. Т. Искандарова. – Ташкент: Фан, 2010. – 122 с.

УДК 556.164

**Е. В. Полуэктов**

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

**Г. Т. Балакай**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

**ОСОБЕННОСТИ СТОКА ТАЛЫХ ВОД В 2017 ГОДУ**

*Цель исследований – установить особенности поверхностного стока талых и дождевых вод с уплотненной и рыхлой пашни в весенний период 2017 г. Многолетние наблюдения (47 лет) на черноземах обыкновенных Ростовской области показали, что среднемноголетний сток на рыхлой пашне составил 7,3 мм, а на уплотненной – чуть более 16 мм. При этом за последние 13 лет (2004–2016 гг.) средний годовой слой стока резко уменьшился: на рыхлой пашне до 2,7 мм, на уплотненной – до 6,0 мм. Данное обстоятельство можно объяснить изменением климата, связанным с увеличением температуры воздуха на 1,3 °С. Из этого ряда заметно выделяется зимний период*

2016/2017 г., когда сток талых вод был умеренным, но сильной интенсивности. В условиях 2017 г. на величину поверхностного стока основное влияние оказали глубина оттаявшего верхнего слоя почвы, величина водопроницаемости почвы и – в большей степени – выпавшие осадки в виде дождя. Смыв почвы в пересчете на 1 га составил на отвальной зяби 22–23 т/га, на зяби, обработанной чизелем, 18–19 т/га и на посевах озимой пшеницы 12–14 т/га.

*Ключевые слова:* поверхностный сток, состояние почвы, коэффициент стока, рыхлая и уплотненная паашня, жидкие осадки, водопроницаемость.

\*\*\*\*\*

### **E. V. Poluektov**

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

### **G. T. Balakai**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

## **SPECIFIC FEATURES OF MELT WATER RUNOFF IN 2017**

*The purpose of the research is to determine the peculiarities of surface runoff of melt- and rainwater from compacted and loose arable land in spring 2017. Long-term observations (47 years) on ordinary chernozems in Rostov region showed that the average long-term runoff on loose arable land was 7.3 mm and on the compacted land slightly more than 16 mm. Besides, in the last 13 years (2004–2016), the average annual runoff depth has sharply decreased: on loose plowed land to 2.7 mm, on compacted land to 6.0 mm. This circumstance can be explained by the climate change associated with an air temperature rise by 1.3 °C. From this, the winter period 2016/2017 with moderate but strong intensively melt water runoff stands out notably. Under conditions of 2017, the thawed topsoil depth, the amount of soil water permeability and to a greater extent, the precipitated rainfall had a major influence on the amount of surface runoff. The soil loss in terms of 1 ha was 22–23 t/ha on the moldboard fall plowed field, 18–19 t/ha on the fall plowed field treated with chisel, and 12–14 t/ha on winter wheat planting.*

*Key words:* surface runoff, soil status, runoff coefficient, loose and compacted arable land, rainfall, water permeability.

Наблюдения за стоком талых и дождевых вод в холодный период года (с января по апрель) в Приазовской зоне Ростовской области на черноземах обыкновенных постоянно проводятся в течение последних 48 лет (с 1970 г.) [1–4]. Изучение стока талых вод позволило разработать ряд мероприятий по охране почвы от эрозии и повышению биопродуктивности сельскохозяйственных угодий [5–7]. Обширный материал по количеству проведенных наблюдений [1] позволил четко разделить сельскохозяйственные угодья по слою сформировавшегося стока на две категории: рыхлая паашня, которая формируется в результате зяблевой обработки и характеризуется плотностью сложения пахотного слоя (0,3 м) 1,01–1,09 т/м<sup>3</sup>, и уплотненная паашня под посевами озимых культур, многолетних трав, пастбищами с плотностью сложения слоя почвы 0,3 м 1,15–1,25 т/м<sup>3</sup>.

Среднегодовалый сток на рыхлой паашне составил 7,3 мм, а на уплотненной паашне чуть более 16 мм. При этом за последние 13 лет (2004–2016 гг.) средний слой стока резко уменьшился: на рыхлой паашне до 2,7 мм ежегодно, на уплотненной – до 6,0 мм. Данное обстоятельство легко можно объяснить изменением климата, связанным с увеличением температуры воздуха на 1,3 °C.

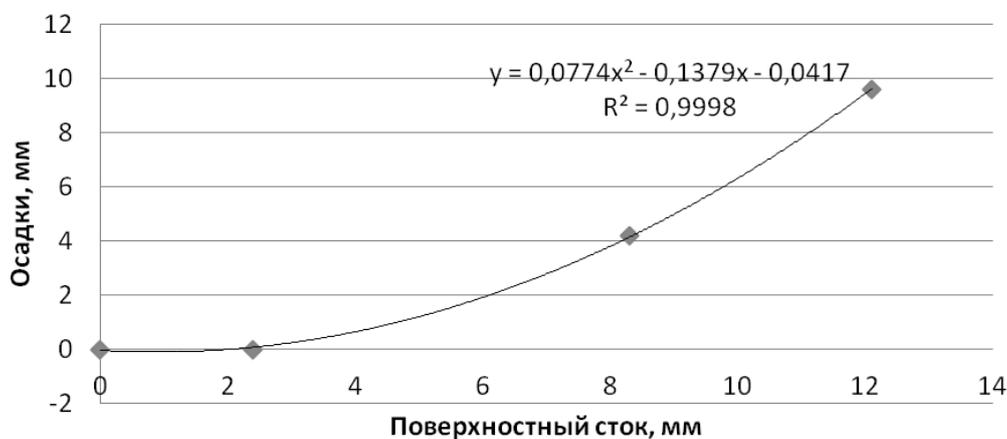
Из этого ряда заметно выделяется зимний период 2016/2017 г., когда сток талых вод был умеренным, но сильной интенсивности. Остановимся более подробно на особенностях формирования стока талых вод данного временного отрезка. Зима в целом

была холодной, устойчивая отрицательная температура воздуха установилась со второй половины декабря, прерываемая в отдельные дни кратковременными потеплениями. Снег выпадал периодически и частично таял. Глубина промерзания почвы к концу января составила 31–32 см. Во время резкого потепления 31 января возник сток талых вод на уплотненной пашне. Слой стока не превышал 3,5 мм. На рыхлой пашне стока не наблюдалось. Затем наступило устойчивое похолодание с минимальной температурой 8 февраля до минус 13,1 °С. Оно продержалось до 20-го числа этого месяца. Отрицательные температуры способствовали промерзанию почвы до глубины 45 см. Верхний слой 0–5 см был переувлажнен как на рыхлой, так и на уплотненной пашне, влажность составляла 41–44 % от абсолютно сухой почвы.

Таяние снега началось 21 февраля и продолжилось до 24-го числа. Температура воздуха днем составила 3–6 °С. Резко усилили таяние снега и отдачу воды осадки в количестве 13,8 мм в виде дождя, выпавшие 22 и 23 февраля. В конечном итоге это привело к усилению поверхностного стока. Так как на поверхности почвы имелась фрагментарная ледяная корка, а водопроницаемость очень низка, значительная часть воды уходила со стоком. Наблюдалась тесная взаимосвязь между глубиной оттаявшего верхнего слоя почвы, величиной водопроницаемости и слоем стока (таблица 1), но наибольшее влияние на сток оказали осадки в виде дождя (рисунок 1).

**Таблица 1 – Показатели состояния почвы на посевах озимой пшеницы**

| Дата проведения исследования | Глубина оттаявшего слоя почвы, см | Величина водопроницаемости (средняя за 2 ч), мм/мин | Сток талых и дождевых вод, мм | Количество выпавших жидких осадков, мм |
|------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------|--|
| 21.02                        | 0,3                               | 0,0002  | 2,4                           | 0                                      |
| 22.02                        | 0,5                               | 0,0005  | 8,3                           | 4,2                                    |
| 23.02                        | 1,1                               | 0,0019  | 12,1                          | 9,6                                    |
| 24.02                        | 4,3                               | 0,21  | 0                             | 0                                      |



**Рисунок 1 – Влияние жидких осадков на поверхностный сток**

В целом слой стока за холодный период 2017 г. составил с рыхлой пашни 20,3 мм при коэффициенте стока 0,44, с уплотненной пашни – 25,9 мм, коэффициент стока – 0,52 (таблица 2).

Согласно шкале интенсивности проявления стока талых вод (по Г. П. Сурмачу, 1978), сток 2017 г. может классифицироваться как сильный, на что в немалой степени оказали влияние выпавшие жидкие осадки. Они же явились основной причиной значительных потерь твердого стока.

Ударное воздействие капель дождя на оттаявший слой почвы, находящийся в полужидком бесструктурном состоянии, в сочетании с даже не высокой скоростью

водных потоков способствовало значительным потерям верхнего, наиболее плодородного слоя. Так, смыв почвы в пересчете на 1 га составил на зяби с отвальной вспашкой (ПН-4-35) 22–23 т/га и на зяби, обработанной чизелем (ПЧ-2,5), 18–19 т/га, а на посевах озимой пшеницы – 12–14 т/га.

**Таблица 2 – Сток талых и дождевых вод с различной по степени уплотненности пашни**

| Категория пашни                           | Запас воды в снеге + дожди за период стока, мм | Сток талых и дождевых вод, мм | Коэффициент стока |
|---|--|-------------------------------|-------------------|
| Рыхлая пашня (отвальная зябрь)            | 46,0   | 20,3                          | 0,44              |
| Уплотненная пашня (посевы озимой пшеницы) | 49,0   | 25,9                          | 0,52              |

Таким образом, в условиях 2017 г. на величину поверхностного стока основное влияние оказали глубина оттаявшего верхнего слоя почвы, величина водопроницаемости почвы и – в большей степени – выпавшие осадки в виде дождя. Смыв почвы в пересчете на 1 га составил на отвальной зяби 22–23 т/га, на зяби, обработанной чизелем, 18–19 т/га и на посевах озимой пшеницы 12–14 т/га.

#### Список использованных источников

- 1 Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия: монография / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 450 с.
- 2 Полуэктов, Е. В. Противоэрозионные мелиорации земель: монография / Е. В. Полуэктов. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 250 с.
- 3 Полуэктов, Е. В. Почвозащитные системы в агроландшафтном земледелии / Е. В. Полуэктов, Е. П. Луганцев. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 208 с.
- 4 Полуэктов, Е. В. Регулирование водного режима эродированных почв противоэрозионными приемами / Е. В. Полуэктов // Почвоведение. – 1995. – № 3. – С. 117–126.
- 5 Балакай, Г. Т. Регулирование величины водной эрозии поверхностным покровом / Г. Т. Балакай, Д. А. Шевченко // Проблемы производства продукции растениеводства на мелиорированных землях: сб. тр. Междунар. конф., посвящ. 75-летию СтавГАУ и 65-летию агр. фак. – Ставрополь: Агрус, 2005. – С. 204–205.
- 6 Мероприятия по охране почв от эрозии: науч. обзор / Г. Т. Балакай [и др.]. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 71 с.
- 7 Приемы повышения биопродуктивности земель, сохранения почвенного плодородия и экологической устойчивости агроландшафтов / Г. Т. Балакай, Н. И. Балакай, Е. В. Полуэктов, А. Н. Бабичев. – М., 2011. – 71 с. – Деп. в ВИНТИ Рос. акад. наук, № 349-В201.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

---

---

УДК 626.823.6:626.82

**А. Е. Шепелев**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

### **АНАЛИЗ СРЕДСТВ ВОДОУЧЕТА И ВОДОИЗМЕРЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ НА ОТКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

*В статье приведены основные требования к формированию средств водоучета и водоизмерения на открытых оросительных системах, серийно выпускаемых отечественной приборостроительной промышленностью в соответствии с Постановлением Правительства «О Правительственной комиссии по импортозамещению» и имеющих метрологическое обеспечение согласно Федеральному закону «Об обеспечении единства измерений». Определены основные требования, предъявляемые к средствам водоучета и водоизмерения с целью использования их на оросительных системах, которые помогут при выборе того или иного устройства для конкретного объекта с учетом специфики условий установки и эксплуатации. Рассмотрены применяемые средства измерения параметров водного потока для организации водоучета и водоизмерения на открытых оросительных системах.*

*Ключевые слова: средство, водоучет, водоизмерение, открытая оросительная система, требование.*

\*\*\*\*\*

**A. E. Shepelev**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

### **ANALYSIS OF WATER METERING AND WATER MEASUREMENT FACILITIES WITH THE PURPOSE OF THEIR APPLICATIONS ON OPEN IRRIGATION SYSTEMS**

*The main requirements for the of water metering and water measurement formation on open irrigation systems serially produced by the domestic instrumentation manufacturing industry in accordance with the Government Resolution “On the Governmental Commission for Import Substitution” and having metrological support in accordance with the Federal Law “On Ensuring the Uniformity of Measurements” are reported. The main requirements for water metering and water measuring facilities are determined for the purpose of their usage in irrigation systems, that will help in choosing a particular device for a particular facility, taking into account the specific conditions of installation and operation. The applied means of measuring the parameters of water flow for the organization of water metering and water measurement in open irrigation systems are considered.*

*Key words: facility, water accounting, water measurement, open irrigation system, requirement.*

Средства водоизмерения и водоучета на открытых оросительных системах определяются с помощью применяемой технологии измерения контролируемых параметров. Водоучет (водоизмерение) на открытых оросительных системах должен формироваться из приборов измерения и специального оборудования, серийно выпускаемых

отечественной приборостроительной промышленностью в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 785 от 4 августа 2015 г. [1] и имеющих метрологическое обеспечение согласно требованиям Федерального закона № 102 от 26 июня 2008 г. [2].

Анализ взаимоотношений между участниками процесса водопользования, особенностей технологии и техники водоизмерения и водоучета на открытых оросительных системах показывает, что основным вопросом является качество результата определения стока и расхода воды, которое характеризуется точностью и достоверностью [3–5].

Точность (погрешность) результата – это величина отклонения его от истинного значения измерения.

Достоверность – степень доверия, которую заслуживает данный результат. Чем выше требования к точности и достоверности результатов, тем больше затраты на реализацию процесса водоучета и водоизмерения, тем выше должен быть его уровень.

Уровень водоучета и водоизмерения – характеристика совокупности требований к точности измерений и условиям выполнения основных технологических операций процесса водоучета и водоизмерения.

Отсюда вытекают требования, которые должны предъявляться к средствам водоизмерения и водоучета на открытых оросительных системах, по обеспечению в процессе функционирования [6, 7]:

- высокой надежности и точности измерений независимо от изменений режимов водоисточника и других местных условий эксплуатации;
- сохранения однозначности измеряемых величин во всем диапазоне измерений;
- невозможности какого-либо вмешательства извне в показания прибора (водоучета и водоизмерения), в фиксируемые параметры и средства фиксации;
- достаточной метрологической обеспеченности применяемых средств и комплексов водоучета и водоизмерения на открытых оросительных системах;
- возможности контроля в любой момент времени показаний приборов, положений датчиков, состояния аппаратуры и средств измерений;
- возможности быстрой замены и реставрации, градуировки и переградуировки средств водоизмерения и водоучета.

Выполнение изложенных выше требований позволяет рассмотреть существующие средства измерения параметров водного потока (таблица 1) и определить возможность их применения для организации водоучета и водоизмерения на открытых оросительных системах.

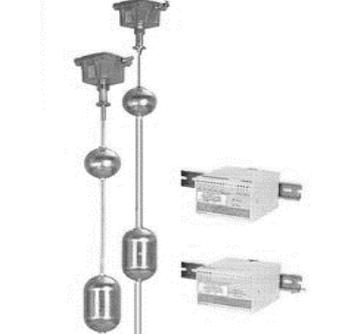
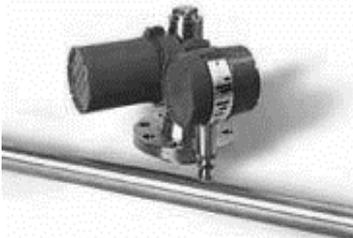
**Таблица 1 – Средства измерения параметров водного потока для организации водоучета и водоизмерения на открытых оросительных системах**

| Наименование продукции, изготовитель                        | Рисунок   | Основные технические характеристики   | Стоимость, руб. |
|---|---|---|-----------------|
| 1   | 2   | 3   | 4               |
| Расходомер с интегратором акустический ЭХО-Р-02 (г. Москва) |  | Диапазон уровня жидкости 0–3,0 м, погрешность определения расхода 3 %, напряжение питания 220 В | 45600           |

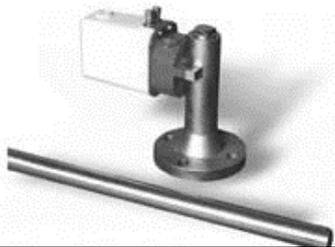
Продолжение таблицы 1

| 1   | 2   | 3   | 4             |
|---|---|---|---------------|
| <p>Расходомер-счетчик ультразвуковой «Взлет РСЛ» (г. Санкт-Петербург)</p>         |    | <p>Диапазон измерения уровня 0–4000 мм, параметры каналов: ширина – от 200 мм, глубина – до 4000 мм, погрешность определения расхода 3 %, напряжение питания 220 (36) В</p> | <p>67200</p>  |
| <p>Гидрометрическая микровертушка ГМЦМ-1 (г. Смоленск)</p>                        |    | <p>Диапазон измерения скорости 0,03–6,0 м/с, погрешность измерения не более 5 %, напряжение питания 9 В, масса 1 кг</p>   | <p>71160</p>  |
| <p>Датчик уровня акустический ЭХО-5Н (Новгородская область, г. Старая Русса)</p>  |   | <p>Диапазон измерения уровня 0–30 м, класс точности 1,5 и 2,5, напряжение питания 220 В</p>   | <p>24721</p>  |
| <p>Уровнемер поплавковый УДУ-10 (Волгоградская область, г. Волжский)</p>          |  | <p>Диапазон измерения уровня 0–20 м, пределы допустимой основной погрешности ±4 %, масса прибора не более 24,8 кг</p>   | <p>101500</p> |
| <p>Датчик-реле уровня жидкости РУ-М-1 (Новгородская область, г. Старая Русса)</p> |  | <p>Диапазон измерения уровня 0–20 м, погрешность измерения уровня 0,5 %, напряжение питания 220 В, масса 0,5 кг</p>   | <p>3360</p>   |
| <p>Датчик-реле уровня жидкости РО-1 (Новгородская область, г. Старая Русса)</p>   |  | <p>Диапазон измерения уровня 0–10 м, напряжение питания до 220 В, масса не более 0,9 кг</p>   | <p>6372</p>   |

Продолжение таблицы 1

| 1   | 2   | 3  | 4     |
|---|---|--|-------|
| Датчик-реле уровня РОС-301 (г. Рязань)  |    | Диапазон измерения уровня 0–6 м, погрешность измерения уровня 1,0 %, напряжение питания 220 В, масса не более 3 кг           | 5500  |
| Датчик-индикатор уровня РИС-101-М1 (г. Рязань)                                  |    | Диапазон измерения уровня 0–10 м, погрешность измерения уровня 1,5 %, напряжение питания 220 В, масса не более 12 кг         | 7021  |
| Фазоёмкостный уровнемер ФЕУ-Д5М (г. Рязань)                                     |   | Диапазон измерения уровня 0,4–10,0 м, погрешность измерения уровня 2,5 %, напряжение питания 220 В, масса не более 16 кг     | 10550 |
| Ультразвуковой поплавковый уровнемер ДУУ4М (г. Москва)                          |  | Диапазон измерения уровня 1–25,0 м, погрешность измерения уровня 2–4 %, напряжение питания 220 В, масса не более 13 кг       | 71600 |
| Датчики-индикаторы уровня РИС-121М-212 (г. Рязань)                              |  | Диапазон измерения уровня 1,0–20,0 м, погрешность измерения уровня 1,5 %, напряжение питания 220 В, масса не более 14 кг     | 6903  |
| Преобразователь измерительный уровня буйковый «Сапфир-22ДУ-2640-Вн» (г. Рязань) |  | Диапазон измерения уровня 1,0–10,0 м, погрешность измерения уровня 0,5–1,0 %, напряжение питания 220 В, масса не более 16 кг | 18113 |

Продолжение таблицы 1

| 1  | 2   | 3  | 4     |
|--|---|--|-------|
| Преобразователь уровня буйковый пневматический ПИУП-11 (г. Рязань) |  | Диапазон измерения уровня 0,25–16,0 м, погрешность измерения уровня 0,5–1,0 %, напряжение питания 220 В, масса не более 5,7 кг | 16925 |
| Уровнемер ультразвуковой поплавковый РУ-ПТЗ (г. Рязань)            |  | Диапазон измерения уровня 0,4–12,0 м, погрешность измерения уровня 0,5–1,0 %, напряжение питания 220 В, масса не более 23 кг   | 13700 |

Данные таблицы 1 показывают, что в настоящее время существует достаточно средств измерения параметров водного потока для организации водоучета и водоизмерения на открытых оросительных системах.

Соблюдение требований, предъявляемых к средствам водоизмерения и водоучета на открытых оросительных системах, позволит эксплуатационным организациям, обслуживающим оросительные системы, организовать точный и достоверный водоучет.

Для выбора того или иного средства измерения необходимо произвести анализ преобладающих факторов для конкретного объекта водоучета и водоизмерения с учетом специфики условий установки и эксплуатации. Это позволит определить возможность применения средства измерения на объекте при минимальных затратах на установку и эксплуатацию.

Выбор прибора водоучета и водоизмерения по преобладающим факторам для конкретного объекта обеспечит повышение точности средства измерения, регистрации и обработки результатов измерения параметров водного потока, что увеличит достоверность учета подачи, потребления и сброса воды на открытых оросительных системах.

#### Список использованных источников

1 О Правительственной комиссии по импортозамещению: Постановление Правительства РФ № 785 от 4 августа 2015 г.: с изменениями на 25 августа 2017 г. // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

2 Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 11 июня 2008 г. № 102-ФЗ: по состоянию на 13 июля 2015 г. // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

3 ГОСТ Р 51657.5-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Способ измерения расходов воды с использованием ультразвуковых (акустических) измерителей скорости. Общие технические требования. – Введ. 2003-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 24 с.

4 ГОСТ 15528-86. Средства измерений расхода, объема или массы протекающей жидкости и газа. Термины и определения. – Введ. 1988-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 43 с.

5 ГОСТ 28725-90. Приборы для измерения уровня жидкости и сыпучих материалов. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 1992-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 26 с.

6 Вайнберг, М. В. Основные требования, предъявляемые к средствам измерения

параметров водного потока с учетом новых условий водопользования / М. В. Вайнберг, А. А. Чураев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 249–253.

7 Чураев, А. А. К проблеме оснащения мелиоративных систем средствами водочета / А. А. Чураев, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2010. – Вып. 44. – С. 59–63.

УДК 631.6:626.22:004.9

**А. А. Талызов, А. О. Щербаков**

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

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ВОДОПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Целью исследования является создание новых методов регулирования стока в водопроводящей сети и элементах гидромелиоративных систем. Рассмотрены вопросы регулирования жидкого стока в водопроводящей сети и элементах гидромелиоративных систем. Результаты, полученные при исследовании различных гидравлических режимов эксплуатации каналов и сооружений Лиманской оросительно-обводнительной системы, могут быть использованы при автоматизации управления оросительно-обводнительной системой, при выполнении предстоящей реконструкции ее элементов, тиражированы для применения на других подобных объектах.*

*Ключевые слова: открытая оросительная система, ГИС, гидравлическая модель, расход воды, оптимизация.*

\*\*\*\*\*

**A. A. Talyzov, A. O. Shcherbakov**

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russian Federation

### **SIMULATION OF FLOW CONTROL IN WATER-SUPPLY NETWORK OF HYDRO-RECLAMATION SYSTEMS BASED ON COMPUTER TECHNOLOGIES**

*The aim of the study is to create new methods for flow control in water-supply network and hydro-reclamation systems elements. The issues of liquid runoff control in water supply network and elements of the irrigation and drainage systems are considered. The results obtained in the study of various hydraulic operation modes of canals and structures of the Liman irrigation and water system can be used in automatic control of the irrigation and water supply system, realization of the forthcoming reconstruction of its elements, replicated for use in other similar facilities.*

*Key words: open irrigation system, GIS, hydraulic model, water flow, optimization.*

**Введение.** Недостаточно развитая система водочета и неоптимальность управления водораспределением на оросительных системах (ОС) приводят к повышенным материальным затратам при их эксплуатации и могут являться причиной перебоев в подаче воды. Для решения данной проблемы предлагается создать новые методы регулирования стока, основанные на компьютерном математическом моделировании и использовании географических информационных систем (ГИС) для обработки и визуализации данных [1]. Создаваемые методы позволят повысить эффективность функционирования гидромелиоративных систем за счет выбора оптимального режима работы насосных станций и регулирующих сооружений [2].

**Материалы и методы.** Для решения поставленной задачи было проведено исследование возможностей регулирования стока на примере Лиманской оросительно-обводнительной системы (ООС), расположенной в Астраханской области. Для определения горизонта воды в верхнем бьефе главной насосной станции было произведено компьютерное гидравлическое моделирование при различных расходах воды. Построена зависимость  $Q = f(h)$  для начального створа канала 14-й водный тракт. Также были исследованы возможности накопления воды в водохранилищах, входящих в состав Лиманской ООС. При этом применялись средства ГИС и разработанная ранее цифровая модель рельефа, было выполнено моделирование работы системы с использованием имеющихся и потенциальных средств регулирования, сделаны выводы об эффективности данной технологии.

Оптимизацией называется процесс выбора наилучшего варианта решения из множества возможных, например выбор наилучшего варианта распределения воды в каналах оросительной сети при ее дефиците, наилучших (оптимальных) режимов функционирования насосных станций и водораспределительных сооружений.

При оптимизации процесс работы оросительной сети может быть записан в виде системы уравнений. Выбор типа применяемой математической модели является компромиссом между точностью описания модели и простотой и экономичностью решения этой системы. Наилучший сценарий функционирования системы принимают на основе выбранных критериев оптимальности [3].

Множество целей функционирования ООС определяет многокритериальность задач управления ими. Однако не существует такой стратегии управления, которая обращает одновременно в максимум (или минимум) каждую из целевых функций, так как зачастую отдельные цели являются противоречащими друг другу (одна цель может быть достигнута за счет другой). Например, максимум подачи воды может привести к снижению ее качества и повышенным расходам на эксплуатацию системы.

**Результаты и обсуждение.** Предлагается способ повышения КПД оросительных систем за счет перераспределения объема подаваемой воды во времени.

Управление режимами работы оросительной системы осуществляется с помощью следующих действий:

- включения либо выключения насосов на головной либо вспомогательных насосных станциях;
- открытия затворов сооружений на определенные величины;
- смещения режима функционирования насосной станции в область большего КПД.

Территория Лиманской ООС находится в зоне западных подступных ильменей дельты р. Волги. Источником воды для системы является рукав Бахтемир. Гидрологический режим р. Волги, рукавом которой является Бахтемир, полностью зависит от режима попусков воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла. С 1959 г. сток р. Волги зарегулирован каскадом ГЭС и подчинен графикам сбросов воды из водохранилищ волжских ГЭС. Уровенный режим в дельте Волги формируется под влиянием стока в вершине дельты и уровня Каспийского моря, а также динамики гидрографической сети дельты. Отметки высших и низших уровней воды различной обеспеченности приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Отметки высших и низших уровней воды различной обеспеченности**

| Обеспеченность уровней, %       | 1      | 10     | 25     | 50     | 75     | 95     |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Отметка высших уровней, м Б. С. | -24,55 | -24,86 | -25,01 | -25,15 | -25,28 | -25,41 |
| Отметка низших уровней, м Б. С. | -26,05 | -26,32 | -26,45 | -26,58 | -26,69 | -26,81 |

Учет таких закономерностей режима источника водоснабжения, как колебания горизонтов и расходов воды, изменение мутности воды, позволяет оптимизировать ра-

боту головной насосной станции и мелиоративной системы в целом. Для учета этой информации могут использоваться графики характерных горизонтов воды в водоприемнике. Путем выбора оптимального создаваемого напора насосные станции могут работать в области наивысшего КПД.

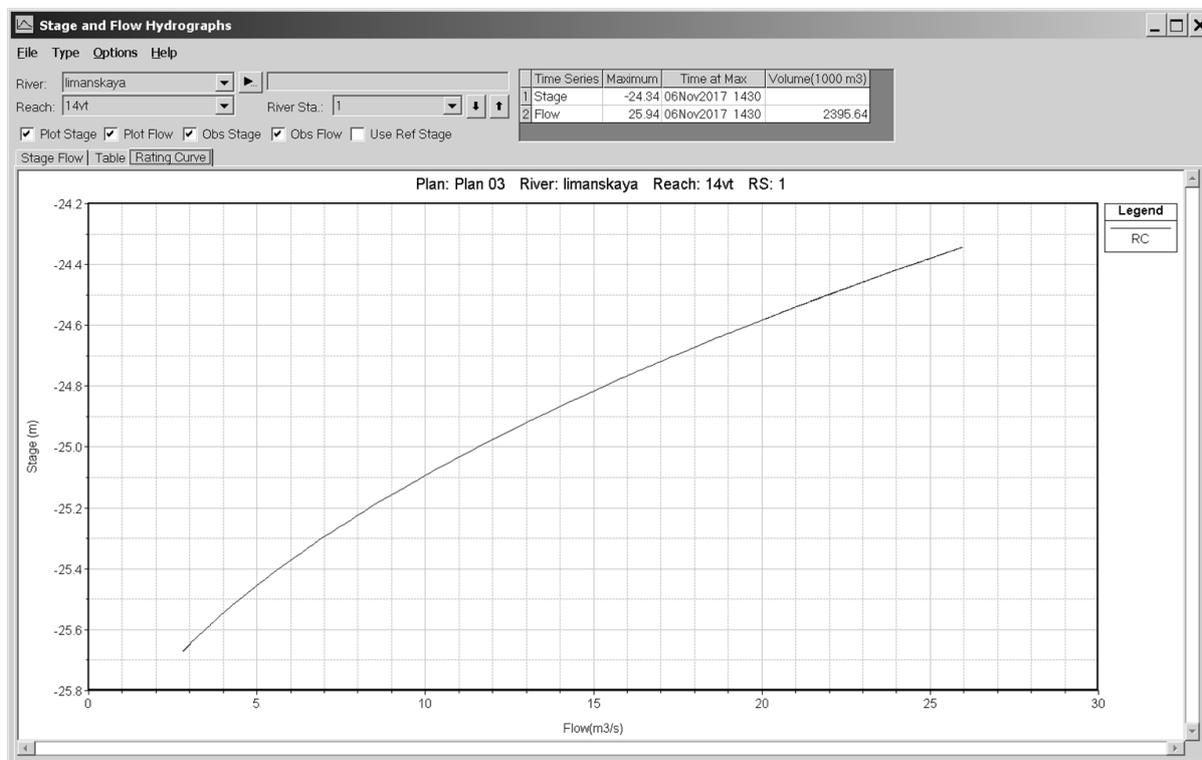
Также возможности для оптимизации режимов функционирования предоставляют емкости водохранилищ, входящих в состав гидромелиоративной системы. Исследуемая Лиманская ООС в своем составе имеет три водохранилища, основные характеристики которых приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Характеристики водохранилищ Лиманской ООС**

| Наименование водохранилища | Отметка |        | Площадь, га | Глубина, м | Объем, млн м <sup>3</sup> |        |         |
|----------------------------|---------|--------|-------------|------------|---------------------------|--------|---------|
|                            | УМО     | НПУ    |             |            | полезный                  | полный | мертвый |
| Долбанское                 | -25,72  | -25,22 | 300         | 1,08       | 1,7                       | 3,2    | 1,5     |
| Промысловское              | -26,00  | -25,50 | 190         | 1          | 1,1                       | 1,9    | 0,8     |
| Шуралинское                | -27,00  | -25,96 | 280         | 2          | 2,9                       | 5,6    | 2,7     |

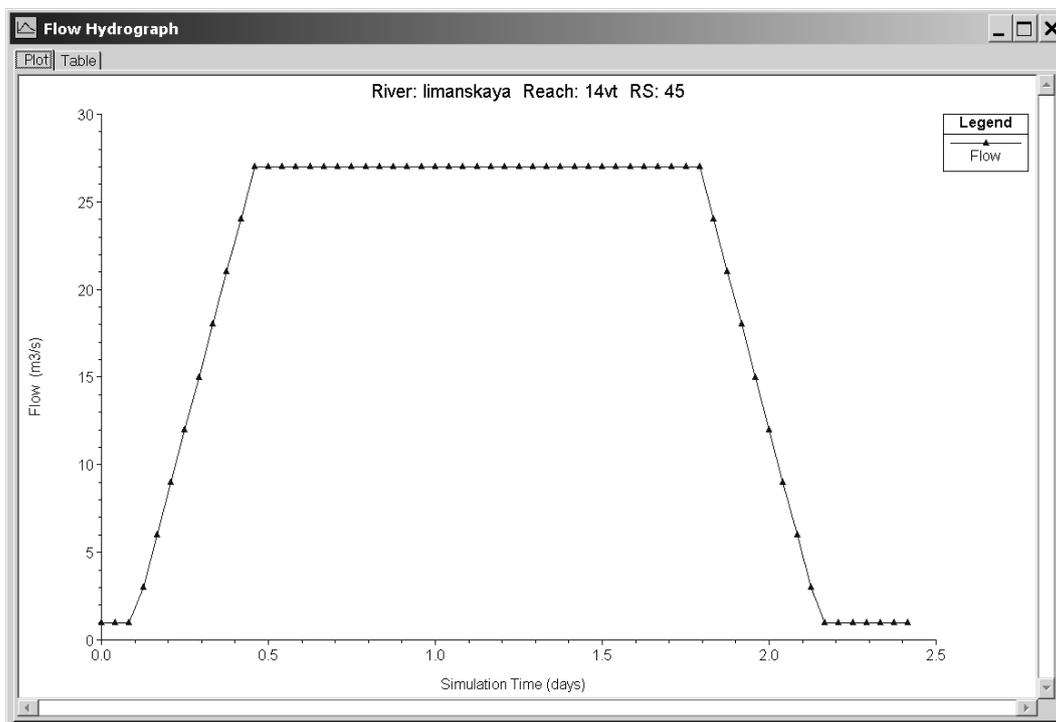
Для выявления особенностей, соответствующих рабочим режимам и условиям эксплуатации каналов оросительных систем, а также для изучения характера взаимосвязей между параметрами неустановившегося течения воды в процессе управления водораспределением может применяться компьютерное математическое моделирование [4].

Для определения гидравлических характеристик каналов системы применялось компьютерное математическое моделирование с помощью программы HEC-RAS версии 4.1. Модель основного магистрального канала Лиманской ООС (14-й водный тракт) была представлена в виде 45 поперечных сечений, подготовленных с помощью разработанной ранее ГИС Лиманской ООС [5]. В первую очередь с помощью модели была рассчитана характеристика  $Q(h)$  для верхнего бьефа данного канала (рисунок 1), позволяющая определить требуемый уровень верхнего бьефа головной насосной станции «Олинская» при различных расходах воды.



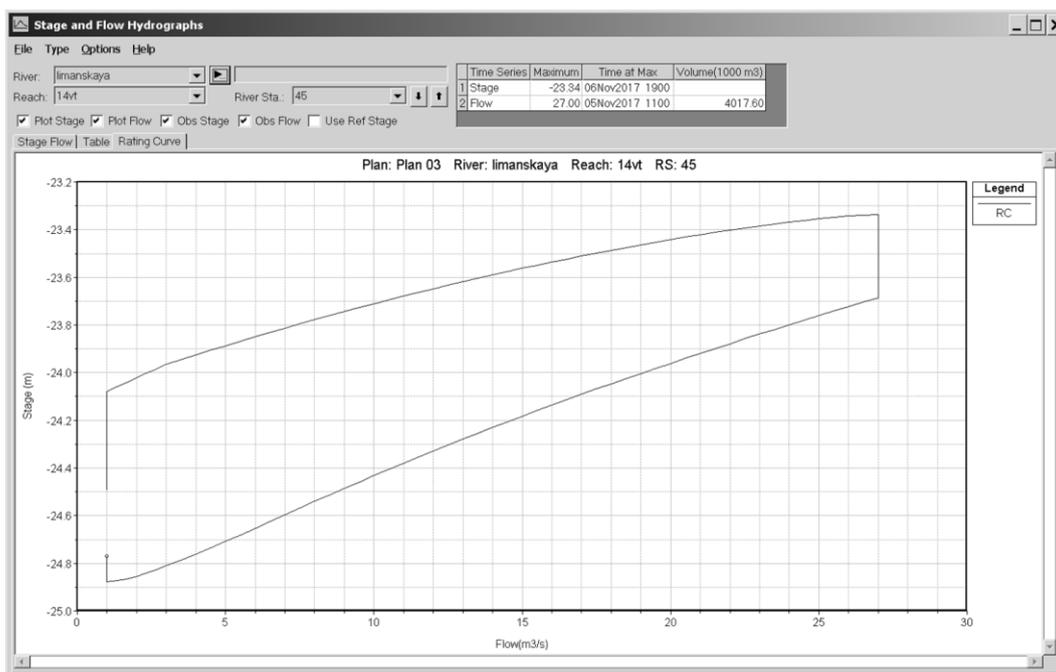
**Рисунок 1 – Расчетная кривая зависимости расхода ( $Q$ ) от уровня ВБ (м Б. С.) для магистрального канала 14-й водный тракт**

Также было произведено исследование петли гистерезиса на участке магистрального канала 14-й водный тракт для периодов гидравлических переходных процессов на подъеме и спаде уровней. Для этого было выполнено моделирование неустановившегося режима водного потока с использованием характерного гидрографа, показанного на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Гидрограф, применявшийся при моделировании**

На рисунке 3 приведена полученная петля гистерезиса, свойственная подъему (нижняя ветвь) и спаду (верхняя ветвь) уровней воды в канале при пропуске характерного гидрографа.



**Рисунок 3 – Петля гистерезиса, полученная в результате моделирования переходных процессов при подъеме и спаде уровней на канале 14-й водный тракт**

**Выводы.** Информация, полученная в результате проведенного моделирования, предназначена для использоваться при разработке критериев согласования режимов работы агрегатов головной насосной станции с режимами работы перегораживающих и водораспределительных сооружений в условиях наполнения водой и ее расходования в магистральном канале, происходящего в процессе реализации одного из способов управления водораспределением. Данная информация может быть представлена в табличном виде и впоследствии записана в программу управляющей системы, использована при автоматизации управления Лиманской ООС, а также при выполнении необходимой реконструкции ее элементов. Подобный подход можно рекомендовать для применения на других водораспределительных объектах.

#### **Список использованных источников**

1 Разработка компьютерной модели участка слияния рек Москвы и Оки / А. О. Щербаков, А. А. Талызов, Е. Э. Головинов, Г. Г. Ермаков, Р. Кромер // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 42–45.

2 Чураев, А. А. К вопросу автоматизации водораспределения на оросительных системах / А. А. Чураев, В. М. Школьная // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3(59). – С. 186–191.

3 Комплексное использование и охрана водных ресурсов / О. Л. Юшманов [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 303 с.

4 Иваненко, Ю. Г. Теоретические и прикладные проблемы гидравлики рек и каналов: монография / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев. – Новочеркасск: НГМА, 2007. – 250 с.

5 Щербаков, А. О. Численное моделирование гидромелиоративных систем на примере Лиманской оросительно-обводнительной системы / А. О. Щербаков, А. А. Талызов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 1(25). – С. 190–206. – Режим доступа: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec471-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec471-field6.pdf).

УДК 626.8,531.7

#### **М. Р. Барамыков**

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

#### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ADCP ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РЕЧНОЙ ГИДРАВЛИКИ**

*Для репрезентативности гидрологических данных необходимо обеспечить единство проведения измерений параметров потока как во времени, так и в пространстве. Приборы ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler – акустический доплеровский профилограф потока) позволяют производить большие объемы измерений при относительно малых затратах. Наглядные формы представления измеренных значений дают возможность оценить ситуацию непосредственно на месте и после проведения исследований. В статье приведены результаты измерений ADCP на участке р. Иртыш в отображении программного обеспечения, входившего в комплект с прибором. Такой способ визуализации полученных результатов позволяет произвести анализ ситуации одновременно на всем исследуемом участке.*

*Ключевые слова:* ADCP, SNR, концентрация взвешенных наносов, скорость потока, направление потока.

\*\*\*\*\*

#### **M. R. Baramykov**

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russian Federation

## ADDITIONAL OPPORTUNITIES OF USING ADCP FOR SOLVING THE RIVER HYDRAULICS PROBLEMS

*It is necessary to ensure the uniformity of measuring the flow parameters both in time and in space for the representativeness of hydrological data. Devices ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) allow producing large amounts of measurements at relatively low labour costs. The visual presentation forms of measured values make it possible to assess the situation on-situ and after the research. The ADCP measurements results on river Irtysh section in software display available with device are given in the article. Such way of visualizing the results obtained makes it possible to analyze the situation simultaneously on the entire study area.*

*Key words: ADCP, SNR, concentration of suspended sediments, flow velocity, flow direction.*

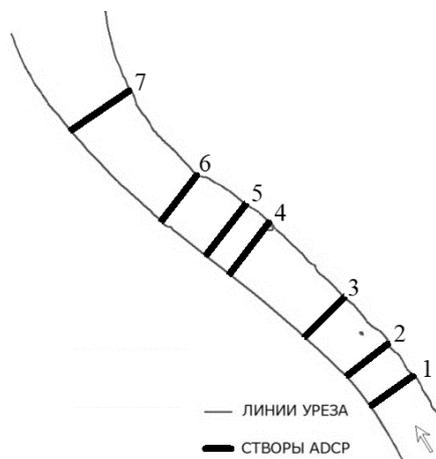
Как практическую задачу, в которой необходим мониторинг гидрологических характеристик потока, можно рассмотреть проектирование и эксплуатацию водозаборного сооружения. При проектировании оросительных систем одним из важных элементов такой работы является выбор участка реки для водозабора. Для этого необходимы данные наблюдений по различным показателям за несколько лет. Значения отдельных величин должны соответствовать установленным требованиям, предъявляемым к качеству воды для орошения. Согласно нормативной документации [1] одним из показателей допустимости использования воды для орошения является концентрация взвешенных веществ – мутность взвесенесущего потока, выражаемая в мг/дм<sup>3</sup>, которая при определенных условиях может оказывать негативное воздействие на элементы системы. При расчете магистральных каналов, их ветвей и распределителей следует выполнять расчеты на незаиляемость и неразмываемость [2], так как транспортируемая вода должна обладать скоростью в диапазоне между незаиляющей и неразмывающей и соответствующей мутностью. В связи с тем, что поток с определенной скоростью обладает собственной транспортирующей способностью, превышение мутности будет приводить к заилению, а недостаток – к размыву. С целью сокращения затрат на очистку было бы рационально производить водозабор в местах, где значение указанной величины соответствует расчетным показателям или близко к ним. Выбор участка для возведения водозаборного сооружения на реках требует соблюдения условий, обеспечивающих стабильную работу сооружения, например незаиления входных элементов. Для достижения установленных требований необходимо обладать данными по форме русла, скоростям течений, их направлениям и мутности [3].

Таким образом, различные цели использования речной воды предполагают различные объемы наносов в забираемой воде, что вызывает необходимость иметь в наличии такие данные, а также другие гидрологические характеристики. Для решения таких задач необходимы различные измерительные приборы, позволяющие получить качественно лучшие данные при минимальных затратах времени и энергии. К тому же с такими приборами гидрологические изыскания можно проводить более часто и получать больший объем информации о происходящих процессах на участке будущего или существующего водозабора. Более перспективным было бы использование одного универсального прибора для измерения всех необходимых характеристик.

Ранее [4] описывалась универсальность прибора ADCP, позволяющего одновременно определять значения указанных величин. Положительными качествами такого прибора являются большая частота измерений, соответствие измерений по месту и времени. Разбиение поперечного сечения русла на вертикали, а вертикали на ячейки без пустых промежутков, позволяет охватить до 90 % поперечного сечения потока, в отличие от точечных способов измерения. К тому же требуются значительно меньшие затраты времени и труда. Благодаря этим качествам особую значимость применение

ADCP приобретает для получения массива исходных гидрологических характеристик при разработке комплексных компьютерных моделей рек и их участков [5, 6].

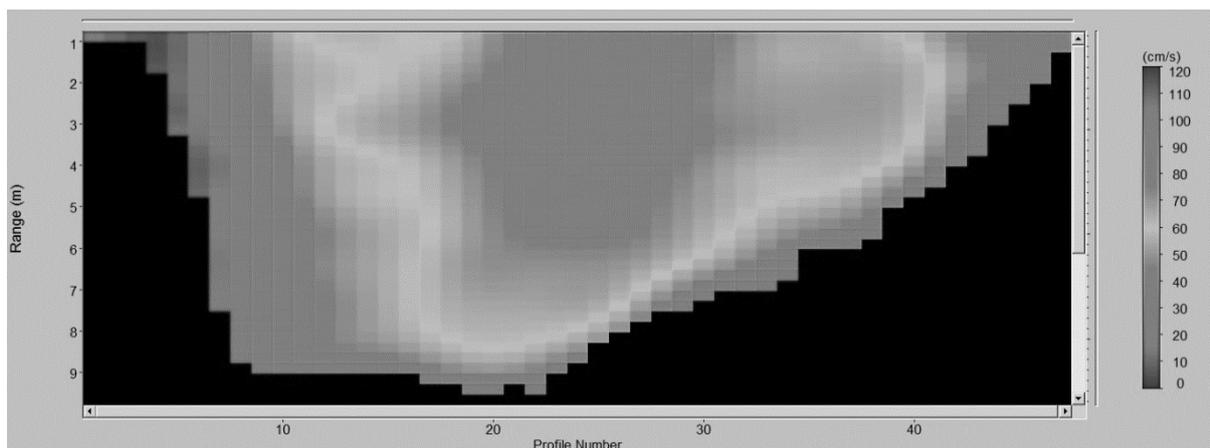
Для демонстрации получаемых ADCP данных и наглядности их отображения использованы результаты гидрологических изысканий на р. Иртыш. На участке протяженностью около 4 км были размещены семь створов для измерений ADCP (рисунок 1). Проходы сделаны от правого берега к левому.



**Рисунок 1 – Исследуемый участок р. Иртыш**

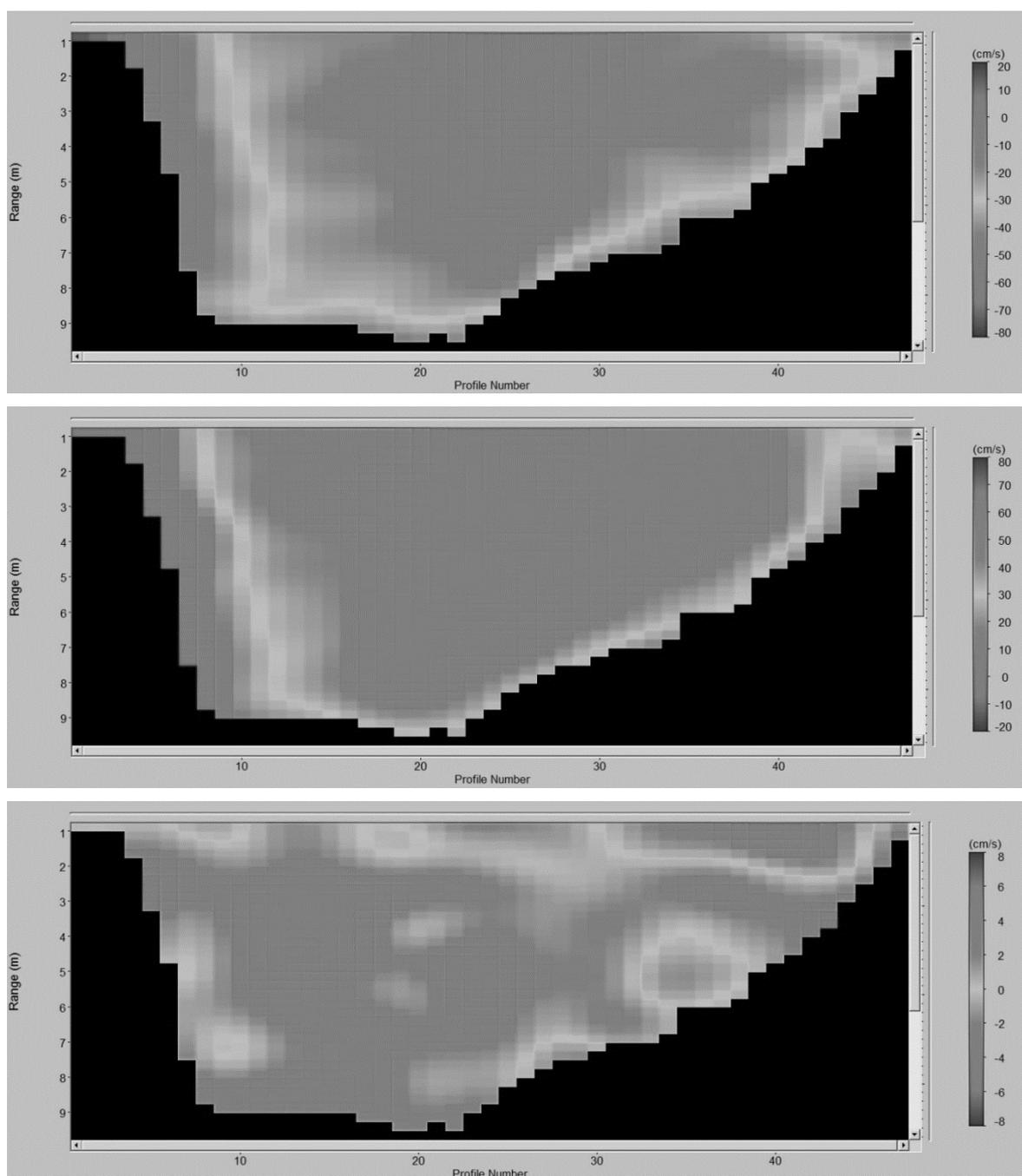
Для измерений применялся Mini-ADP (Sontek), установленный на моторной лодке. Практически сразу же после измерений в поставляемом с прибором программном обеспечении получена форма поперечного сечения русла и распределение по сечению измеренных данных в виде цветовой гаммы. Соответствие цветов численным значениям отображаемых величин отображено в виде легенды. Для дальнейшей обработки и анализа их можно экспортировать в файлы текстового формата.

*Скорость потока.* На рисунке 2 представлен профиль поперечного сечения потока и распределенные по нему абсолютные скорости, т. е. без компоненты направления. По данному профилю визуально можно определить положение максимальных скоростей, стрежневого потока, распределение скоростей по ширине и глубине потока.



**Рисунок 2 – Профиль абсолютных скоростей потока**

*Направление потока.* На рисунке 3 изображены профили поперечного сечения потока и распределенные по ним три компоненты скорости East, North, Up («восток», «север», «вверх»). Такие профили позволяют оценить «вес» каждой компоненты в общей величине скорости, что является важным показателем при исследовании внутренних течений потока. Положительные значения соответствуют указанным направлениям, а отрицательные значения показывают обратную направленность.



**Рисунок 3 – Профили трех компонент (East, North, Up) скоростей потока**

*SNR*. На рисунке 4 изображен профиль поперечного сечения потока и распределение по нему *SNR* – соотношения сигнал/шум. Измеряемая в децибелах (дБ) сила отраженного сигнала соотносится с силой шумового сигнала. Большее значение данной величины предполагает наличие большего числа частиц в потоке, создающих хороший отраженный сигнал. Приемлемыми считаются значения более 10–15 дБ.

На рисунке 5 представлены профили абсолютных скоростей и *SNR* по всем створам с планом исследуемого участка реки. Быстрота проведения измерений с помощью ADCP позволяет получить данные на семи створах примерно за 1,0–1,5 ч на участке протяженностью около 4 км. Такая оперативность значительно уменьшает вероятность критических изменений гидрологической ситуации за время работы. Термин «одновременность» можно отнести не только к измерениям различных величин в ячейках поперечного сечения, но и к значениям, полученным по всем створам исследуемого участка.

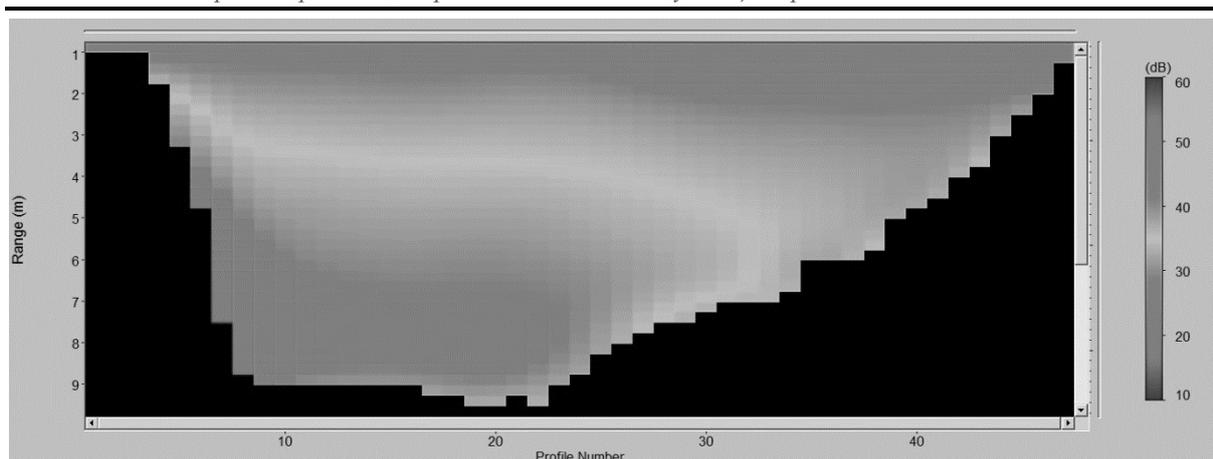


Рисунок 4 – Профиль SNR

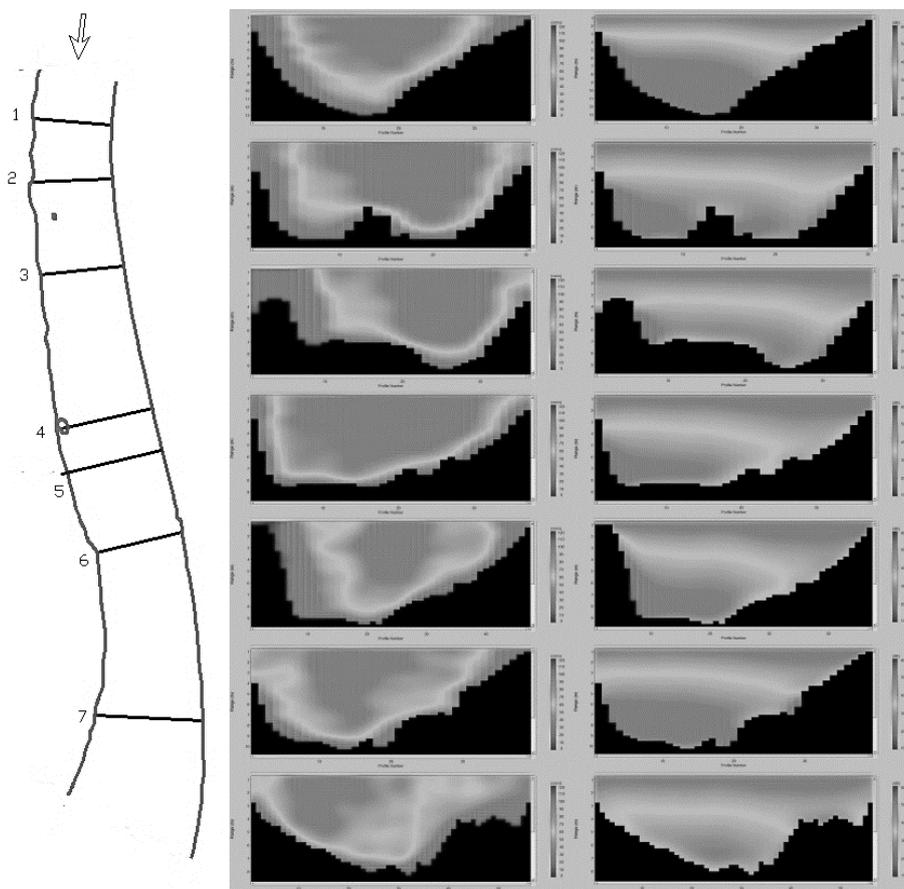


Рисунок 5 – Профили ADCP (абсолютных скоростей – слева и SNR – справа) по соответствующим створам

Показатели SNR используются для вычисления мутности, они пересчитываются по формуле (M. Shulkin, H. W. Marsh, 1962). Однако необходимо проводить предварительные изыскания непосредственно на участке исследования для определения точного соответствия измеренных значений SNR вычисленным концентрациям взвешенных наносов [7].

Путем совмещения изображений по всем створам с данными по соответствующим величинам получаем общую ситуацию на исследуемом участке. Анализируя состояние потока от створа 1 к створу 7, можно проследить изменения таких характеристик:

- формы поперечного сечения русла (профиля потока);
- глубин и поперечных уклонов дна;
- численных значений местных скоростей;

- трех компонент скорости (на рисунке 5 не представлены);
- положения максимальных скоростей;
- положения стрежневого потока;
- областей наибольшего скопления взвешенных наносов;
- распределения взвешенных наносов;
- мест осаждения взвешенных наносов.

На сегодняшний день производители подобного оборудования выпускают приборы с излучателями сигналов на нескольких частотах, что способствует более точным и полноценным измерениям.

На участках рек, используемых для забора воды в оросительные системы или для питьевых нужд, происходят различные изменения гидрологической ситуации в течение года или за много лет эксплуатации, что требует наличия актуальных данных об изменении гидрологических характеристик в течение этих периодов. В такой ситуации важной становится техническая возможность не только измерить необходимые характеристики, но и, как уже было описано выше, сделать это за короткий промежуток времени на всем исследуемом участке и соблюдение условия единообразия по месту измерений этих значений. Для наилучшего анализа ситуации может потребоваться расширение участка исследований, из-за чего значительно возрастут затраты времени, если делать точечные измерения, и снизится качество полученных данных в случае изменения обстановки.

Приведенный в статье пример визуализации результатов использования ADCP для измерения основных гидрологических характеристик исследуемого потока показывает простоту, скорость и универсальность приборов подобного типа как наиболее перспективных (с учетом их дальнейшего совершенствования) для комплексных гидрологических изысканий. Наиболее важным свойством таких приборов является получение большего объема данных, что позволяет адекватно оценивать состояние потока и принимать наиболее рациональные решения при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений.

#### **Список использованных источников**

1 ГОСТ 17.1.2.03-90 (СТ СЭВ 6457-88). Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения. – Введ. 1991-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 8 с.

2 Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2011: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. – М., 2015. – 142 с.

3 Шкуланов, Е. И. К вопросу о выборе створа водозабора на поворотных участках русел водотоков / Е. И. Шкуланов, Г. Л. Лобанов, Е. А. Савенкова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 4. – С. 56–64. – Режим доступа: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec137-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec137-field6.pdf).

4 Барамыков, М. Р. Возможность использования ADCP для определения твердого стока / М. Р. Барамыков // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 3. – С. 140–144.

5 Совершенствование управления каскадом волжских водохранилищ на основе гидродинамических моделей и ГИС-технологий / А. О. Щербаков, А. А. Талызов, И. С. Румянцев, С. И. Пручкин, А. Л. Бубер // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 2. – С. 8–12.

6 Разработка компьютерной модели участка слияния рек Москвы и Оки / А. О. Щербаков, А. А. Талызов, Е. Э. Головинов, Г. Г. Ермаков, Р. Кромер // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 42–45.

7 Сухинов, А. И. Оценка концентрации взвешенных частиц с использованием акустического обратного рассеяния ADCP-зонда / А. И. Сухинов, А. А. Черчаго // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 8(97). – С. 37–42.

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

---

---

УДК 633.2.033

**С. Ю. Турко, С. Н. Сивцева**

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация

### **ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЛЕКЦИОННО УЛУЧШЕННЫХ МНОГОЛЕТНИХ РАСТЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ КИЗЛЯРСКИХ ПАСТБИЩ)**

*Целью исследований являлась оценка результатов многолетней интродукции злаковых трав ставропольской селекции в аридной зоне Восточного Предкавказья. Исследования основывались на изучении роста и развития растений в онтогенезе при разных способах закладки посевов злаковых трав, сезонной динамики фитомассы, а также возрастного изменения вегетативной и генеративной продуктивности злаковых интродуцентов. Кроме того, предложена технология выращивания селекционно улучшенных многолетних кормовых трав, разработана система отбора лучших сортов растений-интродуцентов по показателям роста устойчивости и продуктивности в многолетнем онтогенезе.*

*Ключевые слова: технология, кормовые травы, рост, развитие, урожайность, деградированные пастбища, аэротоп, семенная продуктивность.*

\*\*\*\*\*

**S. Yu. Turko, S. N. Sivtseva**

Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

### **THE CULTIVATION TECHNOLOGY OF SELECTIVE IMPROVED PERENNIAL PLANTS (ON THE EXAMPLE OF KIZLYAR PASTURES)**

*The aim of the studies was to evaluate the results of long-term introduction of Stavropol selection grasses in the arid zone of the Eastern Pre-Caucasian region. The studies were based on the study of plants growth and development in ontogenesis, with different methods of grasses planting establishing, seasonal dynamics of phytomass, as well as the aging changes in the vegetative and generative productivity of cereal invasive plants. In addition, a technology for growing selective improved perennial forage grasses has been proposed, and a system for selecting the best sorts of invasive plants by growth indicators of sustainability and productivity in long-term ontogenesis has been developed.*

*Keywords: technology, fodder grasses, growth, development, productivity, degraded pastures, aerotope, seed yield.*

**Введение.** На процессы деградации Кизлярских пастбищ влияют неблагоприятные погодные условия (засуха) и нерациональная хозяйственная деятельность человека. Для устранения процессов деградации и восстановления природного равновесия в ландшафтах требуется комплексная система мероприятий, направленных на улучшение и рациональное использование. Повышение урожайности низкопродуктивных пастбищ может достигаться путем коренного их улучшения с введением в культуру растений, приспособленных к условиям исследуемого региона [1].

Полноценные корма могут удовлетворять все потребности овец, такими кормами является зеленая трава многолетних растений [2]. Мониторинговые исследования позволяют дать оценку кормовым угодьям Кизлярских пастбищ и разработать предло-

жения по повышению их урожайности и устойчивости. Адаптация пастбищного природопользования и реконструкция кормовой базы окажутся малоэффективными без предварительного лесомелиоративного обустройства пастбищно-кормовых угодий [3].

Актуальность направлений проводимых исследований заключается в решении проблемы повышения биоразнообразия путем интродукции селекционно улучшенных многолетних растений, устойчивых высокопродуктивных видов, в числе которых пырей, житняки, кострецы. По ним получены результаты, позволяющие разработать технологии их выращивания для улучшения фитопродуктивности природных пастбищ Западного Прикаспия.

Трансформированные ландшафты стали столь же зависимыми от человека, как и агроценозы, которые в отличие от фитоценозов не обладают способностью к саморегулированию [4].

Результаты многолетних исследований по интродукции позволили подобрать ассортимент лучших сортов многолетних трав, используемых для улучшения деградированных угодий с помощью фитомелиорации. В аридных условиях необходимо создавать устойчивые агроландшафты и эффективно использовать кормовые угодья. Нерациональная хозяйственная деятельность человека приводит к деградации растительного покрова и опустыниванию, а в период засухи полностью исчезают отдельные виды растений. В таких условиях самым необходимым является перспективность интродукции многолетних трав для обеспечения многофункциональных кормовых фитоценозов аридных территорий на основе изучения биологического потенциала.

**Материал и методы.** Научно-исследовательская работа проводилась по методике института кормов им. Вильямса [5].

Объектами исследований являлись опытные посевы многолетних кормовых трав ставропольской селекции в интродукционном питомнике. На опытных объектах в текущем году были продолжены учеты и наблюдения за ростом и развитием многолетних посевов трав ставропольской селекции при различных способах посева. Исследования проводились по трем вариантам опытов: вариант 1 – пырей средний + житняк + кострец; вариант 2 – пырей удлиненный + житняк; вариант 3 – пырей средний + кострец.

В течение вегетации проводили наблюдения в поликомпонентных посевах: измеряли высоту 30 растений, подсчитывали количество вегетативных и генеративных побегов с 1 м<sup>2</sup> в 5-кратной повторности, а также определяли фазы развития растений (кущение, выход в трубку, колошение, созревание).

Урожайность кормовых трав определяли укосным методом в 3-кратной повторности с 1 м<sup>2</sup>. Данные по метровкам суммировали, выводили средний показатель, затем путем перевода определяли кормовую массу с 1 га. Учет семенной продуктивности проводили в фазу плодоношения при полной спелости семян с 1 м<sup>2</sup> по вариантам опыта в 3-кратной повторности. Влажность почвы в корнеобитаемом слое определяли послойно через 10 см в течение вегетационного периода [6–8].

В посевах травосмеси набирали с учетом архитектоники вида (типа заполнения в аэротопе), чтобы добиться максимального уплотнения приземной фитомассы. Для распределения фитомассы по ярусам и заполнения ее в аэротопе каждый вид (снопик) разрезали на отрезки по 15 см, начиная с прикорневой части, и взвешивали. Фитомасса в аэротопе распределялась по четырем типам: приземистый, центральный, верховой и бипиковый [9].

**Результаты и обсуждение.** Наблюдения за ростом и развитием многолетних трав показали, что растения в широкорядных посевах имели лучшее развитие, чем в сплошных. Во 2-й год вегетации наиболее урожайными были посевы многолетних трав (в летний период 9,0–12,0 т/га) во втором варианте. Больше кормовой массы было получено в широкорядных посевах (12,0–13,0 т/га во втором и третьем вариантах, что на 3,0–7,0 т/га больше по сравнению со сплошными).

Благоприятные погодные условия весеннего периода 2017 г. (5-й год вегетации) способствовали повышению урожайности во всех вариантах опыта. Максимальная урожайность фитомассы в 2017 г. (15,0 т/га) была получена в первом варианте при ширококормном способе посева (таблица 1).

**Таблица 1 – Продуктивность многолетних трав в смешанных посевах (2013–2017 гг.)**  
 В т/га

| Вариант опыта                    | Способ посева | Урожайность фитомассы |      |         |      |         |      |         |      |         |      |
|----------------------------------|---------------|-----------------------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
|                                  |               | 2013 г.               |      | 2014 г. |      | 2015 г. |      | 2016 г. |      | 2017 г. |      |
|                                  |               | вес-на                | лето | вес-на  | лето | вес-на  | лето | вес-на  | лето | вес-на  | лето |
| Пырей средний + житняк + кострец | сплошной      | 1,5                   | 6,0  | 4,0     | 9,2  | 2,3     | 5,2  | 3,7     | 7,4  | 11,7    | 13,8 |
|                                  | широкорядный  | 1,2                   | 7,0  | 2,0     | 6,5  | 2,8     | 8,3  | 3,9     | 9,2  | 12,0    | 15,0 |
| Пырей удлиненный + житняк        | сплошной      | 2,8                   | 9,0  | 2,5     | 7,5  | 2,1     | 4,7  | 4,3     | 8,7  | 11,4    | 13,0 |
|                                  | широкорядный  | 3,6                   | 12,0 | 3,6     | 8,3  | 2,4     | 5,6  | 5,0     | 9,8  | 10,9    | 12,3 |
| Пырей средний + кострец          | сплошной      | 1,8                   | 6,0  | 4,5     | 10,0 | 1,7     | 4,1  | 1,6     | 5,1  | 10,3    | 12,2 |
|                                  | широкорядный  | 3,0                   | 13,0 | 2,5     | 8,0  | 2,0     | 4,3  | 1,9     | 6,0  | 10,8    | 13,4 |

Таким образом, исследования (2013–2017 гг.) многолетних трав в смешанных посевах показали, что лучшая урожайность фитомассы была получена в 2017 г. (5-й год жизни) в первом варианте опыта (пырей удлиненный Ставропольский 1 + житняк гребенчатый + кострец безостый Вегур) при ширококормном способе посева. За последние два года в первом варианте урожайность кормовой массы в среднем по способам посева составила 14,4 т/га, во втором варианте – 12,6 т/га, в третьем – 12,8 т/га.

Полученные данные свидетельствуют о том, что фитомасса многолетних трав в смешанных посевах в весенний период распределена по трем ярусам по приземистому типу, так как основная масса находится в нижнем ярусе на высоте 15 см. Ширококорядные посевы имели преимущество перед сплошными в кормовой массе (0,3–0,5 т/га).

Хорошее заполнение в аэротопе смешанных посевов происходит с тройной смесью, потому что у пыреев тип распределения в аэротопе центральный, у житняка – приземистый, а у костреца – верховой.

На основании полученных данных можно сказать, что смесь трав подобрана правильно, так как отвечает требованию целенаправленно уплотнить объем пастбищных фитоценозов. Полноценность пастбищного корма в значительной степени зависит от его химического состава и питательности. Установлено, что содержание влаги в растениях в зависимости от фазы вегетации не меняется и составляет 10–12 %.

Наибольшее количество сырого протеина содержится в осенней отаве. Доля сырого белка в зеленой массе многолетних трав выше в фазе выхода в трубку, а в фазе колошения и созревания семян она уменьшается в 2 раза (таблица 2).

Самое большое содержание сырого протеина наблюдалось в зеленой массе житняка сибирского Новатор (23,6 %), костреца безостого Ставропольский 35, Вегур, пырея удлиненного Ставропольский 10 (18,7–19,0 %).

Качество зеленой массы многолетних трав изменяется в зависимости от фазы вегетации и вида растений. В фазе выхода в трубку в 1 кг корма содержится от 0,28 до 0,37 к. е., перевариваемого протеина 51,81–80,21. В фазе колошения показатели в 2 раза меньше, но наибольшее количество кормовых единиц содержится в осенней отаве (от 45,89 до 127,8). По содержанию кальция, фосфора и каротина превосходство также имеет осенняя отава (таблица 3).

**Таблица 2 – Питательные свойства многолетних трав в разные фазы вегетации (по данным агрохимической лаборатории «Прикумская»)**

В %

| Вид                                | Фаза вегетации | Химический состав |               |           |                 |            |
|------------------------------------|----------------|-------------------|---------------|-----------|-----------------|------------|
|                                    |                | влага             | сырой протеин | сырой жир | сырая клетчатка | сырая зола |
| Пырей удлиненный Солончаковый      | выход в трубку | 11,40             | 11,75         | 2,09      | 36,5            | 7,40       |
| Пырей средний Ставропольский 1     | выход в трубку | 12,40             | 12,88         | 1,80      | 36,3            | 9,79       |
| Пырей средний Ставропольский 1     | колошение      | 12,93             | 11,31         | 1,71      | 39,7            | 5,77       |
| Пырей удлиненный Ставропольский 10 | выход в трубку | 10,64             | 12,88         | 1,80      | 34,1            | 8,61       |
| Житняк гребенчатый Викрав          | выход в трубку | 11,74             | 15,13         | 1,92      | 31,4            | 9,91       |
| Пырей удлиненный Ставропольский 10 | колошение      | 11,86             | 14,10         | 1,46      | 35,7            | 6,61       |
| Кострец безостый Вегур             | колошение      | 12,33             | 7,94          | 1,34      | 33,5            | 5,97       |
| Кострец безостый Ставропольский 35 | колошение      | 11,49             | 6,63          | 1,72      | 34,0            | 5,63       |
| Пырей удлиненный Солончаковый      | колошение      | 12,48             | 7,25          | 1,51      | 41,3            | 6,55       |
| Житняк сибирский Новатор           | колошение      | 11,77             | 6,75          | 1,23      | 39,9            | 3,04       |
| Житняк сибирский Новатор           | осенняя отава  | 10,89             | 23,60         | 3,08      | 25,6            | 10,40      |
| Кострец безостый Вегур             | осенняя отава  | 13,08             | 18,75         | 2,97      | 26,2            | 10,34      |
| Кострец безостый Ставропольский 35 | осенняя отава  | 13,34             | 19,06         | 2,40      | 25,6            | 9,80       |
| Пырей удлиненный Ставропольский 10 | осенняя отава  | 11,78             | 18,44         | 2,21      | 25,5            | 10,18      |
| Житняк гребенчатый                 | осенняя отава  | 11,93             | 12,38         | 2,01      | 38,1            | 6,17       |
| Пырей средний Ставропольский 1     | осенняя отава  | 11,45             | 14,06         | 1,59      | 29,7            | 9,64       |
| Пырей удлиненный Солончаковый      | осенняя отава  | 10,96             | 9,92          | 1,75      | 30,7            | 9,92       |

**Таблица 3 – Показатели качества зеленой массы многолетних трав в разные фазы вегетации (по данным агрохимической лаборатории «Прикумская»)**

| Вид растений                  | Фаза вегетации | Содержится в 1 кг корма |                       |             |            |            |              | Класс |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|-------------|------------|------------|--------------|-------|
|                               |                | кормовых единиц         | обменной энергии, МДж | протеина, г | кальция, г | фосфора, г | карогина, мг |       |
| 1                             | 2              | 3                       | 4                     | 5           | 6          | 7          | 8            | 9     |
| Пырей удлиненный Солончаковый | выход в трубку | 0,32                    | 7,8                   | 62,30       | 8,4        | 1,7        | 4            | 2     |
| Пырей удлиненный Солончаковый | колошение      | 0,31                    | 7,1                   | 38,42       | 2,0        | 1,7        | 2            | 3     |

Продолжение таблицы 3

| 1                                  | 2              | 3    | 4   | 5     | 6   | 7   | 8  | 9 |
|------------------------------------|----------------|------|-----|-------|-----|-----|----|---|
| Пырей удлиненный Солончаковый      | осенняя отава  | 0,37 | 8,8 | 45,89 | 3,0 | 2,1 | 12 | 3 |
| Пырей средний Ставропольский 1     | выход в трубку | 0,28 | 7,8 | 68,29 | 4,5 | 2,1 | 2  | 2 |
| Пырей средний Ставропольский 1     | колошение      | 0,30 | 7,3 | 59,34 | 3,1 | 1,6 | 10 | 2 |
| Пырей средний Ставропольский 1     | осенняя отава  | 0,34 | 8,8 | 74,56 | 0,4 | 2,2 | 8  | 2 |
| Пырей удлиненный Ставропольский 10 | выход в трубку | 0,32 | 8,2 | 69,03 | 4,0 | 2,1 | 2  | 2 |
| Пырей удлиненный Ставропольский 10 | колошение      | 0,31 | 7,9 | 75,01 | 0,6 | 1,8 | 2  | 2 |
| Пырей удлиненный Ставропольский 10 | осенняя отава  | 0,31 | 9,1 | 97,76 | 2,8 | 2,5 | 6  | 1 |
| Кострец безостый Ставропольский 35 | выход в трубку | 0,37 | 8,3 | 51,81 | 1,5 | 1,4 | 4  | 2 |
| Кострец безостый Ставропольский 35 | колошение      | 0,39 | 8,1 | 35,51 | 2,2 | 2,4 | 2  | 3 |
| Кострец безостый Ставропольский 35 | осенняя отава  | 0,32 | 9,4 | 98,84 | 3,6 | 2,2 | 37 | 1 |
| Кострец безостый Вегур             | колошение      | 0,39 | 8,3 | 41,61 | 1,4 | 2,0 | 2  | 3 |
| Кострец безостый Вегур             | осенняя отава  | 0,30 | 9,3 | 98,33 | 5,5 | 2,2 | 37 | 1 |
| Житняк сибирский Новатор           | колошение      | 0,37 | 7,3 | 35,81 | 0,1 | 1,1 | 2  | 3 |
| Житняк сибирский Новатор           | осенняя отава  | 0,27 | 9,4 | 127,8 | 2,4 | 2,6 | 10 | 1 |
| Житняк гребенчатый                 | осенняя отава  | 0,30 | 7,5 | 66,35 | 2,7 | 1,4 | 6  | 2 |

Зеленая масса осенней отавы многолетних трав – интродуцентов относится к первому классу питательности, в фазе выхода в трубку – ко второму классу, в фазе колошения и созревания семян корм грубеет и в результате имеет третий класс питательности. По содержанию перевариваемого протеина житняк сибирский Новатор занимает одно из первых мест, на втором месте стоят кострецы безостые Вегур, Ставропольский 35, пырей удлиненный Ставропольский 10. В зеленой массе осенней отавы у кострецов безостых сортов Вегур и Ставропольский 35 содержание кальция и каротина в 2 раза выше, чем у житняков и пыреев.

Данные по степени развития многолетних трав в поликомпонентных посевах показывают, что в весенний период хорошее развитие имели растения во всех трех вариантах. Разница в росте растений составляла 1–3 см, при этом преимущество имели широкорядные посевы. В летний период хорошее развитие по росту имели растения в первом варианте: здесь разница в росте 58 см в основном за счет пырея удлиненного Ставропольский 10, во втором 75 см за счет пырея удлиненного Солончакового и в третьем 50 см за счет пырея среднего Ставропольский 1. На данный момент разница в росте 5-летних многолетних трав по вариантам опыта незначительна (10 см).

В летний период лучший рост имели растения при хорошем развитии во втором варианте (пырей удлиненный Солончаковый + житняк гребенчатый) (163 см), на 10 см меньше рост был в первом варианте (153 см), в третьем – 135 см.

На опытных посевах многолетних трав и на контроле были взяты образцы почвы по горизонтам до глубины 2 м. В апреле влажность почвы была доступной до глубины 2 м (от 5,9 до 9,7 %), в мае влажность почвы по всем горизонтам была доступной для растений, а в июне, июле и августе она была на уровне влажности завядания (32 %), т. е. практически недоступной для многолетних трав, но, несмотря на это, растения продолжали расти и вегетировать за счет мощной, уходящей вглубь корневой системы.

**Выводы.** На распределение фитомассы многолетних трав ставропольской селекции по ярусам в аэротопе оказывают влияние степень развитости, способ посева и вид растений. Путем фитомелиорации с применением растений-интродуцентов можно обогатить, повысить устойчивость и долговечность кормовых фитоценозов деградированных угодий в аридной зоне. Улучшение деградированных кормовых угодий необходимо производить разнокомпонентными смесями многолетних растений, адаптированных к зональным почвенно-климатическим условиям [10, 11].

Кормовые травы в молодом возрасте в течение пяти лет имеют интенсивный рост, максимальную урожайность фитомассы, хорошую семенную продуктивность. В засушливые весенне-летние периоды кормовая масса многолетних трав уменьшалась в 2 раза по сравнению с благоприятными периодами увлажнения. Биологические свойства многолетних растений позволяют выделить высокопродуктивные и устойчивые виды, перспективные для использования при восстановлении деградированных угодий. Поликомпонентные посевы, в состав которых входят три вида: пырей удлиненный Ставропольский 10, житняк гребенчатый, кострец безостый Вегур, имеют равномерное и плотное заполнение аэротопа.

Интродуцированные виды кормовых трав ставропольской селекции в аридных условиях Западного Прикаспия на протяжении 15–17 лет показали себя как высокоурожайные, стабильно давая в 3–5 раз более высокопродуктивную кормовую массу по сравнению с естественными пастбищными фитоценозами. Продуктивность травосмесей по сравнению с одновидовыми посевами выше на 0,6 т/га. Широкоярдный способ посева при расстоянии между строчками 45–70 см имеет преимущество в урожайности кормовых трав как в чистых (на 1,5 т/га), так и в смешанных посевах (на 1,1 т/га).

#### Список использованных источников

1 Турко, С. Ю. Фитомелиорация деградированных угодий на основе технологии выращивания перспективных видов кормовых растений / С. Ю. Турко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 1(57). – С. 68–72.

2 Власенко, М. В. Перспективы развития селекции и семеноводства многолетних кормовых лугопастбищных трав в аридных условиях Нижнего Поволжья / М. В. Власенко, С. Ю. Турко // Вестник мясного скотоводства. – 2015. – № 3(91). – С. 119–125.

3 Турко, С. Ю. Математическое описание процессов роста и урожайности кормовых культур в аридных условиях / С. Ю. Турко, М. В. Власенко, А. К. Кулик // Вестник Башкирского ГАУ. – 2016. – № 2(38). – С. 18–22.

4 Кулик, К. Н. Агролесомелиорация аридной зоны России / К. Н. Кулик // Лесомелиорация и адаптивное освоение аридных территорий: материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Вековой опыт и перспективы агролесомелиорации аридных ландшафтов на юге Российской Федерации (к 50-летию Ачикулакской НИЛОС)», г. Нефтекумск, 19–21 сент. 2000 г. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2000. – С. 13–14.

5 Методика опытов на сенокосах и пастбищах / В. Г. Игловиков, Н. С. Конюшкин, В. П. Мельничук, И. П. Минина, Д. В. Якушев. – М., 1971. – Ч. 2. – 171 с.

6 Погорелова, И. А. Сорты сельскохозяйственных культур / И. А. Погорелова; ГНУ «Ставропольский НИИСХ». – Ставрополь: Агрус, 2010.

7 Власенко, М. В. Методическая основа исследования влияния эдафического фактора на биоценотические процессы в искусственных кормовых ценозах / М. В. Власенко, С. Ю. Турко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 1(57). – С. 104–110.

8 Технология создания устойчивых кормовых фитоценозов в условиях орошения Северо-Западного Прикаспия / В. П. Зволинский, В. А. Федорова, Т. В. Мухортова, М. В. Власенко, С. Ю. Турко // Адаптивное кормопроизводство. – 2016. – № 1. – С. 70–79.

9 Воронина, В. П. Агроэкологический потенциал пастбищных экосистем Северо-Западного Прикаспия в условиях меняющегося климата: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.04, 03.00.16 / Воронина Валентина Павловна. – Волгоград, 2009. – 48 с.

10 Турко, С. Ю. Искусственные кормовые ценозы в условиях сухой степи и полупустыни / С. Ю. Турко, К. Ю. Трубакова // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства: материалы междунар. науч.-практ. конф., с. Соленое Займище, 18–19 мая 2017 г. – Соленое Займище: ПНИИАЗ, 2017. – С. 290–295.

11 Турко, С. Ю. Имитационные модели мелиорированных пастбищ на различных почвах в условиях сухой степи и полупустыни / С. Ю. Турко, А. В. Вдовенко, К. Ю. Трубакова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 3(67). – С. 57–63.

УДК 633.2.03:581.116:631.671.3

**М. В. Власенко**

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация

### **СПОСОБНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ КОРМОВЫХ ТРАВ СЕМЕЙСТВА *POASEAE* ПОДДЕРЖИВАТЬ ТРАНСПИРАЦИЮ И ОСТАВАТЬСЯ ЗАСУХОУСТОЙЧИВЫМИ**

*Целью исследований являлось изучение изменений испарения воды, проходящей через растения, у разных видов многолетних кормовых трав семейства Poaseae (овсяницы луговой, костра безостого, житняка гребневидного, пырея солончакового), интродуцированных в монокомпонентных посевах, для выявления их устойчивости к неблагоприятным условиям засушливой среды. Травы семейства Poaseae по потребности в воде относятся к группе мезофитов. В начальные фазы развития до колошения они содержат 75–85 % воды в вегетативных органах. Оптимальные условия увлажнения для них находятся в пределах 60–80 % НВ. Биоэкологические особенности видов накладывают отпечаток на их водный режим, который чутко реагирует на различные изменения. Исследованиями раскрыта роль транспирации и выявлена зависимость ее интенсивности от внешних и внутренних факторов. Анализ водоудерживающей способности листьев многолетних кормовых трав показал, что наибольшая потеря влаги у всех видов отмечается в первые 30 мин (3,9–6,0 %). При максимальной солнечной активности эти потери достигают наибольших значений, но не превышают 6 %, что свидетельствует о засухоустойчивости видов. Эти явления происходят в связи с активацией физиологических процессов и биохимических превращений в листьях. Исследованиями установлено, что изученные виды обладают высоким потенциалом устойчивости против почвенной и атмосферной засухи. Наиболее приспособлены к засушливым условиям житняк гребневидный, пырей солончаковый и костер безостый, наименее – овсяница луговая.*

*Ключевые слова: многолетние кормовые травы, транспирация, засухоустойчивость, водоудерживающая способность.*

\*\*\*\*\*

**M. V. Vlasenko**

Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

### **CAPACITY OF PERENNIAL FORAGE GRASSES OF THE *POACEAE* FAMILY TO SUPPORT TRANSPIRATION AND TO STAY DROUGHT-RESISTANT**

*The aim of the research was to study the changes in evaporation of water passing through plants in different species of perennial forage grasses of the Poaceae family (meadow fescue (*Festuca pratensis*), awnless bromegrass (*Bromus inermis*), crested wheat grass (*Agropyrum pectiniforme*), bluegrass (*Agropyron scabrum*) injected in monocomponent crops to reveal their resistance to non-favorable conditions of the arid environment. Grasses of the Poaceae family belong to the group of mesophytes according to the need in water. They contain 75–85 % of water in the vegetative organs in the initial phases of development till earing. The optimal moistening conditions for them are in the range of 60–80 % HB. Bioecological features of species impose an imprint on their water regime, which reacts sensitively to various changes. Studies have revealed the role of transpiration and the dependence of its intensity on external and internal factors. Analysis of the water retention capacity of the perennial forage grasses leaves showed that the greatest loss of moisture in all species is observed in the first 30 minutes (3.9–6.0 %). With maximum solar activity, these losses reach the highest values, but do not exceed 6 %, which indicates the drought resistance of the species. These phenomena occur in connection with activating the physiological processes and biochemical transformations in leaves. The studies found that the species studied have a high potential for resistance against soil and atmospheric drought. The most adaptable to draught conditions are the awnless bromegrass (*Bromus inermis*), crested wheat grass (*Agropyrum pectiniforme*), bluegrass (*Agropyron scabrum*), the least – meadow fescue (*Festuca pratensis*).*

*Key words: perennial forage grasses, transpiration, drought resistance, water retention capacity.*

**Введение.** Процесс формирования фитомассы растений сложен, динамичен и зависит от комплекса параметров: генетических особенностей вида, влажностно-температурного режима вегетационного периода, объема фитомассы, светового режима, наличия влаги в почве, динамики уровня грунтовых вод и прочих [1, 2]. Одной из главных предпосылок для получения высокого урожая является оптимальность водного режима. Водный режим растений очень сложен. Определение соотношения показателей процесса физиологического испарения (транспирации), расхода воды на создание органических веществ, поступления воды из окружающей среды и возможности ее извлечения при биохимических реакциях лежит в основе выявления водного баланса растений [3].

В условиях засухи важно поддержание оводненности тканей растений за счет баланса поглощения и потери воды. При дефиците воды сохранение оводненности тканей достигается за счет ограничения потери воды с одной стороны и увеличения способности растения поглощать воду с другой. При умеренном дефиците воды более высокая продуктивность отмечается у растений, способных поддерживать относительно высокий уровень транспирации и скорость роста листьев. По мере повышения напряженности засухи на смену механизму поддержания устьиц открытыми приходит механизм ограничения транспирационных потерь: закрытие устьиц и уменьшение скорости роста листьев [4].

Транспирация выполняет терморегуляторную роль у растений и является основным двигателем водного тока. Большая часть солнечной энергии, поглощаемая листья-

ми, расходуется на преобразование воды в пар. В связи с этим температура листьев мало изменяется даже в очень теплые дни. Существует связь между транспирацией и газообменом листьев, зависящих от состояния устьиц.

Показателем засухоустойчивости разных видов трав является скорость отдачи воды. В связи с этим растения, обладающие высокой водоудерживающей способностью, отличаются значительной устойчивостью к неблагоприятным условиям среды. Скорость расхода воды растениями зависит от водоудерживающих способностей клеток, величины общей оводненности и напряженности метеорологических факторов. Более устойчивые к засушливым условиям растения теряют в процессе завядания фитомассы меньше воды, чем менее устойчивые [5, 6].

**Материалы и методы.** Исследования проводились на лизиметрических деланках гидрологического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН. Цель исследований – изучение изменений испарения воды, проходящей через растения, у разных видов многолетних кормовых трав, интродуцированных в монокомпонентных посевах, для выявления способностей видов к устойчивости в неблагоприятных условиях среды.

Для измерения транспирации брались сформированные листья верхнего яруса многолетних кормовых трав семейства *Poaceae* (овсяницы луговой, костра безостого, житняка гребневидного, пырея солончакового). Интенсивность транспирации устанавливалась методом быстрого взвешивания отобранного листа Л. А. Иванова [7].

Определение водоудерживающей способности (по Арланду) разных видов трав основано на учете потери воды завядающими растениями. Растения взвешивались сразу после отбора, а также через 30, 60, 90 и 120 мин после первоначального взвешивания. Определялось количество потерянной воды за каждые 30 мин. Выявлялся процент количества потерянной воды от общей испаряющей массы (первоначальное взвешивание). Полученные данные характеризуют динамику водоотдачи растений. По количеству потерянной воды за первые 30 мин судят о водоудерживающей способности растений. Чем выше водоудерживающая способность растений, тем оно считается устойчивее. Виды засухоустойчивы, если за 60 мин теряют 4–6 % воды от своей массы [8].

Обработка полученных данных проводилась в соответствии с методикой Б. А. Доспехова в программе Microsoft Excel 2007 [9, 10].

Исследование способствует решению вопросов результативного прогнозирования продуктивности фитоценозов, так как знание закономерностей водного режима растений важно при разработке рациональных агротехнических приемов выращивания различных видов в условиях засухи [11].

**Результаты и обсуждение.** Растения по-разному приспосабливаются к определенным условиям водного режима. В засушливых условиях для обеспечения высокой продуктивности фотосинтеза необходимо, чтобы ассимилирующие органы пополнялись водой. Растительный покров, задерживая часть осадков надземной массой, расходует значительное количество влаги на испарение. Интенсивность транспирации зависит как от внешних, так и от внутренних факторов. Всякое уменьшение содержания воды снижает транспирацию. На ее интенсивность влияют биологические свойства вида, продолжительность вегетационного периода, масса растений, густота и т. п. Сомкнутая растительность увеличивает расход влаги путем транспирации, но в то же время и уменьшает непродуктивное испарение с поверхности почвы. С увеличением возраста растений интенсивность транспирации падает. Как физический процесс испарения воды транспирация зависит также от влажности воздуха, температуры, освещенности, особенностей минерального питания, ветра, величины испаряющей поверхности [6]. На транспирационный коэффициент влияют погода, плодородие почвы, водный запас корнеобитаемого слоя, условия питания и ряд других условий. Например, с уменьшением влажности почвы транспирационные процессы затухают, так как чем меньше воды в почве, тем меньше ее в растении, что соответственно снижает процесс транспира-

ции в силу устьичной и внеустьичной регуляции. Чем выше осмотический потенциал почвенного раствора, тем ниже при прочих равных условиях интенсивность транспирации. При ветре усиливается кутикулярная транспирация. Поэтому более сильное воздействие ветровые потоки оказывают на транспирацию тех видов, у которых кутикула развита слабее. Особенно сильно на транспирацию влияют суховеи, так как в этом случае горячий воздух врывается в межклетники, что вызывает усиление транспирации.

Травы семейства *Poaceae* по потребности в воде относятся к группе мезофитов. В начальные фазы развития до колошения они содержат 75–85 % воды в вегетативных органах. Оптимальные условия увлажнения для них находятся в пределах 60–80 % НВ [12].

У многолетних трав семейства *Poaceae* транспирационный коэффициент отличается значительно большими показателями, чем у однолетних. Проведенные исследования на лизиметрическом комплексе ФНЦ агроэкологии РАН по выявлению интенсивности транспирации многолетних кормовых видов методом быстрого взвешивания отобранного листа показали, что биоэкологические особенности изучаемых видов накладывают отпечаток на их водный режим, который чутко реагирует на микроклиматические изменения. Способности растений менять свое жизненное состояние помогают видам выжить в неблагоприятных для развития ситуациях. Колебания показателя интенсивности транспирации в течение суток в жаркие летние месяцы отмечаются у всех исследуемых видов, однако они различны по значению. У видов семейства *Poaceae* показатели интенсивности транспирации часто достигают максимума до достижения наибольших дневных температур. После полудня интенсивность транспирации у них вновь нарастает при снижении температуры воздуха. Наибольшие показатели интенсивности транспирации среди исследованных видов выявлены у костра безостого и пырея солончакового (1,41–1,42 г/(дм<sup>2</sup>·ч)) [13].

Так как внешние условия оказывают влияние на транспирационный процесс, то у всех исследуемых видов кормовых злаковых трав ход интенсивности транспирации синхронен изменениям микроклиматических условий. Таким образом, можно сказать, что транспирация – это пульсирующий процесс, так как ему свойственно ритмичное уменьшение и увеличение интенсивности, что связано главным образом с колебанием содержания воды в растениях. Увеличение транспирации приводит к уменьшению содержания воды в растении, что ведет к сокращению транспирации. Вследствие этого содержание воды растет, транспирация соответственно возрастает. И этот процесс непрерывен.

На освещенном месте транспирация идет интенсивнее, чем в затенении, в силу ряда условий. При повышении температуры листа усиливаются процессы транспирации. Под влиянием света устьица раскрываются, увеличивается проницаемость цитоплазмы для воды, что увеличивает скорость ее испарения.

Благодаря высокой транспирирующей способности растения хорошо переносят повышенную температуру. Для всех растений характерно, что благоприятные условия водоснабжения и питания снижают транспирационный коэффициент [14].

При изучении десукционного расхода воды большое внимание должно уделяться массе листьев, так как они являются основными потребителями воды, или общей фитомассе определенного сообщества видов [15]. Транспирация изменяется в зависимости от величины листовой поверхности (чем больше развита листовая поверхность, тем больше общая потеря воды) и от соотношений частей корней и побегов. В процессе естественного отбора у растений с большой листовой поверхностью выработалась способность к меньшему испарению с единицы поверхности листа (меньшая интенсивность транспирации). При увеличении же соотношения между корнями и побегами транспирация возрастает [16].

Если говорить о сезонных изменениях интенсивности транспирации, то следует отметить, что злаки минимальное количество влаги расходуют в ранний период развития растений до кущения и в последний период вегетации «молочная спелость – созре-

вание». В этот период транспирационный коэффициент является максимальным. Интенсивная транспирация способствует созреванию семян при уменьшении влажности тканей. В период «выход в трубку – молочная спелость» злаки используют около 70 % всей влаги, которую расходуют за вегетацию, и образуют максимальный прирост общей фитомассы. Транспирационный коэффициент в этот период является минимальным [4].

Процесс увеличения водоудерживающей способности у растений, растущих в стрессовых условиях засухи, является процессом физиологической адаптации к неблагоприятным условиям внешней среды. Водоудерживающая способность листьев разных видов трав характеризует плазменное состояние коллоидов клетки и зависит от условий выращивания растений, особенно от питания. Чем выше эта способность у вида, тем выше и его устойчивость к неблагоприятным условиям среды. При оптимальных условиях произрастания водоудерживающая способность видов возрастает.

Несмотря на сухость воздуха, большую освещенность и высокую температуру, водоудерживающая способность может существенно не измениться, что может свидетельствовать о замедлении или прекращении транспирации. Это вызвано тем, что в дневные часы трата воды часто превышает ее поступление [6].

При наибольшей солнечной активности с максимальной температурой почвы в корнеобитаемом слое водоудерживающая способность у исследуемых растений различна (рисунок 1, таблица 1). Но у всех видов наибольший процент потери воды отмечается в первые 30 мин наблюдений: на освещенном месте 4,6–6,0 %, в затенении – 3,9–5,8 %. Через 60 мин значения продолжают падать: на освещенном месте потери воды составляют 3,7–5,1 %, в затенении – 2,8–4,4 %. Через 2 ч потеря воды в листьях на освещенном месте достигает 1,1–3,6 %, в затенении – 0,7–2,1 %.

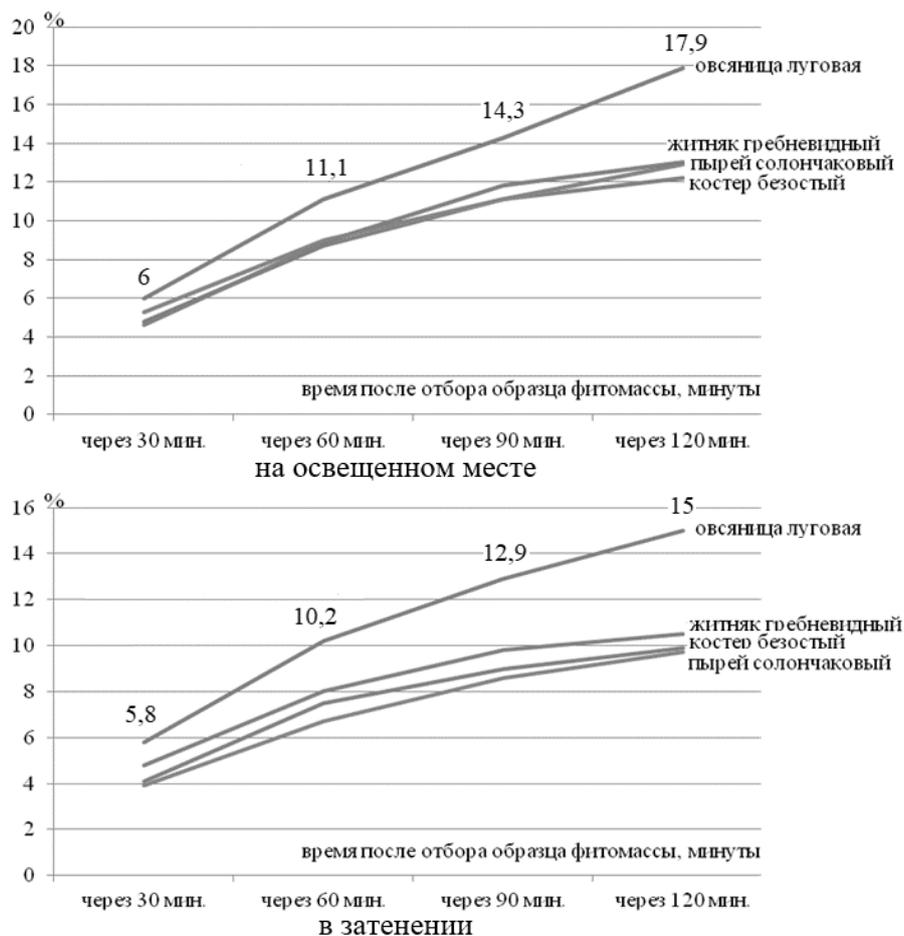


Рисунок 1 – Скорость потери воды надземной фитомассой многолетних трав семейства *Poaceae* в зависимости от освещенности, июнь 2017 г.

**Таблица 1 – Общая водоудерживающая способность многолетних кормовых трав семейства *Poaceae* в зависимости от освещенности, июнь 2017 г.**

| Вид растения   | Потеря воды    |                |                |                |                |                |                |                | Общая потеря воды |                | Водоудерживающая способность |                |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|------------------------------|----------------|
|  | через 30 мин   |                | через 60 мин   |                | через 90 мин   |                | через 120 мин  |                |                   |                |                              |                |
|  | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>1</sub>    | A <sub>2</sub> | A <sub>1</sub>               | A <sub>2</sub> |
| Костер безостый<br><i>Bromus inermis</i> L.          | 4,8            | 4,1            | 3,9            | 3,4            | 2,4            | 1,5            | 1,1            | 0,9            | 12,2              | 9,9            | 87,8                         | 90,1           |
| Пырей солончаковый<br><i>Agropyrum</i> Gaertn.       | 5,3            | 3,9            | 3,7            | 2,8            | 2,1            | 1,9            | 1,8            | 1,1            | 12,9              | 9,7            | 87,1                         | 90,3           |
| Житняк гребневидный<br><i>Agropyron cristatum</i> L. | 4,6            | 4,8            | 4,3            | 3,2            | 2,9            | 1,8            | 1,2            | 0,7            | 13,0              | 10,5           | 87,0                         | 89,5           |
| Овсяница луговая<br><i>Festuca pratensis</i>         | 6              | 5,8            | 5,1            | 4,4            | 3,2            | 2,7            | 3,6            | 2,1            | 17,9              | 15,0           | 82,1                         | 85,0           |

Примечание – A<sub>1</sub> – на освещенном месте, A<sub>2</sub> – в затенении.

**Заключение.** В процессе транспирации поддерживается приток воды, минеральных веществ и органических соединений в надземные части, которые синтезируются и поглощаются корнями растений. Интенсивности транспирации свойственно ритмичное уменьшение и увеличение, что связано в основном с колебанием содержания воды в растениях. У видов семейства *Poaceae* показатели интенсивности транспирации часто достигают максимума до достижения наибольших дневных температур.

Способности растений менять свое жизненное состояние помогают видам выжить в неблагоприятных для развития ситуациях. Исследованиями подтверждается, что изученные виды многолетних кормовых трав семейства *Poaceae* (овсяница луговая, костер безостый, житняк гребневидный, пырей солончаковый) обладают высоким потенциалом устойчивости против почвенной и атмосферной засухи. Наиболее приспособлены к засушливым условиям следующие виды: костер безостый (водоудерживающая способность вида 87,8–90,1 %), пырей солончаковый (водоудерживающая способность вида 87,1–90,3 %) и житняк гребневидный (водоудерживающая способность вида 87,0–89,5 %). Самым засухоустойчивым является костер безостый. Наименее устойчива овсяница луговая (водоудерживающая способность вида 82,1–85,0 %). Этот вид предпочитает более увлажненные и относительно умеренные условия произрастания, лучше других злаков мирится с близким залеганием грунтовых вод (1,0–1,5 м), при котором нормально развивается и формирует высокие урожаи.

#### Список использованных источников

1 Турко, С. Ю. Математическое описание процессов роста и урожайности кормовых культур в аридных условиях / С. Ю. Турко, М. В. Власенко, А. К. Кулик // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2(38). – С. 18–22.

2 Салугин, А. Н. Водопроницаемость ненасыщенных почвогрунтов аридной зоны / А. Н. Салугин, А. К. Кулик, М. В. Власенко // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 1. – С. 21–24.

3 Библиотека по агрономии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrolib.ru>, 2018.

4 Алпатьев, А. М. Влагообороты в природе и их преобразования / А. М. Алпатьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 234 с.

5 Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.

6 Зимица, Е. В. Методика проведения лабораторных занятий по теме «Водный

режим растений» / Е. В. Зими́на, И. А. Кукушкина, О. А. Петрова // Достижения вузовской науки. – 2014. – № 8. – С. 20–26.

7 Иванов, Л. А. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях / Л. А. Иванов, А. А. Силина, Ю. Л. Цельникер // Ботанический журнал. – 1950. – Т. 50, № 2. – С. 171–175.

8 Юртаева, Н. М. Малый практикум по физиологии растений: учеб. пособие для вузов / Н. М. Юртаева; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. – 112 с.

9 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

10 Иванова, Н. А. Лабораторный практикум по экологии: учеб.-метод. пособие / Н. А. Иванова, Т. В. Сторчак, Э. Р. Юмагулова. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2001. – 143 с.

11 Кулик, А. К. Моделирование формирования урожая озимой пшеницы на гидрологическом комплексе / А. К. Кулик // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 6. – С. 29–32.

12 Кудоярова, Г. Р. Современное состояние проблемы водного баланса растений при дефиците воды / Г. Р. Кудоярова, В. П. Холодова, Д. С. Веселова // Физиология растений. – 2013. – Т. 60, № 2. – С. 155.

13 Власенко, М. В. Транспирация многолетних кормовых видов в условиях засушливой среды / М. В. Власенко // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(44). – С. 16–24.

14 Кулик, Н. Ф. Водный режим лесных биогеоценозов: учеб. пособие / Н. Ф. Кулик. – Новочеркасск: НГМА, 1999. – 58 с.

15 Веретенников, А. В. Физиология растений с основами биохимии / А. В. Веретенников. – Воронеж: ВГУ, 1987. – 256 с.

16 Гусев, Н. А. Состояние воды в растении / Н. А. Гусев. – М.: Наука, 1974. – 134 с.

УДК 633.2.033

**С. Ю. Турко**

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация

### **МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАСТБИЦНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

*Основная задача нашей работы – разработать улучшенную технологию выращивания многолетних кормовых трав на лизиметрических моделях для использования при фитомелиорации деградированных кормовых угодий на песчаных землях аридной зоны, в т. ч. выявить наиболее перспективные модели сеяных фитоценозов кормовых трав и оценить влияние эдафического фактора, климатических условий на биоценозные процессы, продуктивность и качество корма в условиях аридного климата, а также определить оптимальные сроки изъятия фитомассы с различных типов моделируемых пастбищ (весенне-летних, летних, летне-осенних) и установить закономерности влияния удобрений на отрастание фитомассы после частичного ее изъятия.*

*Ключевые слова: пастбища, кормовые травы, технология, изъятие биомассы, удобрение, аридный пояс.*

\*\*\*\*\*

**S. Yu. Turko**

Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

## OPTIMIZATION METHODS AND PRINCIPLES OF PASTURE ECOSYSTEMS

*The main aim of our research is to develop the improved technology for the perennial forage grasses cultivation on lysimetric models for phytoreclamation of degraded forage areas on sandy lands of the arid zone, among others, to identify the most promising models of forage grasses sowing phytocenoses and to assess the impact of the soil factor, climatic conditions on biocenotic processes, productivity and feeding quality under arid climate conditions, as well as to determine the optimal terms for phytomass extraction from various types modeled pastures (spring-summer, summer, summer-fall) and to determine the influence pattern of fertilizers on phytomass aftergrowing after its partial extraction.*

*Key words: pastures, fodder grasses, technology, biomass extraction, fertilizer, arid belt.*

**Введение.** Животноводство в условиях сухой степи относится к системе риска по двум причинам – из-за резких колебаний климатических условий и неустойчивости кормовой базы. Также значительную роль играет антропогенный фактор, а именно неправильное ведение хозяйства.

Вместе с тем луга и пастбища занимают почти четвертую часть суши Земли. Значительная их часть находится в сложных природных условиях. Это территории со сложным рельефом, с достаточно сложными климатическими сочетаниями или малопродуктивными почвами. Особенно это относится к нашей стране. С другой стороны, это кормовая база и ее нужно содержать таким образом, чтобы не имела место ее деградация. Поэтому в мире, и у нас в стране тоже, была сделана не одна попытка создать единую теорию управления такой сложной системой, как пастбище. Увязывались два компонента – рост растений и норма выпаса. Нужно отметить, что большинство работ по управлению пастбищами – это зарубежные работы, которые рассматривают гумидные условия, для которых управление менее проблематично. Другое дело аридные территории, здесь другие условия, почвы беднее. Это требует более осторожного подхода к ведению хозяйства, потому что здесь гораздо сложнее восстанавливается травостой после определенного его стравливания.

**Материал и методы.** В начале вегетационного периода производилась обрезка растений. В нашем случае это 1/2, 1/3, 2/3 высоты травостоя. Повторность трехкратная. Норма выпаса (снятие биомассы в опытах) бралась такой, чтобы отрастание до конца вегетации было как можно больше и достаточно возмещало потерю. Норма изъятия фитомассы в опытах была такой, чтобы можно было выявить закономерности ее отрастания в функции времени после ее снятия. Разработка моделей прогноза продуктивности природных пастбищ при разных режимах выпаса осуществлялась исходя из двух моментов: общефизических законов продуцирования растений и имитационных лизиметрических опытов по отрастанию растений при различной норме изъятия биомассы [1–3].

**Результаты и обсуждение.** Наши исследования показали, что ни в одном опыте травостой после изъятия определенной части его биомассы полностью не восстанавливается к концу вегетационного периода, а это ведет к прогрессирующей деградации пастбищ на аридной территории. Есть еще один вопрос: когда лучше проводить выпас скота, причем с учетом типа пастбища (весенне-летнего, летнего и летне-осеннего). Дело в том, что растения, как и другие биологические объекты, имеют биологический ритм роста. Вначале прирост биомассы идет замедленно, затем он убыстряется, а далее снова замедляется. Если говорить о графике роста, то это некая S-образная кривая, которая подвержена изменению в зависимости от почвенных компонент и климатических условий. Это четко показали наши предыдущие исследования. Об этом говорит и полученная математическая модель продуктивности [4].

Следовательно, на разных типах пастбищ выпас скота нужно планировать в разные сроки, а также нужно знать, как это будет влиять на деградационные процессы.

Также необходимо располагать комплексом необходимых мероприятий, знать, до какого уровня нужно изымать биомассу с пастбища с позиций управления им.

Очень важно заострить внимание на планировании и распределении ресурсов в пастбищном животноводстве. Здесь главную роль должно играть математическое моделирование. Модели распределения ресурсов на уровне как частного, так и другого вида сельскохозяйственного предприятия принадлежат к одному из двух классов: с учетом факторов риска (неопределенности) и без учета таковых. На сегодняшний день большее количество моделей такого плана было построено по второму принципу, поскольку прогнозировать риски и неопределенность очень сложно. Поэтому имеющиеся модели, как правило, опираются на теорию принятия решения и математического программирования. Критерий полезности в этих моделях отражает предпочтения землевладельца или землепользователя. Как правило, он сводится к определению максимума прибыли и минимуму затрат [5, 6].

Для эксплуатационных же показателей пастбищ более важно знать объемные характеристики. Это касается и норм выпаса скота, и вообще деграционных процессов на пастбищах.

Учитывая это, мы попытались теоретически связать геометрические характеристики с объемными. В основу этой увязки была положена теория аллометрии, которая впервые была использована Хаксли [7] для описания роста животных и частей их организма, а затем Перселлом [8] в связи с ростом растений. Исследователи считали, что геометрические и объемные характеристики аллометрически зависимы друг от друга, если они удовлетворяют аллометрическим уравнениям:

$$P = aQ^b; Q = cP^d,$$

где  $P$  – геометрическая характеристика, м;

$Q$  – объемная характеристика, м<sup>3</sup>;

$a, b, c, d$  – коэффициенты.

Однако всегда нужно помнить то, что объемные характеристики зависят не только от геометрических показателей, но и от коэффициента покрытия и оптической плотности растительности.

Общий коэффициент оптической плотности рассчитывался по формуле:

$$K_{\text{оп}} = K_{\text{оп,р}} \cdot K_{\text{покр.}}$$

где  $K_{\text{оп}}$  – общий коэффициент оптической плотности;

$K_{\text{оп,р}}$  – коэффициент оптической плотности растительного покрова;

$K_{\text{покр.}}$  – коэффициент покрытия.

Вышеприведенная формула дала возможность, во-первых, рассчитать обобщенный коэффициент оптической плотности всего растительного экрана, во-вторых, найти функцию  $f(K_{\text{оп}})$  в аллометрической зависимости вида:  $q = f(K_{\text{оп}}) \cdot H_{(м)} \cdot a_1$ , а в-третьих, определить показатель степени  $a_1$ . Отсюда в окончательной форме аллометрическая зависимость выглядит следующим образом:

$$q_{\text{max}} = 31,5 K_{\text{оп}} H^{0,5},$$

где  $q_{\text{max}}$  – биомасса растительного экрана в конце вегетации, т/га;

$K_{\text{оп}}$  – коэффициент оптической плотности в целом для растительного экрана (с учетом коэффициента покрытия);

$H$  – высота растительного экрана в конце вегетации, см.

Как показали исследования, после изъятия определенной части биомассы растения уже не достигают той высоты, которая была бы без этого изъятия, причем чем больше изъятие, тем эта разница больше. Отсюда большой практический интерес пред-

ставляет раскрытие вопроса, как формируется эта разница. Наши опыты позволили реально показать некоторые закономерности в этом плане. Мы попытаемся теоретически описать вопрос о максимумах высоты травостоя в конце вегетации при разных изъятиях ее биомассы. При этом за основу взята, как и ранее, логистическая зависимость, а точнее S-образный закон. Он выглядит следующим образом:

$$\frac{H_{m.o.i.}}{H_{m.o.}} = \left[ \frac{1}{1 + a_h e^{-\lambda_h h_{ck}(\%)}} \right],$$

где  $H_{m.o.i.}$  – максимальная высота растений в конце вегетации при определенном изъятии части биомассы, см;

$H_{m.o.}$  – максимальная высота растений в конце вегетации без изъятия биомассы, см;

$e$  – основание натурального логарифма;

$h_{ck}(\%)$  – высота оставшихся растений, см;

$a_h, \lambda_h$  – ростовые показатели.

Наши исследования по изъятию биомассы от 1/3 до 2/3 высоты травостоя показали, что это ведет к неизбежной деградации растительной массы. Выявлено, что ни в одном случае травостой полностью не восстанавливается к концу вегетации. При этом было установлено, что чем больше изымалось биомассы, тем невозможнее было большим. Одной из причин снижения урожайности (биомассы) является дефицит влаги. Таким образом, видим, что второй причиной неполучения потенциальной биомассы является недостаточное питание в субстрате, поэтому один из оптимальных путей стимулирования роста травостоя – внесение удобрений [9–11].

**Выводы.** Исследования показали, что накопление биомассы в целом определяется следующими факторами: 1) биологическими особенностями растений; 2) температурно-влажностным режимом вегетационного периода; 3) плодородием субстрата; 4) количеством изымаемой биомассы (интенсивностью стравливания). Исходя из этого, нужно учитывать местоположение пастбища, почвенное плодородие и время изъятия биомассы, изменяющейся, как показали опыты, согласно S-образному закону с переменным градиентом роста. Это справедливо и для злаковых растений, и для люцерны.

Исследования показали и то, что не безразлично, когда проводить изъятие части биомассы и сколько изымать биомассы, чтобы не вызвать существенного ухудшения состояния травостоя на пастбище. А то, что состояние травостоя зависит от количества изымаемой биомассы, наглядно показали эксперименты. Во всех без исключения опытах было замечено, что чем больше изымается биомассы, тем меньше высота и хуже травостой бывает в конце вегетации. Наши опыты показали, что нельзя изымать более 1/3 биомассы, причем это изъятие нужно производить в период наибольшей быстроты роста растений, т. е. ближе к середине вегетационного периода. Это связано с биологическими особенностями роста растений, а точнее с наличием биологических ритмов.

#### Список использованных источников

1 Турко, С. Ю. Фитомелиорация деградированных угодий на основе технологии выращивания перспективных видов кормовых растений / С. Ю. Турко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 1(57). – С. 68–72.

2 Технология создания устойчивых кормовых фитоценозов в условиях орошения Северо-Западного Прикаспия / В. П. Зволинский, В. А. Федорова, Т. В. Мухортова, М. В. Власенко, С. Ю. Турко // Адаптивное кормопроизводство. – 2016. – № 1. – С. 70–79.

3 Власенко, М. В. Методическая основа исследования влияния эдафического фактора на биоценологические процессы в искусственных кормовых ценозах / М. В. Власенко, С. Ю. Турко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 1(57). – С. 104–110.

4 Турко, С. Ю. Математическое описание процессов роста и урожайности кормовых культур в аридных условиях / С. Ю. Турко, М. В. Власенко, А. К. Кулик // Вестник Башкирского ГАУ. – 2016. – № 2(38). – С. 18–22.

5 Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли; пер. с англ. А. С. Каменского; под ред. Ф. И. Ерошенко; предисл. Ф. И. Ерошенко и А. С. Каменского. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.

6 Audsley, E. Planning an arable farm's machinery needs – a linear programming application / E. Audsley // Proceedings of Operational Research Workshop 20–21 September 1978 / Nat. Inst. of Agricultural Engineering. – 1978. – P. 121–130.

7 Huxley, I. S. Constant differential growth ratios / I. S. Huxley // Nature. – London, 1974. – P. 895–986.

8 Pearsall, W. H. Growth studies. VI. On the relative sizes of growing plant organs / W. H. Pearsall // Annals of Botany. – 1927. – Vol. 41, iss. 3. – P. 549–556.

9 Материалы к проблеме повышения устойчивости земледелия (зарубежный и отечественный опыт) / Ф. Б. Прижуков [и др.]. – М.: Госагропром СССР, ВАСХНИЛ, 1987. – 190 с.

10 Сарычев, А. Н. Ресурсосбережение и урожай зерновых культур / А. Н. Сарычев, В. М. Жидков, К. К. Бралиев. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2013. – 176 с.

11 Филин, В. И. Агрохимические основы управления качеством зерна пшеницы / В. И. Филин // Научный вестник. Агрономия: сб. науч. работ. – Волгоград: ВГСХА, 1999. – Вып. 1. – С. 197–204.

## НАУКА – ПРАКТИКЕ

УДК 635.67:631.5

**П. В. Лиховид**

Институт орошаемого земледелия Национальной академии аграрных наук Украины,  
Херсон, Украина

### **ТОЛЩИНА ПЕРИКАРПА ЗЕРНОВОК КУКУРУЗЫ САХАРНОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОТЕХНИКИ КУЛЬТУРЫ**

*Изложены результаты исследования толщины перикарпа (плодовой оболочки) зерновок кукурузы сахарной в зависимости от агротехники культуры: глубины отвальной вспашки (20–22 и 28–30 см), доз внесения минеральных удобрений (без удобрений,  $N_{60}P_{60}$ ,  $N_{120}P_{120}$ ). Полевые опыты выполнялись согласно современным стандартам методики опытного дела в орошаемом земледелии в базовом хозяйстве «СК «Радянська земля» Белозерского района Херсонской области. Доказано, что толщина перикарпа существенно не зависела от исследованных факторов. Отмечена тенденция к увеличению толщины перикарпа при повышении дозы внесения минеральных удобрений и более глубокой вспашке от 0,173–0,176 до 0,199–0,213 мм. Сделано предположение, что характеристики плодовой оболочки зерновок кукурузы сахарной являются генетически регулируемым сортовым признаком, который не поддается существенному влиянию технологических факторов.*

*Ключевые слова: кукуруза сахарная, глубина отвальной вспашки, доза внесения минеральных удобрений, капельное орошение, толщина перикарпа.*

\*\*\*\*\*

**P. V. Likhovid**

Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,  
Kherson, Ukraine

### **PERICARP THICKNESS OF SUGAR CORN CARYOPSES IN DEPENDENCE TO CROP PRODUCTION PRACTICES**

*The results of the investigation of the pericarp (fruit shell) thickness of sugar corn caryopses are presented, depending on crop production practices: moldboard plowing depth (20–22 and 28–30 cm), the application rate of mineral fertilizers (without fertilizers,  $N_{60}P_{60}$ ,  $N_{120}P_{120}$ ). Field experiments were carried out in accordance with modern standards of experimental methods in irrigated agriculture in the basic farm “IC “Radyanska Zemlya”, Belozersky district, Kherson region. It was proved that the pericarp thickness didn't significantly depend on the factors studied. There is a tendency to increase the pericarp thickness by increase the application rate of mineral fertilizers and a deeper plowing from 0.173–0.176 to 0.199–0.213 mm. The assumption is made that pericarp characteristics of the fruit shell of sugar corn caryopses are a genetically regulated grading factor that does not yield to significant influence of technological factors.*

*Key words: sugar corn, moldboard plowing depth, application rate of mineral fertilizers, drip irrigation, pericarp thickness.*

**Введение.** Одним из важных показателей качества кукурузы сахарной является толщина перикарпа (плодовой оболочки) зерновок. Толщина перикарпа определяет органолептические качества продукции, в частности такие вкусовые характеристики, как нежность и жесткость зерновок. Кроме того, толщина перикарпа имеет немаловажное

значение в оценке устойчивости к травмированию, транспортабельности, пригодности к длительному хранению и комбайновой уборке. Измерение толщины плодовой оболочки обычно проводят как в относительных величинах (массе перикарпа по отношению к массе зерновок в целом), так и в абсолютных (прямое измерение толщины в миллиметрах, микрометрах). По отдельным данным, толщина перикарпа, выраженная в удельном весе, не превышает 5–14 % массы зерновок [1, 2]. Толщина перикарпа является важным селекционным признаком кукурузы сахарной [3].

Практически полное отсутствие в отечественной научной литературе данных касательно изменения толщины перикарпа зерновок кукурузы сахарной под воздействием антропогенных факторов, таких как агротехнологические приемы возделывания, обуславливает актуальность исследований в данном направлении. Целью исследований было выявление зависимости толщины плодовой оболочки зерновок кукурузы сахарной от агротехнологических параметров, а именно: глубины отвальной вспашки и дозы внесения минеральных удобрений.

**Материал и методы.** Изучение воздействия агротехнологических приемов на толщину перикарпа кукурузы сахарной выполнялось в рамках более масштабных научных исследований, посвященных совершенствованию технологии выращивания культуры в условиях Степи Украины на капельном орошении. Исследования проводили на орошаемых землях СК «Радянська земля» Белозерского района Херсонской области на протяжении 2014–2016 гг. согласно современным стандартам и требованиям методики опытного дела в агрономии [4]. Тематикой работы было предусмотрено изучение таких агротехнических приемов: фактор А – глубина отвальной вспашки (20–22 и 28–30 см), фактор В – дозы внесения минеральных удобрений (без удобрений,  $N_{60}P_{60}$ ,  $N_{120}P_{120}$ ), фактор С – густота стояния растений (35, 50, 65 и 80 тыс. шт./га).

Полевые опыты проводились в 4-кратной повторности, варианты размещали методом рендомизированных расщепленных блоков. Агротехника кукурузы сахарной базировалась на общепринятых для орошаемых условий Степи Украины рекомендациях, за исключением реализации исследуемых факторов. Влажность в активном (0–30 см до фазы 7–8 листьев и 0–50 см в остальной период вегетации культуры) слое почвы поддерживали на уровне 80 % НВ. В среднем оросительная норма за годы исследований составила 1500 м<sup>3</sup>/га. Для поливов использовали оросительную воду Ингулецкой оросительной системы, которая отличается повышенной минерализацией (в среднем за годы исследований 1418 мг/л) и высоким содержанием токсических ионов (в среднем за годы исследований 10,63 мг-экв/л). Измерение толщины перикарпа прямым методом с помощью микрометра выполняли на зерновках, выделенных из початков, убранных с опытных делянок с густотой стояния растений 50 тыс. шт./га (наиболее типичные початки), в 4-кратной повторности. Полученные данные обрабатывали с помощью многофакторного дисперсионного анализа в программе AgroStat [4].

**Результаты и обсуждение.** Результаты измерений толщины перикарпа зерновок кукурузы сахарной позволили выявить тенденцию к ее увеличению при внесении минеральных удобрений более высокими дозами (от 0,175 до 0,206 мм) и выполнении более глубокой вспашки (от 0,187 до 0,192 мм) (таблица 1). Увеличение толщины перикарпа свидетельствует о повышении устойчивости зерновок к травмированию, пригодности к длительному хранению, однако может несколько снизить вкусовые качества свежей продукции (за счет уменьшения нежности зерновок).

В то же время статистическая обработка экспериментальных данных методом дисперсионного анализа показала отсутствие существенного влияния изучаемых факторов на толщину перикарпа, так как все полученные различия между вариантами опыта не превысили наименьшей существенной разницы. Таким образом, ни глубина отвальной вспашки, ни дозы внесения минеральных удобрений не являются фактором, определяющим толщину плодовой оболочки зерновок кукурузы сахарной.

**Таблица 1 – Толщина перикарпа кукурузы сахарной в зависимости от глубины отвальной вспашки и доз внесения минеральных удобрений (среднее за годы исследований)**

| Глубина вспашки, см (фактор А) | Доза минеральных удобрений (фактор В) | Толщина перикарпа | В мм                 |                      |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
|                                |                                       |                   | Среднее по фактору А | Среднее по фактору В |
| 20–22                          | Без удобрений                         | 0,173             | 0,187                | 0,175                |
|                                | N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>       | 0,190             |                      | 0,189                |
|                                | N <sub>120</sub> P <sub>120</sub>     | 0,199             |                      | 0,206                |
| 28–30                          | Без удобрений                         | 0,176             | 0,192                |                      |
|                                | N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>       | 0,187             |                      |                      |
|                                | N <sub>120</sub> P <sub>120</sub>     | 0,213             |                      |                      |

Примечание – НСР<sub>05</sub>: по фактору А 0,031 мм, по фактору В 0,043, для взаимодействия факторов АВ 0,077 мм.

**Выводы.** Исследованные нами агротехнические факторы, а именно глубина отвальной вспашки и дозы внесения минеральных удобрений, не оказывали статистически значимого влияния на толщину перикарпа зерновок кукурузы сахарной. Однако установлена тенденция к ее увеличению при внесении повышенных доз минеральных удобрений, и вероятнее всего, толщина плодовой оболочки является генетически регулируемым сортовым признаком. Отметим, что полученных нами результатов недостаточно для объективной оценки. Необходимо проведение дальнейших лабораторно-полевых исследований в данной области.

#### Список использованных источников

1 Иванов, И. С. Повышение качества зерна кукурузы / И. С. Иванов. – Киев: Урожай, 1975. – 84 с.

2 Уоллес, Г. Кукуруза и ее возделывание / Г. Уоллес, Е. Бресман. – М.: Изд-во иностр. лит., 1955. – 255 с.

3 Новоселов, С. Н. Философия идеотипа сельскохозяйственных культур. II. Современные критерии идеальной модели пищевой кукурузы / С. Н. Новоселов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2006. – № 24(8). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/28.pdf>.

4 Методика полевого опыта (орошаемое земледелие): учеб. пособие / В. О. Ушкаренко, С. В. Коковихин, С. П. Голобородько, Р. А. Вожегова. – Херсон: Гринь Д. С., 2014. – 448 с.

УДК 631.6.02

**Н. Е. Волкова**

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

**Р. Ю. Захаров**

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение) Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

#### УДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД КАК ИНДИКАТОР РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

*Индикативный подход играет немаловажную роль при организации и ведении процесса рационального водопользования. Наибольшее значение при оценке экологиче-*

ского состояния водных объектов имеет удельный объем загрязненных вод, сбрасываемых в природные водоприемники. Целью этого исследования была оценка динамики данного индикатора по водным объектам Крыма и изучение на ее основе последствий изменения водообеспеченности территории Крыма, в т. ч. вследствие перекрытия внешнего водоисточника. Работа выполнена на основе анализа статистических данных по сбросам загрязненных вод, качественным показателям работы крупных канализационных очистных сооружений. В целом по ряду водных объектов ситуация значительно улучшилась. Это обусловлено существенным уменьшением объемов коллекторно-дренажных и сбросных вод. Однако следует подчеркнуть, что не все сбросы загрязненных вод отражены в статистических данных, иногда имеют место нарушения водного законодательства, что в свою очередь негативно сказывается на экологическом состоянии водных объектов.

*Ключевые слова:* водные объекты, экологическое состояние, удельный объем сбросов загрязняющих веществ, коллекторно-дренажные воды, канализационные очистные сооружения, мониторинговые наблюдения.

\*\*\*\*\*

**N. E. Volkova**

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

**R. Yu. Zakharov**

Academy of Construction and Architecture (structural unit) V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

#### **SPECIFIED VOLUMES OF CONTAMINATED WATER DISCHARGES AS AN INDICATOR OF RATIONAL WATER USE**

*An indicative approach plays an important role in organization and management of the rational water use process. The specific volume of polluted water discharged into natural water intakes is essential for assessing the ecological state of water bodies. The purpose of this study was to assess the dynamics of this water bodies' indicator in the Crimea and to study on its basis the consequences of changes in water supply on the territory of the Crimea, also due to the shutdown of an external water source. The work was carried out on the basis of analysis of statistical data on discharges of polluted waters and qualitative indicators of large sewage treatment plants performance. In general, the situation for a number of water bodies has significantly improved. This is due to a significant decrease in the volume of collector-drainage and waste water. However, it should be emphasized that not all discharges of polluted waters are mentioned in statistical data, sometimes there are violations of water legislation, which in turn negatively affects the ecological state of water bodies.*

*Key words:* water bodies, ecological state, specific volume of pollutant discharges, collector-drainage waters, sewage treatment facilities, monitoring observations

Одной из первостепенных задач в настоящее время является правильная организация и ведение рационального водопользования. Существует множество подходов к решению данного вопроса, принципов его решения. Среди них хотелось бы отметить индикативный подход. В общем смысле он предполагает определение количественных и качественных характеристик процесса рационального водопользования. Это позволяет оценивать, анализировать и прогнозировать процесс достижения соответствующего критерия, а также определять регламент необходимых действий для его практической реализации. Вопросом разработки индикаторов в сфере водопользования занимались М. Ю. Тарасова, С. В. Соловьева, А. М. Маценко, В. Ф. Фомина, Ю. Б. Мерзликина и многие другие. Они рассматривали организацию процесса устойчивого водопользования с разных ракурсов: с социальной, экономической, экологической, технологической точек зрения. Их исследования нашли отражение в ряде публикаций [1–5]. Анализ этих работ

показывает, что авторы сходятся в своем мнении при определении ряда индикаторов, среди них они выделяют и удельный объем загрязненных вод, сбрасываемых в водные объекты. Данный индикатор также нашел отражение в Водной стратегии РФ [6].

В последние годы задачи сохранения благоприятной экологической обстановки на водных объектах Крыма и целенаправленного управления водными ресурсами стали особенно актуальными. Перекрытие внешнего водоисточника привело к усилению антропогенной нагрузки на ряд водных объектов, что негативно сказалось на их экологическом состоянии. К тому же следует подчеркнуть, что Крымский регион в Российской Федерации прежде всего рассматривается как рекреационная зона, а это предполагает поддержание привлекательной обстановки: соблюдение норм и правил, установленных в том числе водным законодательством РФ.

Важным при оценке развития ситуации является мониторинг удельных сбросов загрязняющих веществ в водные объекты в динамике. Это позволяет воссоздать целостную картину; определить перечень водных объектов, по которым необходимо разработать перечень мероприятий, направленных на улучшение текущей экологической обстановки; определиться с необходимостью изменений в организационном механизме управления водопользованием, механизме ценообразования в сфере услуг по подаче и водоотведению и т. п. Оценим динамику данного индикатора по основным водным объектам Республики Крым за период с 2007 по 2015 г., промежуток времени, в течение которого произошли серьезные изменения в водообеспеченности Крымского региона. Ниже в таблице 1 приведена динамика удельных объемов загрязненных вод, сбрасываемых в водные объекты, за период 2007–2015 гг.

**Таблица 1 – Удельные сбросы загрязненных вод по основным водным объектам**

В %

| Наименование природного объекта | Удельный объем загрязненных вод, сбрасываемых в водный объект, по годам |      |      |      |      |
|---------------------------------|---|------|------|------|------|
|                                 | 2010  | 2011 | 2012 | 2013 | 2015 |
| Азовское море                   | 0   | 1    | 3    | 17   | 0    |
| оз. Актакашское                 | 58  | 56   | 60   | 100  | 24   |
| р. Джарджава                    | 100   | 100  | 100  | 100  | 0    |
| р. Степная                      | 100   | 100  | 100  | 100  | 0    |
| р. Салгир                       | 100   | 100  | 100  | 100  | 0    |
| оз. Сиваш                       | 20  | 20   | 33   | 57   | 0    |
| Черное море                     | 17  | 15   | 14   | 13   | 10   |
| р. Чорох-Су                     | 100   | 100  | 100  | 100  | 0    |
| р. Альма                        | 99  | 99   | 99   | 97   | 100  |
| р. Бодрак                       | 100   | 100  | 100  | 100  | 0    |
| Каркинитский залив              | 51  | 45   | 36   | 36   | 0    |
| р. Чатырлык                     | 35  | 100  | 63   | 20   | 0    |
| р. Воронцовка                   | 80  | 75   | 60   | 79   | 0    |
| р. Чурук-Су                     | 100   | 100  | 100  | 100  | 100  |
| р. Улу-Узень                    | 100   | 100  | 100  | 100  | 0    |

Из анализа данных таблицы 1 наглядно видно, что в 2015 г. объем загрязненных вод, сбрасываемых в водоисточники, резко сократился. Чтобы в общем оценить сложившуюся обстановку, рассмотрим более детально изменения, произошедшие в сфере водоотведения в Республике Крым за последние 10 лет. Ниже на рисунке 1 приведена динамика объемов сброса воды по основным категориям, а на рисунке 2 – изменения в объемах загрязненных вод, сбрасываемых в природные водные объекты.

Из анализа данных рисунков 1, 2 наглядно видно, что в последние годы, после перекрытия внешнего водоисточника, произошло существенное снижение объемов

коллекторно-дренажных вод и уменьшение количества загрязненных вод, сбрасываемых в природные водные объекты.

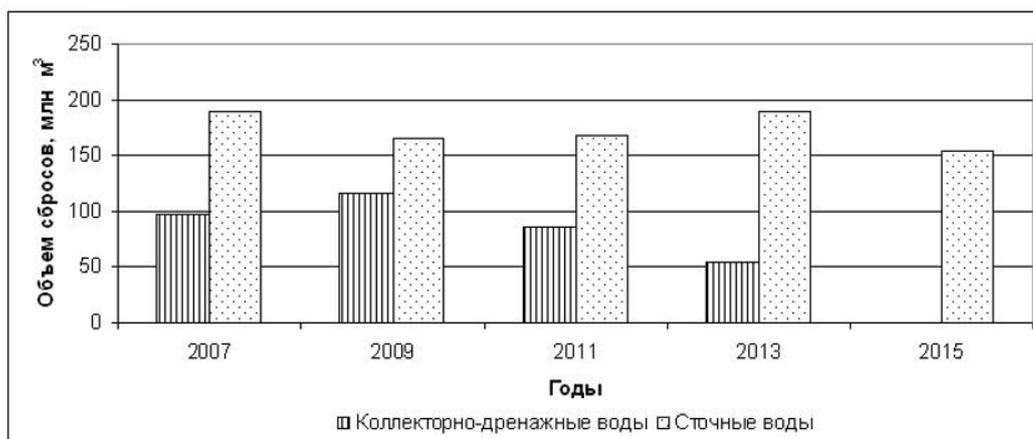


Рисунок 1 – Динамика объемов сброса воды по основным категориям

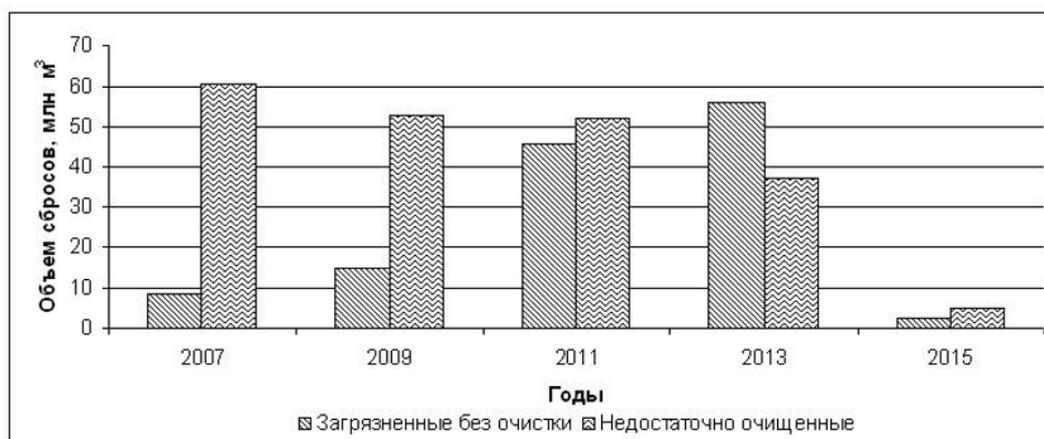


Рисунок 2 – Динамика сброса загрязненных вод в природные водные объекты Республики Крым

Как уже было отмечено выше, одной из причин ухудшения экологического состояния водных объектов Крыма является сброс неочищенных коллекторно-дренажных вод. Данная ситуация была характерна для интенсивного ведения орошения на территории региона. Ниже на рисунке 3 приведено распределение осредненных показателей сбросов коллекторно-дренажных вод за период 2010–2013 гг. по административным единицам, а на рисунке 4 – объемов сброшенных загрязненных вод данной категории.

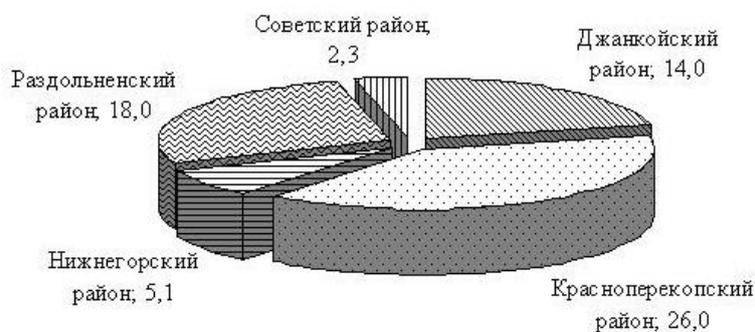
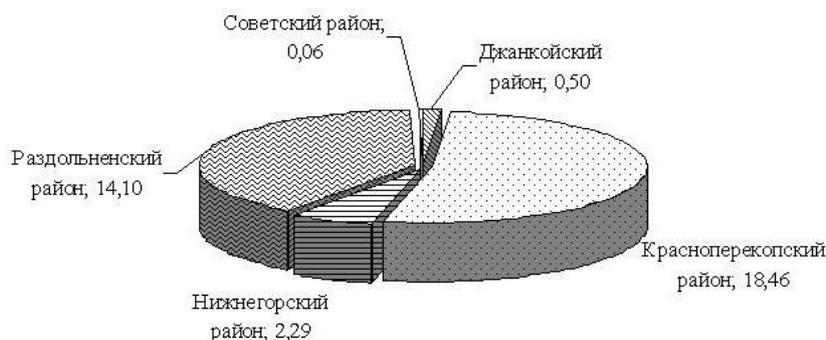


Рисунок 3 – Распределение осредненного показателя «общий сброс коллекторно-дренажных вод» по административным единицам (в млн м³)



**Рисунок 4 – Распределение осредненных объемов сброшенных загрязненных коллекторно-дренажных вод по административным единицам (в млн м<sup>3</sup>)**

Из анализа данных рисунков 3, 4 наглядно видно, что основной объем сброса загрязненных коллекторно-дренажных вод приходится на Раздольненский и Красноперекопский районы (14,1 и 18,46 млн м<sup>3</sup> соответственно). Таким образом, прекращение интенсивного ведения орошения в степной зоне Крыма привело к уменьшению объемов загрязненных вод, сбрасываемых без очистки, примерно на 35 млн м<sup>3</sup>.

В настоящее время основными причинами ухудшения экологического состояния водных объектов в Республике Крым являются недостаточно очищенные или неочищенные сточные воды, сбрасываемые в природные водоприемники. Хотелось бы подчеркнуть, что, несмотря на плохое техническое состояние ряда канализационных очистных сооружений Республики Крым, только по некоторым в 2016 г. было зафиксировано превышение нормативных сбросов, установленных для этих объектов (таблицы 2 и 3).

**Таблица 2 – Концентрация загрязняющих веществ, сбрасываемых с КОС г. Керчи, Судак, Феодосии, Симферополя во 2-м квартале 2016 г.**

В мг/дм<sup>3</sup>

| Загрязняющее вещество | г. Керчь              |             | г. Судак              |              | г. Феодосия           |             | г. Симферополь        |             |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
|                       | нормативно допустимая | фактическая | нормативно допустимая | фактическая  | нормативно допустимая | фактическая | нормативно допустимая | фактическая |
| Взвешенные вещества   | 15                    | 14,65       | 15                    | <b>27,93</b> | 15                    | 13,7        | 15                    | 13,03       |
| Азот аммонийный       | 6,767                 | 4,47        | 7,78                  | 6,01         | 4,74                  | <b>5,27</b> | 4,05                  | 2,52        |
| Нитриты               | 7,773                 | 2,94        | 1                     | 0,1          | 1,7                   | 0,32        | 1,65                  | 0,51        |
| Нитраты               | 84,792                | 83,9        | 79,71                 | 32,62        | 37,94                 | 0,61        | 62,5                  | 53,12       |
| Сульфаты              | 478,54                | 367,72      | 240                   | 75,38        | 370,28                | 303,2       | 135,25                | 59,87       |
| Хлориды               | 471,38                | 335,35      | 240                   | 153,62       | 238,83                | 148,8       | 121,5                 | 77,36       |
| Фосфаты               | 12,88                 | 12,61       | 11,5                  | 3,8          | 7,27                  | 7,2         | 5,9                   | 4,81        |
| Нефтепродукты         | 0,104                 | 0,09        | 0,075                 | <b>0,18</b>  | 0,12                  | 0           | 0,55                  | 0,07        |
| АПАВ                  | 0,13                  | 0,124       | 0,3                   | 0,17         | 0,23                  | 0,17        | 0,255                 | 0,16        |
| Минерализация         | 1915,83               | 1729        | 1000                  | 769          | 1288,67               | 802         | 750                   | 471         |
| БПКполн               | 19,95                 | 19,7        | 19,95                 | 0,019        | 19,95                 | 19,7        | 19,95                 | 17,56       |

**Таблица 3 – Концентрация загрязняющих веществ, сбрасываемых с КОС**  
**г. Алушты, Бахчисарая, Белогорска, Евпатории во 2-м квартале 2016 г.**  
 В мг/дм<sup>3</sup>

| Загрязняющее вещество | г. Алушта             |             | г. Бахчисарай         |             | г. Белогорск          |             | г. Евпатория          |                |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|----------------|
|                       | нормативно допустимая | фактическая    |
| Взвешенные вещества   | 15,0                  | 14,9        | 15                    | 12,3        | 15                    | 12,2        | 15                    | 12,05          |
| Азот аммонийный       | 7,8                   | 7,5         | 7,38                  | 1,01        | 7,57                  | 3,6         | 7,78                  | 1,73           |
| Нитриты               | 1,0                   | 1,0         | 1,5                   | 0,4         | 2,14                  | 0,57        | 1                     | 0,533          |
| Нитраты               | 79,7                  | 20,0        | 110                   | 109,6       | 38,54                 | 24,38       | 79,71                 | 59,1           |
| Сульфаты              | 240,0                 | 113,6       | 104,6                 | 99,2        | 146,3                 | 66,3        | 240                   | <b>693,2</b>   |
| Хлориды               | 240,0                 | 94,5        | 154,6                 | 121,2       | 196,17                | 64,8        | 240                   | <b>1440</b>    |
| Фосфаты               | 11,5                  | 8,5         | 8,3                   | 8,1         | 4,82                  | 3,4         | 11,5                  | 5,23           |
| Нефтепродукты         | 0,1                   | 0,1         | 0,057                 | 0,03        | 0,36                  | 0,03        | 0,075                 | 0,064          |
| АПАВ                  | 0,3                   | 0,3         | 0,1                   | 0,06        | 0,6                   | 0,11        | 0,3                   | 0,049          |
| Минерализация         | 1000,0                | 837,7       | 900                   | 884,4       | 856,3                 | 468,5       | 1000                  | <b>3887,33</b> |
| БПКполн               | 20,0                  | 19,9        | 15                    | 9,1         | 15                    | 14,2        | 19,95                 | 14,16          |

Из анализа данных таблиц 2, 3 видно, что нарушения были зафиксированы по КОС г. Судака, Феодосии, Евпатории. Следует отметить, что эти КОС сбрасывают очищенные стоки в Черное море, на которое, исходя из анализа статистической информации за 2016 г., приходится наибольший объем сбрасываемых загрязненных вод (около 5 млн м<sup>3</sup>).

Кроме рассмотренных выше существует еще целый ряд причин, которые могут привести к ухудшению экологического состояния водных объектов. Сюда можно отнести:

- недостаточное обустройство территории Крымского региона системами водоотведения;
- несанкционированные сбросы в водные объекты;
- отсутствие или плохое техническое состояние ливневой канализации;
- замусоривание прибрежной зоны и т. п.

При организации и ведении рационального водопользования необходимо учесть эти факторы, так как в ряде случаев они могут привести к существенному ухудшению экологической обстановки на водных объектах. Подтверждением этому могут выступить довольно интересные результаты, описанные в статьях Н. М. Иванютина, С. В. Подовой (2018) [7], Н. Е. Волковой, Р. Ю. Захарова (2017) [8]. В этих работах довольно подробно описано существенное изменение качества воды в двух притоках р. Салгир (Славянка и Малый Салгир) на территории г. Симферополя, причем, согласно статистическим данным, на обследованных участках нет точек сброса сточных вод.

Таким образом, по результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- оценка динамики сбросов загрязняющих веществ позволит воссоздать целостную картину; определить водные объекты, по которым необходимо разработать перечень мероприятий, направленных на улучшение текущей экологической обстановки;

определились с необходимостью изменений в организационном механизме управления водопользованием, механизме ценообразования в сфере услуг по подаче и водоотведению и т. п.;

- объем загрязненных вод, сбрасываемых в природные водные объекты Республики Крым, в последние четыре года (2014–2017 гг.) резко сократился;

- прекращение интенсивного ведения орошения в степной зоне Крыма привело к уменьшению объемов загрязненных коллекторно-дренажных вод, сбрасываемых без очистки, примерно на 35 млн м<sup>3</sup>;

- при разработке мероприятий, направленных на улучшение технического состояния КОС, необходимо начать с КОС г. Судака, Феодосии, Евпатории, так как именно по этим объектам были зафиксированы превышения предельно допустимых сбросов;

- при организации и ведении рационального водопользования необходимо учесть такие факторы, как недостаточное обустройство территории Крымского региона системами водоотведения, несанкционированные сбросы в водные объекты, отсутствие или плохое техническое состояние ливневой канализации, замусоривание прибрежной зоны, потому что в ряде случаев они могут привести к существенному ухудшению экологической обстановки на водных объектах.

#### Список использованных источников

1 Индикаторы устойчивого развития системы управления водопользованием / Ю. Б. Мерзликина, Е. Г. Демлер, К. В. Крутикова, Е. А. Поздина // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2009. – № 1. – С. 15–30.

2 Тарасова, М. Ю. Экоиндикаторы эффективности управления водными ресурсами / М. Ю. Тарасова // Экономика промышленности. – 2012. – № 1–2(57–58). – С. 289–301.

3 Фомина, В. Ф. Эффективность использования водных ресурсов в регионах Северо-Западного федерального округа в свете водной стратегии / В. Ф. Фомина // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2010. – № 3(11). – С. 75–89.

4 Соловьева, С. В. Разработка системы индикаторов устойчивого водопользования в России / С. В. Соловьева // Чистая вода: проблемы и решения. – 2011. – № 1–2. – С. 87–97.

5 Маценко, А. М. Социо-эколого-экономические индикаторы устойчивого водопользования / А. М. Маценко, Е. И. Маценко, С. А. Кальченко // Механизм регулирования экономики. – 2016. – № 3(73). – С. 19–30.

6 Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=128717>, 2018.

7 Иванютин, Н. М. Результаты комплексного экологического мониторинга реки Славянки / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 34–42.

8 Волкова, Н. Е. Особенности водохозяйственной экосистемы реки Малый Салгир / Н. Е. Волкова, Р. Ю. Захаров // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 11–17.

## ОСОБОЕ МНЕНИЕ

УДК 573.22:581.1

**М. В. Власенко**

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация

**Е. В. Полухина**

Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, Солёное Займище, Российская Федерация

### КОНЦЕПЦИЯ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА Х. Г. ТООМИНГА

*В разработке принципов моделирования продуктивности фитоценоза важное место занимает концепция продукционного процесса растительного покрова и формирования фитомассы, которую сформулировал Х. Г. Тооминг. Концепцией определено влияние важных параметров растений на максимизацию продуктивности и увеличение урожая, сформулирован ряд общих положений на основе установленной количественной взаимосвязи. Целью исследований являлось рассмотрение некоторых моментов продукционного процесса растений данной концепции. Рассмотрены вопросы основных физиологических процессов фотосинтеза и дыхания листьев растений, их связь с адаптивными признаками, зависимость роста и формирования урожая растений от ряда факторов (водного и радиационного режимов). С помощью модели Х. Г. Тооминга можно понять и обобщить данные о влиянии ряда факторов на урожай и адаптационный механизм растений с учетом закономерностей распределения лимитированных ресурсов среды, за усвоение которых возникает конкуренция (вода, радиация, элементы минерального питания).*

*Ключевые слова: фитоценоз, фотосинтез, дыхание, рост, адаптация.*

\*\*\*\*\*

**M. V. Vlasenko**

Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

**E. V. Polukhina**

Near-Caspian Scientific Research Institute of Arid Agriculture, Solenoe Zaymische, Russian Federation

### THE X. G. TOOMING PRODUCTION PROCESS CONCEPT

*The concept of production process of vegetation cover and the formation of phytomass formulated by H. G. Tooming occupies an important place in the development of phytocenosis productivity modeling principles. The influence of important plant parameters on maximizing productivity and increasing yield was defined by the concept, a number of general provisions on the basis of the established quantitative relationship were determined. The purpose of the research was to consider some aspects of the plant's production process of this concept. The main physiological processes of photosynthesis and respiration of plant leaves, their relation to adaptive features, the dependence of growth and the formation of crop yields on a number of factors (water and radiation regimes) are considered. With the help of the X. G. Tooming model it is possible to understand and generalize data on the influence of a number of factors on the crop and the adaptive mechanism of plants, taking into account the regularities in the distribution of limited resources of the environment, for the assimilation of which competition arises (water, radiation, elements of mineral nutrition).*

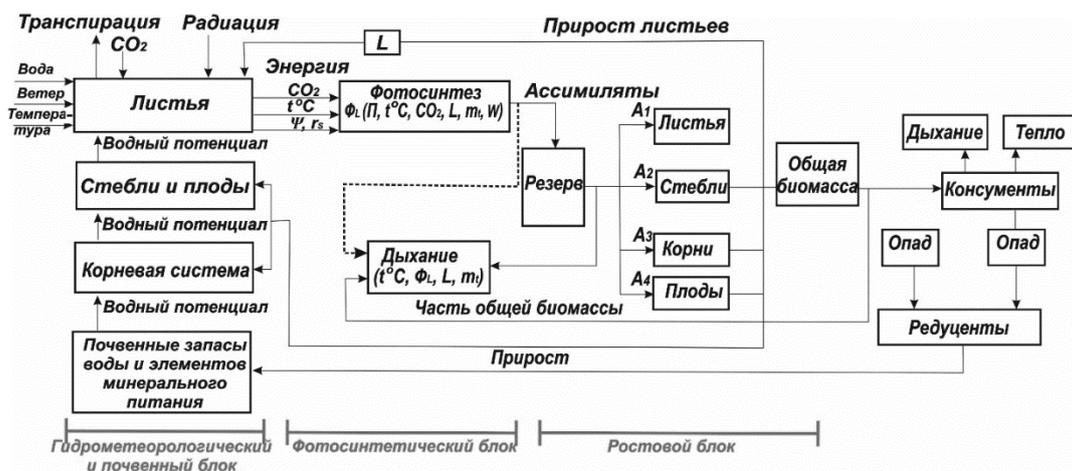
*Key words: phytocenosis, photosynthesis, breath, growth, adaptation.*

**Введение.** В течение продолжительного периода наука исследовала части биологических систем, не рассматривая их как единый действующий организм. Со временем знания, накапливаемые в процессе изучения структур и функционирования фитоценоза, систематизировались и объединялись, формировались критерии соподчиненности. Построение моделей в этой области открывает путь к соединению знаний о продукционном процессе в единую модель, чтобы понять, как функционирует сообщество в единой системе.

Создание теории совместного роста растений в основном необходимо для формирования научных основ эксплуатации сложных фитоценозов (леса, пастбища, лесопастбища и др.) с целью сохранения максимальной продуктивности. Модели фитоценоза позволяют объединить знания из различных областей науки (геоботаники, биофизики, метеорологии и др.) в единое целое, что дает возможность проследить развитие фитоценозов в динамике и выявить его закономерности [1–3].

**Материалы и методы.** В основе построения моделей лежат некоторые подмножества экспериментальных данных, предназначенных для их построения и идентификации. Х. Г. Тооминг математически сформулировал концепцию продукционного процесса фитоценоза, качественно и количественно охватив сущность процессов, влияющих на формирование урожая, в т. ч. закономерности роста растений в сообществах в зависимости от условий внешней среды и трансформацию условий среды под влиянием растительности. Знание зависимости всех фундаментальных продукционных процессов от факторов внешней среды и от внутренних биологических, видовых и адаптивных особенностей растений во взаимосвязи и в динамике онтогенеза является необходимым условием для создания математической модели продукционного процесса [4–8].

**Результаты и обсуждение.** Динамическая модель продукционного процесса Х. Г. Тооминга состоит из трех блоков (рисунок 1). *Гидрометеорологический и почвенный блок* рассматривает урожай или продуктивность фитоценоза. Они рассчитываются по площади листьев и стеблей фитоценоза по ярусам, параметрам геометрической структуры фитоценоза с учетом условий внешней среды, вертикального профиля радиации, температуры, влажности и ветра внутри фитоценоза, водного потенциала растений и пр. *Фотосинтетический блок* охватывает расчет фотосинтеза, дыхания и транспирации за короткий период времени. *Ростовой блок* содержит расчет прироста отдельных органов и урожая.



$L$  – относительная площадь листьев в слое выше данного уровня ( $m^2/m^2$ );  $\Psi$  – показатель водного потенциала листа;  $m_l$  – удельная поверхностная плотность листьев ( $г/дм^2$ );  $P$  – поглощенная листом ФАР ( $кал/(см^2 \cdot мин)$ );  $\Phi_L$  – интенсивность фотосинтеза ( $мг CO_2/(дм^2 \cdot ч)$ );  $t^{\circ}C$  – температура листа;  $CO_2$  – концентрация углекислого газа в воздухе, окружающем лист;  $W$  – глубина, отсчитываемая от верхней границы фитоценоза;  $A_1, A_2, A_3, A_4$  – функция роста 1–4-го органа растения;  $r_s$  – сопротивление устьиц ( $с \cdot см^{-1}$ )

**Рисунок 1 – Модель продукционного процесса Х. Г. Тооминга [8]**

Основой формирования растительного сообщества является продукционный процесс растений. При расчете прироста фитомассы отдельных популяций по органам необходимо решать систему уравнений роста для каждого момента времени. *Гидрометеорологический блок* при этом предполагает, что среда для разных популяций трансформируется соседними популяциями. Необходимо учитывать закономерности распределения лимитированных ресурсов среды, за усвоение которых возникает конкуренция (вода, радиация, элементы минерального питания). Большие контрасты в границах фитоценоза отмечаются в количестве фотосинтетически активной радиации (ФАР). Построение модели сложного сообщества предполагает изучение ассимилирующей площади и фитомассы модельных растений, для того чтобы на базе полученных результатов расчетным путем реконструировать распределение факторов внешней среды. *Фотосинтетический блок* учитывает, как условия внешней среды соответствуют индивидуальным потребностям видов, а также проходит ли популяция видов в фитоценозе все этапы роста и развития. При этом учитываются индивидуальные оптимумы параметров фотосинтеза и дыхания отдельных видов и диапазоны адаптации видов в среде.

Рассмотрим подробнее некоторые позиции. Продукционный процесс представляется фундаментальными физиологическими процессами: фотосинтезом, дыханием и ростом. В процессе фотосинтеза под воздействием солнечной радиации растения создают органическое вещество. На скорость фотосинтеза влияет ряд факторов: особенности вида, водный и температурный режимы, интенсивность ФАР, скорость воздушных масс, плодородие почвы и др.

Интенсивность фотосинтеза в листьях многих видов в условиях сильного освещения линейно зависит от концентрации  $\text{CO}_2$  в воздухе (естественные концентрации  $\text{CO}_2$  – 0,03 %) и лимитируется им. Углекислый газ распространяется из воздуха через устьица в межклеточное пространство, растворяется в воде, содержащейся в клетках, проникает к хлоропластам, где вступает в реакцию карбоксилирования. На пути  $\text{CO}_2$  из внешней среды к хлоропластам имеются диффузионные сопротивления. Интенсивность фотосинтеза определяется суммой всех диффузионных сопротивлений (воздуха, устьиц, мезофилла) и карбоксилирования. Функция фотосинтеза моделируется Х. Г. Тоомингом по аналогии с законом Ома (сила тока равна отношению разности потенциалов к сопротивлению) и выражается в виде:

$$\Phi_L = \frac{C_0 - C_{c1}}{r_a + r_s + r_m},$$

где  $\Phi_L$  – интенсивность фотосинтеза в листе ( $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$ );

$C_0$  – концентрация  $\text{CO}_2$  во внешнем воздухе ( $\text{ppm} = \text{мг/м}^3$ );

$C_{c1}$  – концентрация  $\text{CO}_2$  у хлоропластов ( $\text{ppm} = \text{мг/м}^3$ );

$r_a$  – сопротивление воздуха у поверхности листа (зависит от размеров и формы листа, характера его поверхности, скорости ветра) ( $\text{с} \cdot \text{см}^{-1}$ );

$r_s$  – сопротивление устьиц (зависит от числа и размеров устьиц, интенсивности ФАР, концентрации  $\text{CO}_2$ , водного дефицита и температуры листьев, скорости ветра, влажности воздуха, водного режима почвы, содержания минеральных веществ в почве) ( $\text{с} \cdot \text{см}^{-1}$ );

$r_m$  – диффузионное сопротивление мезофилла (определяется строением листа, не зависит от дефицита воды до наступления влажности увядания) ( $\text{с} \cdot \text{см}^{-1}$ ).

У дикорастущих растений минимальные значения суммарного сопротивления диффузии больше, чем у культурных. Самые большие сопротивления диффузии наблюдаются у растений, произрастающих под влиянием лесных насаждений. Если диффузионные процессы для фотосинтеза лимитирующие, то  $C_{c1} \rightarrow 0$  и выражение для интенсивности фотосинтеза при насыщающейся ФАР:

$$\Phi_{\max} = \frac{C_0}{r_a + r_s + r_m + r_c}.$$

где  $\Phi_{\max}$  – интенсивность фотосинтеза при световом насыщении, или максимальная интенсивность фотосинтеза (мг  $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$ );

$r_c$  – химическое сопротивление (зависит от вида растений и интенсивности ФАР) ( $\text{с} \cdot \text{см}^{-1}$ ).

Следует отметить, что  $r_c > r_m$ .

Одновременно с процессом фотосинтеза наблюдается транспирация, которая регулирует тепловой режим и выполняет функции снабжения растения водой, элементами минерального питания.

Чем выше фотосинтетическая активность растений, тем больше дыхание листьев. Процесс дыхания отвечает за снабжение энергией биохимических процессов синтеза, связанных с ростом, транспортом веществ, построением структурных элементов, поддерживает живые структуры органов растений. При этом затрачивается накопленное в органах растений органическое вещество. Функции фотосинтеза и дыхания являются основными. От них зависит обеспеченность энергией структурной организации организма всех функций жизнедеятельности, в т. ч. способность дать потомство.

Растения накапливают во всех органах резервы, но подвижные ассимиляты находятся в листьях и стеблях, а запасенные на длительный период вещества накапливаются в корнях и используются только при наступлении особых условий. В оптимальных условиях фазовый сдвиг между созданием ассимилятов и их использованием на рост – несколько часов. У многолетних растений выявлены большие сдвиги фаз между созданием и использованием ассимилятов.

Биомасса растения возрастает в результате прироста отдельных органов и увеличения площади листьев. Рост вегетативных и репродуктивных органов растений разных видов происходит в определенном ритме. За вегетацию растения стремятся совершить все этапы онтогенеза. Функции роста часто варьируют в результате фотоморфогенетических процессов. Часть фитомассы со временем стареет и опадает, превращаясь в опад.

Рост и развитие растений зависят от ряда факторов, лимитирующих процессы их жизнедеятельности и влияющих на урожайность. Важной величиной в модели формирования урожая является функция фотосинтеза листа растения, которая выражает зависимость интенсивности фотосинтеза от определяющих ее факторов:

$$\Phi_L = f(\Pi, \text{CO}_2, t, \psi, m_{\text{N,P,K}}),$$

где  $\Phi_L$  – интенсивность фотосинтеза (мг  $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$ );

$f$  – функция поглощенной листом ФАР ( $\Pi$ ), концентрации углекислого газа в воздухе, окружающем лист ( $\text{CO}_2$ ), температуры листа ( $t$ ), водного потенциала листа ( $\psi$ ), удельного содержания в листьях азота, фосфора и калия ( $m_{\text{N,P,K}}$ ) за период вегетации.

Большое влияние на жизнедеятельность растительности оказывает радиационный режим. Радиация является источником энергии для формирования водно-теплового режима растений, фотосинтеза, его фотоморфогенетическим регулятором, влияет на рост отдельных органов растения и формирование урожая.

Еще один важный фактор – оптимальность водного режима. С уменьшением почвенного влагозапаса происходит уменьшение водного потенциала листьев, увеличивается устьичное сопротивление диффузии  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , вследствие чего снижается интенсивность фотосинтеза, транспирации и скорость роста.

Так как взаимосвязь между приростом фитомассы и транспирацией физиологически обоснована, функцию снижения урожая из-за водного дефицита можно представить в виде [8]:

$$F_1 = E / E_0,$$

где  $F_1$  – функция снижения урожая из-за водного дефицита, или коэффициент почвенно-атмосферного увлажнения;

$E$  – суммарное испарение растительностью (мм), которое находится как:

$$E = W_H - W_K + x,$$

где  $W_H$  – весенние запасы влаги в почве (мм);

$W_K$  – конечные запасы влаги в почве (мм);

$x$  – количество осадков (мм);

$E_0$  – испаряемость растительностью (мм):

$$E_0 = 0,63 \frac{\sum R}{L},$$

где  $\sum R$  – радиационный баланс (ккал/см<sup>2</sup>);

$L$  – скрытая теплота испарения воды (ккал/г).

Недополучаемый из-за водного дефицита  $\Delta E = E_0 - E$  урожай находится по формуле:

$$\Delta Y = Y_{\text{пот}} \left( 1 - \frac{E}{E_0} \right),$$

где  $\Delta Y$  – недополучаемый урожай;

$Y_{\text{пот}}$  – потенциальный урожай.

Водный режим считается оптимальным при  $E = E_0$ . При  $E < E_0$  урожай лимитируется водным дефицитом. Потери урожая из-за водного дефицита увеличиваются при повышении потенциального урожая и КПД фитоценоза. Потенциальный урожай (г/см<sup>2</sup>), в свою очередь, подразумевает урожай, который обеспечивается приходом ФАР при оптимальном режиме метеорологических факторов в течение вегетации, и рассчитывается следующим образом:

$$Y_{\text{пот}} = \int_0^{\tau_0} \frac{\eta_{\text{пот}}(t)}{q(t)} Q_{\Phi}(t) dt,$$

где  $Y_{\text{пот}}$  – потенциальный урожай (г/см<sup>2</sup>);

$\tau_0$  – продолжительность вегетационного периода (дни);

$\eta_{\text{пот}}(t)$  – коэффициент использования поглощенной ФАР для фотосинтеза (КПД фотосинтеза  $\eta$ ) в течение вегетации (%):

$$\eta_{\text{пот}}(t) = P \cdot 2,54 / Q \cdot b \cdot S,$$

где  $P$  – интенсивность фотосинтеза (мг СО<sub>2</sub>/г·день);

2,54 – коэффициент перехода от единиц массы поглощенной СО<sub>2</sub> к калориям;

$Q$  – ФАР, падающая на исследуемый объект (кал/(см<sup>2</sup>·день));

$b$  – коэффициент поглощения ФАР объектом;

$S$  – площадь горизонтальной проекции облиственного побега (см<sup>2</sup>/г);

$q(t)$  – калорийность растений (ккал/г);

$Q_{\Phi}(t)$  – дневные суммы ФАР в течение вегетации (ккал/см<sup>2</sup>).

В конкурентных условиях высокопродуктивные виды обладают большим преимуществом для интенсивного роста, развития и выживания перед менее продуктивными. Оптимальными являются такие растительные структуры, которые при равных условиях обеспечивают более высокую продуктивность.

Адаптационной реакцией растения на экстремальные условия среды является

увеличение его калорийности, которая также меняется в течение года, в онтогенезе и в разных органах не одинаково. Адаптация вида и сообщества в целом направлена на достижение максимальной продуктивности в данных условиях среды и действует главным образом в период вегетативного роста растений. Приспосабливаясь к условиям среды, растительность обеспечивает максимальный в данных условиях газообмена  $\text{CO}_2$  прирост сухого вещества, что создает наибольший для данных условий среды урожай репродуктивных органов.

Х. Г. Тооминг математически сформулировал эти положения:

$$F_c(L_0) = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{L_0} [\Phi_S(L, t) - R_S(L, t)] dL dt,$$

где  $L_0$  – индекс листовой поверхности фитоценоза ( $\text{м}^2/\text{м}^2$ );

$\Phi_S(L, t)$  – интенсивность фотосинтеза горизонтального слоя фитоценоза с единичной толщиной в момент времени  $t$  ( $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{день})$ );

$R_S(L, t)$  – интенсивность дыхания горизонтального слоя фитоценоза с единичной толщиной в момент времени  $t$  ( $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$ ).

Предположение о максимальной продуктивности дает возможность для учета адаптивного характера продукционного процесса в моделях. Предполагается, что функции фотосинтеза и дыхания оптимальны при параметрах, обеспечивающих максимальные газообмен  $\text{CO}_2$  и продуктивность растений в определенных условиях среды. Задача моделирования в таком случае сводится к нахождению параметров функций фотосинтеза и дыхания, при которых газообмен при заданных функциях среды является максимальным. Однако условия среды могут изменяться быстрее оптимизирующего воздействия естественного отбора. Максимальная продуктивность растений в связи с этим достигается при оптимальном (ниже максимального) значении КПД [8].

Одним из показателей, характеризующих продукционный процесс растений, является чистая продуктивность фотосинтеза – количество сухого вещества ( $\text{г}$ ), накопленного  $1 \text{ м}^2$  листовой поверхности за 1 сут. Чистая продуктивность фотосинтеза рассчитывается следующим образом:

$$E = \frac{M_2 - M_1}{\frac{L_{01} + L_{02}}{2} (t_2 - t_1)},$$

где  $E$  – чистая продуктивность фотосинтеза ( $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ );

$M_2$  – сухая фитомасса растения в момент времени  $t_2$  ( $\text{г}$ );

$M_1$  – сухая фитомасса растения в момент времени  $t_1$  ( $\text{г}$ );

$L_{01}$  – суммарная площадь листьев в момент времени  $t_1$  ( $\text{м}^2$ );

$L_{02}$  – суммарная площадь листьев в момент времени  $t_2$  ( $\text{м}^2$ );

$t_2 - t_1$  – интервал времени (дни).

Чистая продуктивность может меняться при постоянном уровне фотосинтеза и зависит от дыхания растений. Она меняется также при стабильном фотосинтезе и дыхании на единицу поверхности растения, но при изменяющемся при этом отношении фитомассы к листовой поверхности растений. При фотосинтезе в стеблях растений чистая продуктивность, рассчитанная как прирост сухой фитомассы растения на единицу листовой поверхности, будет завышена.

**Заключение.** Концепция максимальной продуктивности Х. Г. Тооминга состоит в качественном и количественном охвате сущности самых важных процессов, влияющих на формирование урожая, и позволяет понять и объяснить закономерности их функционирования. Вопросы изучения механизмов основных физиологических процессов расте-

ний (фотосинтеза, дыхания, роста), а также вопросы адаптации вида и сообщества позволяют моделировать продукционный процесс естественных фитоценозов.

#### **Список использованных источников**

1 Турко, С. Ю. Имитационное моделирование функционирования системы «пастбище – животное» / С. Ю. Турко, М. В. Власенко, В. И. Петров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 3(43). – С. 101–108.

2 Турко, С. Ю. Математическое описание процессов роста и урожайности кормовых культур в аридных условиях / С. Ю. Турко, М. В. Власенко, А. К. Кулик // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2(38). – С. 18–22.

3 Кулик, А. К. Моделирование формирования урожая озимой пшеницы на гидрологическом комплексе / А. К. Кулик // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 6. – С. 29–32.

4 Duncan, W. G. Model building in photosynthesis / W. G. Duncan // Harvesting the Sun. – N. Y.: Acad. Press, 1967. – P. 309–314.

5 Ничипорович, А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев / А. А. Ничипорович. – М.: АН СССР, 1956. – 94 с. – (Тимирязевские чтения / Акад. наук СССР. Ин-т физиологии растений им. К. А. Тимирязева; 15).

6 Моделирование продукционного процесса растительного покрова / А. Лайск [и др.] // Ботанический журнал. – 1971. – № 6. – С. 761–776.

7 Сиротенко, О. Д. Предпосылки построения комплексной динамической модели «погода – урожай» / О. Д. Сиротенко // Математические методы в агрометеорологии. – 1973. – № 3(40). – С. 18–31.

8 Тооминг, Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х. Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.