

ISSN 2313-2248

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Научно-практический журнал

Выпуск № 2(62)/2016

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(62)/2016

Апрель – июнь 2016 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Заместитель главного редактора – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Г. Т. Балакай

Ответственный секретарь – Е. А. Бабичева

Редакторы: доктор технических наук, доцент С. М. Васильев; кандидат технических наук Г. А. Сенчуков; кандидат технических наук А. А. Чураев; чл.-кор. РАН, доктор технических наук, профессор В. И. Ольгаренко; кандидат сельскохозяйственных наук А. Н. Бабичев; кандидат технических наук Д. В. Бакланова; кандидат сельскохозяйственных наук Н. И. Балакай; кандидат сельскохозяйственных наук С. Г. Балакай; кандидат физико-математических наук М. В. Власов; кандидат сельскохозяйственных наук Л. А. Воеводина; кандидат сельскохозяйственных наук Л. М. Докучаева; кандидат технических наук Ю. Е. Домашенко; кандидат технических наук А. С. Капустян; кандидат технических наук А. Л. Кожанов; кандидат технических наук, доцент Г. Л. Лобанов; кандидат сельскохозяйственных наук С. А. Селицкий; кандидат технических наук В. В. Слабунов; доктор сельскохозяйственных наук Ю. Ф. Снопич; кандидат технических наук А. И. Тищенко; кандидат технических наук А. С. Штанько; кандидат сельскохозяйственных наук Р. Е. Юркова

Технический редактор – Е. А. Бабичева

Литературный редактор – Л. В. Мельникова

Выпускающий – Л. И. Юрина

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

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

Подписано в печать 08.06.2016. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 22,79. Тираж 500 экз. Заказ № 47.

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



Дата выхода в свет 30.06.2016
Свободная цена

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «Прецизионное орошение как элемент оросительных систем нового поколения»

Бородычев В. В., Мартынова А. А., Дусарь С. А. Научное обоснование технологии орошения моркови стационарными дождевальными системами спринклерного типа.....	5
Лобанов Г. Л., Юченко Л. В., Завалюев В. Э. Прецизионные способы внесения удобрений, обработки от вредителей и болезней при поливе сельскохозяйственных культур.....	9
Кожанов А. Л. Применение закрытой безнапорной оросительной сети в энергоэффективных оросительных системах.....	16
Шепелев А. Е. Агротехнические показатели дождя поливной техники.....	20
Алиферов А. В. Оценка экологической безопасности в зонах влияния водохозяйственных объектов.....	23
Вайнберг М. В. Водоучет на открытых каналах оросительных систем.....	27
Нитетина К. В. Конвергентные технологии в использовании водных ресурсов в сельскохозяйственном производстве.....	31
Чембарисов Э. И., Махмудов И. Э., Лесник Т. Ю., Вахидов Ю. С., Долидудко А. И. Минерализация и гидрохимический режим вод среднего течения реки Сырдарья.....	35
Школьная В. М., Завалюев В. Э. К вопросу автоматизации водораспределения на участке канала с применением SCADA-систем.....	43
Бородычев В. В., Головинов Е. Э., Лытов М. Н. Аппаратное обеспечение мониторинга работы дождевальной техники на основе технологий глобального спутникового позиционирования.....	48
Рыжаков А. Н. Рекомендации по локализации зон увлажнения яблоневых насаждений.....	52
Умурзаков У. П., Хамидов М. Х., Бараев Ф. А., Шеров А. Г., Ибрагимов А., Худойназаров Ж. Нетрадиционные технологии диверсификации сельскохозяйственных культур в орошаемом земледелии Узбекистана.....	57
Балакай Н. И. Функциональное назначение защитных лесных насаждений, их размещение и конструкции.....	63
Рыжаков А. Н. К вопросу о надежности и безопасности систем капельного орошения.....	69
Чураев А. А., Юченко Л. В. Прецизионное орошение и современные средства для его реализации.....	75
Умурзаков У. П., Хамидов М. Х., Шеров А. Г., Бараев Ф. А., Уринбаев С. Новый водомерный прибор с ультразвуковым датчиком на базе водослива Чиполетти.....	80
Бабичев А. Н., Мартынов Д. В. Современное состояние и перспективы развития овощеводства в России.....	85
Гуломов С. Б., Саримсаков М., Бараев Ф. А., Убайдиллаев А. Н., Гадаев Н. Н. О модульной автономной капельной системе орошения.....	90

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «Повышение надежности противofильтрационных облицовок каналов и безопасности низконапорных гидротехнических сооружений»

Косиченко Ю. М. Исследования надежности и безопасности низконапорных гидротехнических сооружений и противofильтрационных облицовок каналов.....	95
Орлова С. С. Анализ причин аварий и повреждений водоподпорных сооружений.....	104

Гловацкий О. Я., Насырова Н. Р., Эргашев Р. Р. Оценки безопасности и повышение надежности эксплуатации гидротехнического узла крупных насосных станций.....	108
Кореновский А. М., Бакланова Д. В. Оценка риска аварии гидротехнических сооружений Тайганского водохранилища в Республике Крым.....	113
Гарбуз А. Ю. К вопросу гидроизоляции трещин длительно работающих облицованных каналов.....	119
Баев О. А., Яковлев В. А. Гарантированная противодиффузионная защита и опыт применения отечественных геокомпозитов в России.....	125
Тищенко А. И., Михайлов Е. Д. Расчет прочности крепления и устойчивости основных конструктивных элементов резервного водосброса.....	130
Палуанов Д. Т. Разработка критериев безопасности основания низконапорных гидротехнических сооружений.....	135
Тищенко А. И., Михайлов Е. Д. Результаты исследований транспортирующей способности потока при размыве песчаной вставки резервного водосброса.....	140

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Макарова Н. М. Экологические проблемы в системе управления плодородием почв в агроландшафтах.....	150
Воеводина Л. А. Показатель почвенного дыхания для оценки качества орошаемых почв.....	153
Тищенко А. П. Восходящая скорость движения почвенной влаги и высота подъема макрокапиллярной каймы.....	158
Ахатов А., Махкамова Д. А. Химический и минералогический состав орошаемых почв западной части Узбекистана.....	163
Сейтумеров Э. Э. Перспективы использования очищенных канализационных стоков и коллекторно-дренажных вод для орошения на территории Крыма.....	166
Шеримбетов В. Х. Засуха как главный элемент аридизации земель при определении основных индикаторов процессов опустынивания.....	170
Сабитова Н. И., Ахмедов А. У., Рузикулова О. Ш. Системно-структурный анализ и картографирование почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель межгорных долин.....	174

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Лобанов Г. Л. Водозаборный узел для горных и предгорных участков рек.....	181
--	-----

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Кременской В. И., Иванютин Н. М. Перспективы развития плодоводства в Крыму на основе капельного орошения.....	185
--	-----

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

Игнатъев В. М. Математический инструментальный прогнозирования в мелиорации....	190
--	-----

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
**«Прецизионное орошение как элемент
оросительных систем нового поколения»**

УДК 635.132

В. В. Бородычев, А. А. Мартынова, С. А. Дусарь

Волгоградский филиал Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОРОШЕНИЯ
МОРКОВИ СТАЦИОНАРНЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ
СИСТЕМАМИ СПРИНКЛЕРНОГО ТИПА**

Цель исследований состоит в освоении современных высокотехнологичных способов орошения и разработке ресурсосберегающих методов полива столовой моркови, обеспечивающих формирование 70–80 т/га столовых корнеплодов. Концепция исследований заключается в проверке предположения о возможности интенсификации производственного процесса моркови при совокупном регулировании влажности почвы и воздуха за счет проведения регулярных и освежительных поливов стационарными дождевальными системами спринклерного типа. Результаты исследований подтвердили, что проведение вегетационных поливов с поддержанием порога предполивной влажности почвы 80 % НВ в слое 0,3–0,5 м и освежительных поливов при снижении относительной влажности воздуха (ниже 50 %) обеспечивает возможность получения свыше 80 т/га корнеплодов моркови стандартного качества.

Ключевые слова: морковь столовая, технология орошения, стационарные дождевальные системы, продуктивность.

Введение. Динамику производства столовой моркови в России за последние 20 лет нельзя охарактеризовать каким-либо устойчивым трендом развития или регрессии. Данные официальной статистики (рисунок 1) показывают относительно продолжительную тенденцию роста производства моркови с 1993 по 2005 г. включительно, завершившегося довольно резким спадом интереса к этой культуре [1]. В результате, начиная с 2007 г. и по настоящее время объемы производства столовой моркови составляют около 1,5 млн т, незначительно изменяясь по годам с более или менее благоприятными погодными условиями. Спад производства моркови в России, безусловно, можно объяснить сложившейся макроэкономической ситуацией, в которой не последнюю роль играет опережающее по сравнению с Россией развитие технологий в развитых странах дальнего и ближнего зарубежья. Это подтверждается и растущей долей импорта столовой моркови, объемы которого в 1993 г. не превышали 4,4 тыс. т, а в 2013 г. достигли рекордных 258,0 тыс. т, увеличившись более чем в 58 раз [2]. Самым стабильным показателем из приведенных на рисунке 1 графиков оказалась урожайность столовой моркови, которая с 1993 г. практически не изменилась и составляет сегодня 22–24 т/га. Этот уровень является критически низким, определяя высокую себестоимость моркови и не позволяя отечественной продукции эффективно конкурировать с зарубежным импортом.

Еще совсем недавно основную долю импорта моркови в России составляла продукция производства Бельгии (24,5 тыс. т), Нидерландов (19,4 тыс. т), Польши (13,2 тыс. т), других стран Европы (11,0 тыс. т), а также Турции (2,8 тыс. т). Сегодня в связи с введением продовольственного эмбарго [3] ситуация на российском рынке

продуктов питания изменилась в пользу отечественных сельхозтоваропроизводителей, для которых создались реальные условия для ускоренной интенсификации производства моркови и развития отечественных технологий.



Рисунок 1 – Динамика производства и импорта столовой моркови в России

Основные сельскохозяйственные зоны России расположены в регионах со сложными агроклиматическими условиями. Устойчивое производство овощной продукции с достижением целевых индикаторов продуктивности посевов возможно только при орошении [4]. При этом технологии орошения должны быть ориентированы на максимальное ресурсосбережение с целью снижения себестоимости продукции и, как следствие, повышения ее конкурентоспособности [5, 6].

Материалы и методы. Общей целью наших исследований являются освоение современных высокоэффективных способов орошения и разработка ресурсосберегающих технологий полива столовой моркови с целевыми индикаторами уровня продуктивности не ниже 70–80 т/га. Рабочей гипотезой исследований стало предположение о возможности интенсификации производственного процесса моркови при совокупном регулировании влажности почвы и воздуха за счет проведения регулярных и освежительных поливов стационарными дождевальными системами спринклерного типа. Методологическую основу исследований составил метод полевого эксперимента.

Одним из ключевых преимуществ стационарных систем орошения, к которым относятся системы спринклерного типа, является применение гибких подходов к формированию поливного режима. Технологическая реализация проведения частых поливов малыми поливными нормами с возможностью их плавного изменения обеспечивает поддержание практически любого диапазона влажности в слое почвы различной мощности. Это позволяет ориентировать технологии орошения исключительно на биологические потребности орошаемой культуры.

Многие исследователи [7, 8] указывают на целесообразность дифференцирования увлажняемого слоя почвы в период формирования корневой системы растений. Отмечается, что в начальные периоды роста и развития корневая система моркови чрезвычайно слабая, и регулирование водного режима почвы за пределами ее распространения непродуктивно. С другой стороны, важно учитывать тот момент, что геометрические параметры увлажняемой зоны почвы определяют вектор развития корневой системы. Необходимость расчета оптимальных параметров зоны увлажнения почвы при орошении моркови стационарными дождевальными системами спринклерного типа в период активного роста корней обусловило постановку вопросов исследований

в рамках фактора А полевого эксперимента. Варианты в рамках фактора А полевого опыта были впервые заложены в 2015 г. на трех уровнях:

- вариант А1 – поддержание заданного (80 % НВ) порога предполивной влажности почвы в слое 0,2 м до начала фазы образования 2-го настоящего листа с последующим увеличением расчетного слоя до 0,5 м;

- вариант А2 – поддержание заданного (80 % НВ) порога предполивной влажности почвы в слое 0,3 м до начала фазы образования 2-го настоящего листа с последующим увеличением расчетного слоя до 0,5 м;

- вариант А3 – поддержание заданного (80 % НВ) порога предполивной влажности почвы в слое 0,4 м до начала фазы образования 2-го настоящего листа с последующим увеличением расчетного слоя до 0,5 м.

Другой известной производственной проблемой при выращивании столовой моркови в зоне сухих степей Нижневолжского региона является снижение доли выхода товарной продукции вследствие воздушной засухи. Возможность использования спринклерных систем для проведения освежительных поливов позволяет в определенной степени снимать засуху воздуха и температурную напряженность в среде посева. В виду отсутствия научно обоснованных рекомендаций по этой проблематике в регионе, данный вопрос также был включен в исследование в границах реализуемого нами полевого эксперимента. В рамках фактора В полевого опыта (проведение освежительных поливов) были заложены следующие варианты:

- вариант В1 (контроль) – без проведения освежительных поливов;

- вариант В2 – проведение освежительных поливов при снижении относительной влажности воздуха ниже 30 %;

- вариант В3 – проведение освежительных поливов при снижении относительной влажности воздуха ниже 50 %;

- вариант В4 – проведение освежительных поливов при снижении относительной влажности воздуха ниже оптимального уровня (70 %).

Полевой эксперимент по такой программе был заложен на опытном участке, расположенном в границах фермерского хозяйства им. Л. Н. Василенко Городищенского района Волгоградской области. Почвы на опытном участке – светло-каштановые, среднесуглинистые, типичные для региона исследований, их почвенный покров, как правило, слабогумусирован и малоплодороден, что обуславливает необходимость применения минеральных удобрений. Удобрения в опытах вносили дозой $N_{200}P_{130}K_{140}$, рассчитанной на формирование урожайности корнеплодов на уровне 80 т/га.

Погодные условия в период проведения эксперимента были характерны для климата региона. Совокупный объем атмосферных осадков, поступивших за вегетационный период моркови, составил 126 мм, а сумма среднесуточных температур воздуха достигала 2966 °С.

Результаты и обсуждение. Дефицит естественного увлажнения в опытах восполнялся путем проведения регулярных поливов стационарными дождевальными системами спринклерного типа. С этой целью была смонтирована сеть поливных трубопроводов диаметром 75 мм с шагом 12 м, на которых также через каждые 12 м устанавливались дождевальные аппараты спринклерного типа. Рабочий расход одного дождевального аппарата составляет 500 л/ч, что позволяет за 1 ч подавать на 1 га посевной площади не более 35 м³ оросительной воды. Такое низкоинтенсивное дождевание практически исключает развитие процессов ирригационной эрозии и благоприятно отражается на развитии культурных растений, особенно на самых ранних этапах вегетационного периода. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Данные таблицы 1 показывают, что использование спринклерного орошения для полива столовой моркови в зоне сухих степей Нижневолжского региона обеспечивает возможность формирования общей урожайности столовых корнеплодов на уровне

77,4–85,2 т/га, что, безусловно, делает рентабельным применение интенсивных агротехнологий. Вариация общей продуктивности в 2015 г. составила 7,8 т/га, однако в еще большей степени изменялся выход продукции стандартного качества. Государственным стандартом [9] регламентируется учет здоровых, чистых, не увядших, не треснувших, не поврежденных сельскохозяйственными машинами и вредителями корнеплодов, типичной для ботанического вида формы и окраски, с установленными геометрическими размерами. Обследование собранного урожая показало, что значительная доля корнеплодов не соответствует требованиям указанного стандарта вследствие растрескивания.

Таблица 1 – Урожайность столовой моркови при спринклерном орошении, 2015 г.

Фактор А (мощность увлажняемого горизонта почвы, м)	Фактор В (режим проведения освежительных поливов)	Урожайность корнеплодов общая, т/га	Доля выхода стандартной продукции, %	Урожайность стандартной продукции Y, т/га	ΔУ в зависимости от мощности увлажняемого слоя почвы		ΔУ в зависимости от режима проведения увлажнительных поливов	
					т/га	%	т/га	%
А1 (0,2–0,5 м)	В1	82,1	85,5	70,2	-	-	-	-
	В2	84,3	87,2	73,5	-	-	3,3	4,7
	В3	85,0	88,7	75,4	-	-	5,2	7,4
	В4	85,0	88,6	75,3	-	-	5,1	7,3
А2 (0,3–0,5 м)	В1	82,2	88,4	72,7	2,5	3,6	-	-
	В2	84,5	91,2	77,1	3,6	4,9	4,4	6,1
	В3	85,2	94,1	80,2	4,8	6,4	7,5	10,3
	В4	85,2	94,2	80,3	5,0	6,6	7,6	10,5
А3 (0,4–0,5 м)	В1	77,4	90,1	69,7	-0,5	-0,7	-	-
	В2	79,5	93,0	73,9	0,4	0,5	4,2	6,0
	В3	82,0	94,4	77,4	2,0	2,7	7,7	11,0
	В4	82,0	94,5	77,5	2,2	2,9	7,8	11,2

Примечание – НСР₀₅ для урожайности корнеплодов, общей в рамках фактора А составляет 1,72 т/га, фактора В – 1,99 т/га, для частных средних – 3,45 т/га; для урожайности стандартной продукции в рамках фактора А составляет 2,19 т/га, фактора В – 2,53 т/га, для частных средних – 4,38 т/га.

Наибольший процент потрескавшихся корнеплодов наблюдался на участках, где порог предполивной влажности почвы (80 % НВ) поддерживался в слое 0,2–0,5 м, а освежительных поливов не проводилось. Доля выхода стандартной продукции на участке этого варианта не превышала 85,5 %, что снизило общую продуктивность посева с 82,1 до 70,2 т/га.

Проведение освежительных поливов обеспечило повышение выхода доли стандартных корнеплодов, причем наибольший эффект был получен на участках, где такие поливы осуществляли при снижении относительной влажности воздуха до 50 % (вариант В3) или 70 % (вариант В4). Сочетание такой схемы применения освежительных поливов с поддержанием водного режима почвы по схеме варианта А2 или А3 обеспечило выход стандартного урожая на уровне 94,1–94,5 % и получение до 80,3 т/га стандартных корнеплодов.

Выводы. Таким образом, использование стационарных спринклерных систем для полива столовой моркови с реализацией технологической возможности проведения освежительных поливов обеспечивает получение не менее 80 т/га стандартных корнеплодов и формирование устойчивого, конкурентоспособного производства высоко витаминизированной продукции.

Список использованных источников

- 1 Центральная база статистических данных [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: <http://gks.ru/dbscripts/munst/munst18/DBInet.cgi#1>, 2016.
- 2 Корпоративная база статистических данных FAO. Торговля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://faostat3.fao.org/download/T/TP/E>, 2015.
- 3 О применении отдельных специальных экономических мер в целях обеспечения безопасности Российской Федерации: Указ Президента РФ от 6 августа 2014 г. № 560 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kremlin.ru/events/president/news/46404>.
- 4 Литвинов, С. С. Научные основы современного овощеводства / С. С. Литвинов. – М.: ВНИИО, 2008. – 771 с.
- 5 Оптимальное управление поливами на основе современных вычислительных алгоритмов / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. С. Овчинников, В. С. Бочарников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4. – С. 21–27.
- 6 Бородычев, В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур: науч. изд. / В. В. Бородычев. – Коломна: Радуга, 2010. – 241 с.
- 7 Санжаровская, М. И. Индустриальная технология выращивания и уборки моркови / М. И. Санжаровская // Инженерно-техническое обеспечение АПК: рефератив. журн. – 2007. – № 3. – С. 787.
- 8 Зволинский, В. П. Влияние режимов орошения на продуктивность моркови в условиях Волгоградской области / В. П. Зволинский, А. А. Шершнева // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2012. – № 4(13). – С. 32–33.
- 9 ГОСТ 1721-85. Морковь столовая свежая заготавливаемая и поставляемая. Технические условия. – Введ. 1986-09-01. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 6 с.

УДК 631.5

Г. Л. Лобанов, Л. В. Юченко, В. Э. Завалюев

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

**ПРЕЦИЗИОННЫЕ СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ,
ОБРАБОТКИ ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ ПРИ ПОЛИВЕ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

В статье рассмотрены основные современные способы внесения удобрений, обработки сельскохозяйственных культур от негативного воздействия вредителей и болезней при поливе различными видами сельскохозяйственной техники. Необходимым условием для интенсивного земледелия, увеличения плодородия почв, и, как следствие, повышения урожайности сельскохозяйственных культур является решение задач поддержания оптимальной влажности почвы, применения минеральных удобрений, обработки растений от вредителей и болезней. Эффективность интенсивного земледелия возрастает при внесении удобрений и препаратов для обработки растений от вредителей и болезней вместе с поливной водой на сельскохозяйственном участке.

Ключевые слова: информационные технологии, внесение удобрений, точное земледелие, GPS-технологии, географические информационные системы, технологии дистанционного зондирования земли, ГЛОНАСС, дождевальная машина.

В настоящее время в важнейших агропромышленных зонах Российской Федерации осуществляется работа по внедрению качественно новой системы земледелия, ко-

торое в странах Западной Европы и США получило название точного (или прецизионного). Суть точного земледелия заключается в следующем: для получения с данного поля (массива) максимального количества качественной и наиболее дешевой продукции для всех растений этого массива создаются оптимальные условия роста и развития без нарушения норм экологической безопасности. К основным параметрам оптимальных условий роста и развития растений относятся: оптимальная влажность и необходимое количество питательных веществ (удобрений) на каждом сельскохозяйственном участке [1, 2].

Эти параметры определяются с помощью современных информационных технологий, включая космическую съемку. При этом средства обработки дифференцируются в пределах различных участков поля, обеспечивая максимальный эффект при минимальном ущербе для окружающей среды и снижении общего расхода применяемых веществ. Наиболее важными вопросами, решением которых в последнее время занимались в Европейских странах, являются нахождение оптимального уровня использования удобрений и химикатов в растениеводстве, определение доз их внесения, исключая негативное воздействие на почву, растения и окружающую природную среду.

Накопление статистики обработки (количества внесенных веществ с координатной привязкой) и получаемых результатов (урожайности) позволяет использовать различные виды анализа при дальнейшей корректировке поливных норм, применяемых доз удобрений и средств борьбы с вредителями и болезнями растений для максимальной отдачи от вкладываемых в обработку материальных и технических средств [1, 2].

Точное земледелие – это комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного управления, которая включает в себя технологии глобального позиционирования (GPS), оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), переменного нормирования (Variable Rate Technology) и дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), а также географические информационные системы (GIS). Точное земледелие внедряется путем разработки и освоения качественно новых, высокоэффективных и экологически безопасных технических и агрохимических средств.

Основные результаты, достигаемые посредством применения технологии точного земледелия:

- оптимизация использования оросительной воды, удобрений и химических средств защиты растений;
- повышение урожайности и качества сельхозпродукции;
- минимизация негативного влияния сельскохозяйственного производства на окружающую природную среду;
- сохранение продуктивности орошаемых земель;
- информационная поддержка сельскохозяйственного менеджмента.

Основными компонентами системы точного земледелия являются:

- система сбора пространственной информации (ДЗЗ, наземные аналитические методы);
- система пространственного контроля выполнения операций (приборы спутниковой навигации GPS и сенсорные датчики).

Первыми добились весомых результатов при использовании электронных устройств в сельхозтехнике разработчики машин для защиты растений. Например, опрыскиватель Hydroelectron фирмы Теснома, получивший золотую медаль на международной выставке SIMA-1976 в Париже, был оборудован электронным регулятором подачи раствора пропорционально скорости движения агрегата. Аналогичную машину разработала английская фирма Agmet. Значительных успехов в электронизации сельхозтехники достигли фирмы Amazone, Diadem, Rotina, Lely и др. В машинах центробежного типа они добились зависимости дозы внесения удобрений на 1 га от скорости агрегата.

В 1986 г. в результате тесного сотрудничества фирм-производителей тракторов

и сельхозмашин было принято рациональное предложение по установке на трактор многоканального микропроцессора, обрабатывающего информацию с унифицированных датчиков и производящего управление исполнительными механизмами машин, агрегируемых с трактором. Так, например, на тракторе Case стали использовать микропроцессор с подключенными к нему датчиками и исполнительными механизмами:

- по регулированию глубины обработки почвообрабатывающих машин фирмы Landsberg;

- по оптимизации работы опрыскивателей фирмы Holder;

- для машин по внесению минеральных удобрений фирмы Rotina;

- для сеялок Saxonia и др.

Причем микропроцессор не только контролирует и регулирует технологические параметры, но и показывает фактическую рабочую скорость агрегата, объем выполненной работы, параметры двигателя и удельный расход топлива.

Агрохимический анализ почв, взятых на участках с различной урожайностью, показывает, что по содержанию азота, фосфора и калия они существенно различаются, хотя минеральные удобрения вносились с высокой равномерностью. Причина этого явления в том, что растения питаются не только веществами, вносимыми в почву при выращивании данной культуры, но и теми, что накопились в ней. Поэтому удобрения нужно вносить в почву дифференцированно в зависимости от количества ранее накопленных в ней основных питательных веществ.

Внедрение данной технологии с использованием существующих технических средств связано с большими трудовыми и финансовыми затратами. В связи с этим в разных странах начали разрабатывать способы и средства для упрощения и снижения стоимости агрохимического анализа почвы, в том числе через урожайность выращенной культуры на отдельных участках поля. Для этого, например, зерноуборочный комбайн оборудуют электронным прибором, который определяет урожайность, по координатно записывает ее в бортовой компьютер и распечатывает картограмму. Но картограмма урожайности может служить лишь средством обоснования необходимости дифференцированного применения удобрения или определения аномальных зон и взятия проб почвы для агрохимического анализа лишь в этих зонах. Одно из кардинальных решений этой проблемы предложила английская фирма KRM – оценивать содержание азота, фосфора и калия в почве путем фотографирования полей в инфракрасных лучах на специальную пленку с помощью самолета или спутника Земли.

Еще больше упрощает агрохимический анализ почвы оптический прибор, созданный английской фирмой Challeng Agriculture (золотая медаль на Парижской выставке в 1994 г.). Содержание в почве азота, фосфора, калия и других элементов определяют путем сравнительного измерения в двух точках отраженного света выбранной полосы спектра. Он может обрабатывать более 30 параметров и запоминать 50 значений. Через четыре года прибор аналогичного назначения разработали китайские специалисты на основе транзисторов, преобразователей, фотодатчиков и других электронных элементов.

Кроме того, содержание питательных веществ в почве можно определять методом инфракрасного фотографирования поля со спутника Земли с построением картограммы поля, а координаты агрегата – с помощью систем GPS. Для непосредственного изменения дозы вносимых удобрений используется электронный прибор Calibrator 2002, функционально соединенный с компьютером (на дискете которого записана картограмма удобрения поля) и системой GPS. В 1995 г. фирма Amazone освоила серийный выпуск центробежных машин ZA-Max с аналогичными приборами. Однако по причине слишком высокой стоимости электронного оборудования (около 50 % цены машины) они не получили широкого распространения.

На сегодняшний момент все мировые лидеры по производству сельскохозяйст-

венных машин (CLAAS, John Deere, Case и др.) комплектуют свою технику навигационной системой GPS. В России «пионером» в этом направлении стала компания «Евротехника». С 2004 г. все производимые сельскохозяйственные машины на заводе можно дооснастить навигационной системой GPS.

В настоящее время, сравнивая производимые российские и зарубежные приборы спутниковой навигации для работы в сельском хозяйстве, можно сказать, что иностранные приборы имеют преимущества по своим функциям.

Навигационных приборов российского производства пока еще очень мало. В качестве примера можно привести навигационный прибор «Агронавигатор». Он достаточно многофункционален, что позволяет вести параллельно трактор при опрыскивании и внесении минеральных удобрений, а также записывать и хранить информацию с площади до 10000 га. Однако точность данного прибора составляет от 5 до 10 м, что недопустимо при проведении операций прецизионного земледелия.

У зарубежных компаний-производителей гораздо больше подобных приборов. Это – известная компания John Deere с прибором Green Star Parallel Tracking System и менее известные: Mid-Tech Center-Line, Raven RGL 500, Cultiva ATC, OutbackS и др. Однако неоспоримым лидером в данном направлении на сегодняшний день является компания Trimble с семейством навигационных приборов серии AgGPS, которые широко применяются в точном земледелии в Европе, США, Канаде, а теперь и в России.

Таким образом, в последние годы система точного земледелия получила массовое распространение во многих странах. Однако повсеместное внедрение технологии точного земледелия в России в полной мере не реализовано в связи с финансовыми затруднениями отечественных сельхозтоваропроизводителей.

С марта 2010 г. по настоящее время ЗАО «Агрофирма «Бунятино» Дмитровского района Московской области использует систему параллельного вождения применительно к картофельным полям и полям с овощами открытого грунта. Был разработан инвестиционный проект с требуемым экономическим обоснованием. Суть проекта состояла в установке необходимого оборудования, позволяющего существенно увеличить точность агротехнических операций на пропашных культурах. Финансовые ресурсы, необходимые для реализации проекта, составили 3150 тыс. руб.

В результате установки системы в 2010 г. предприятие значительно снизило затраты (в среднем на 10 % по сравнению с затратами 2009 г.) на горюче-смазочные материалы (ГСМ), посадочный материал, минеральные и органические удобрения, средства защиты растений.

Таким образом, к основным функциям системы точного земледелия относятся:

- «пространственная привязка» объектов конкретного сельскохозяйственного комплекса и высокоточное позиционирование сельскохозяйственных агрегатов с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);
- навигационно-информационная поддержка управления применяемой при обслуживании сельхозугодий подвижной техники;
- мониторинг растений, почв и климатических показателей отдельных участков с их «компьютерным» ведением в течение многолетнего цикла;
- цифровое моделирование местности (ЦММ), рельефа (ЦМР), состояния почв, внесения удобрений и «производительности» выращивания культур, интегрируемое с данными геоинформационных систем (ГИС) и ДЗЗ;
- автоматизация с помощью систем поддержки принятия решений (СППР) на основе многолетних баз данных о состоянии и использовании земельных ресурсов.

Эти функции реализуются благодаря системе позиционирования на базе ГНСС (GPS, ГЛОНАСС), для которых на сегодняшний день освоены прикладные средства в различных сферах. Полноценное их применение возможно только при условии функционирования высокоточного позиционирования – не менее 1 м в реальном масштабе

времени и около 1 см в режиме постоянной обработки. В странах САСЕ такие системы развернуты на национальном и международном уровне и предоставляют широкий спектр услуг любым потребителям.

Российскими разработчиками навигационной, геодезической аппаратуры и навигационно-информационных систем подготовлены вполне осуществимые мероприятия по созданию и внедрению доступных по технико-экономическим параметрам навигационно-информационных аппаратных комплексов для применения в системе сельскохозяйственного землепользования. В отличие от популярных предложений доминирующих в этой сфере зарубежных конкурентов, отечественные комплексы, предназначенные для интеграции с инфраструктурой высокоточного позиционирования, даже в условиях ее отсутствия или неполноты вполне достаточны для реализации таких функций «точного земледелия», как пространственная привязка объектов конкретного сельскохозяйственного комплекса, высокоточное позиционирование сельскохозяйственных агрегатов с помощью ГНСС, навигационно-информационная поддержка управления подвижной техникой, в том числе «параллельное» вождение, телематическое обеспечение технологических процессов обработки почвы и т. п.

Для этого в России имеется выпускаемая элементная база навигационной аппаратуры потребителей (НАП), разработаны и испытаны вполне доступные для практического применения отечественные образцы оборудования высокоточного позиционирования сельскохозяйственной техники с точностью определения местоположения не менее 5–7 см в реальном масштабе времени. Такая точность обеспечивается путем локального применения пары станций ГНСС, находящихся в условиях прямой видимости – базовой станции и ровера, установленного на подвижном объекте (тракторе, комбайне или другой самоходной технике). Причем одной базовой станции будет достаточно для управления любым количеством работающих в указанных условиях связности подвижных объектов, что особенно важно для координации комплексных работ при проведении посевной и уборочной кампаний.

В настоящее время в системе точного земледелия у нас и за рубежом для дифференцированного внесения удобрений используется навесной распределитель минеральных удобрений немецкой фирмы Amazone UF 800, изображенный на рисунке 1.



Рисунок 1 – Навесной опрыскиватель Amazone UF 800

Опрыскиватель агрегируется с трактором на трехточечное гидравлическое навесное устройство категории II. Распределитель оснащен приводами от вала отбора мощности как для отечественных тракторов, так и для импортных. Детали опрыскивателя устойчивы к воздействию активных веществ жидких удобрений и средств защиты растений, тем не менее здесь существуют некоторые ограничения, указанные в инструкции по эксплуатации.

Базовый агрегат – это несущая рама опрыскивателя и емкость для рабочего раствора и воды, а также необходимые крепежи и детали. Полная емкость бака опрыскива-

теля UF 800 – 980 л, бака для воды – 50 л. Рабочая арматура – специальное дозирующее устройство, управляющее расходом удобрений. Рабочая арматура калибруется на заводе-изготовителе, но может быть откалибрована вручную, за исключением некоторых компонентов арматуры, которые калибруются на специальном оборудовании и имеют уникальные для каждого образца свойства. Управляющей частью рабочей арматуры можно назвать пульт управления SKS, соединенный непосредственно с бортовым компьютером. Пульт позволяет в случае необходимости вручную управлять штангами опрыскивателя: включать и отключать их, менять рабочее давление, переходить из режима ручной установки дозы в автоматическую.

Опрыскиватель оснащен штангами Super-S с полной гидравлической регулировкой и системой автоматического складывания и раскладывания.

Доза вносимого раствора зависит от типа (распыление или внесение жидких удобрений) и размера распылителей, установленных на штангах, рабочего давления, отчасти зависящего от частоты вращения ВОМ, скорости движения, а также собственно от самого вносимого раствора. Например, для воды при распылении и размере установленных распылителей 03, скорости движения от 4 до 12 км/ч, а также рабочем давлении от 1,1 до 5,0 бар доза может варьироваться в диапазоне от 100 до 450 л/га.

В комплект оборудования апробации агроприемов по внесению минеральных удобрений и агрохимикатов входит бортовой компьютер Amatron ПА для управления навесным распределителем удобрений и опрыскивателем (рисунок 2).

Amatron ПА осуществляет регулировку нормы внесения удобрений с учетом фактической скорости и ширины захвата навесного оборудования. На дисплее компьютера отображаются фактическая скорость движения (км/ч), обработанная площадь (га) с сохранением данных, а также отработанные часы (ч). Производится контроль и индикация давления опрыскивателя.



Рисунок 2 – Бортовые компьютеры Amatron ПА и Hydro, а также контролер курса в кабине трактора

Бортовой компьютер размещается в кабине трактора и подключается к аккумуляторной батарее (12 В). Подсоединение к компьютеру полевого опрыскивателя и распределителя удобрений производится при помощи пульта управления через 48-полюсный штекерный соединитель. При помощи этого штекера компьютер получает информацию с датчиков, переключателей распределительных линий и главного выключателя. Кроме того, компьютер распознает тип сельскохозяйственного оборудования. Предназначенная для агрегата программа и введенные однократно при первом подключении характеристики агрегата выбираются автоматически: ширина захвата, количество распылителей, контрольное число расходомера и др. Установка дозы удобрения может вестись тремя способами:

- выбор одной фиксированной дозы на бортовом компьютере с помощью клавиатуры;

- использование заранее подготовленной на стационарном компьютере карты-задания с пространственной привязкой к местности (офлайн-режим);

- управление дозой удобрения на основании данных, получаемых в процессе движения трактора по полю и агротребуваний при работе в онлайн-режиме.

В нашей стране вопросами информационного обеспечения точного земледелия занимаются в Агрофизическом НИИ Россельхозакадемии (г. Санкт-Петербург). В институте под руководством В. П. Якушева на протяжении последних двух десятилетий разрабатывались теоретические основы точного земледелия для условий Нечерноземья [3].

На опытных полях по выращиванию зерновых сотрудниками института апробировалась технология дифференцированного внесения минеральных удобрений при помощи навесного опрыскивателя Amazone UF 800, вследствие чего были получены следующие результаты: снижение расхода минеральных удобрений по сравнению с традиционным их внесением на 25 %, повышение урожайности и качества зерновых на 15 %.

В соответствии с этим поставлена задача по разработке дождевальной машины, удовлетворяющей запросам точного земледелия с установкой на ней устройств, обеспечивающих прецизионную подачу вместе с поливной водой (или без нее) удобрений и при необходимости препаратов по борьбе с вредителями и болезнями растений, с использованием модернизированного опрыскивателя Amazone UF 800.

Рассмотрено около 30-ти отечественных устройств и установок для внесения удобрений одновременно с поливом участка дождевальными машинами. Установлено, что существуют две схемы подачи минеральных удобрений при поливе поля дождевальными машинами:

- подача раствора в напорный трубопровод дождевальной машины (поливную воду) и распыление его дождевателями вместе с водой;

- автономная подача раствора и его распыление по полю по отдельному трубопроводу и распылителям (без смешивания с поливной водой).

В г. Николаеве завод «Фрегат» выпускал дождевальные машины с устройством для подачи жидких удобрений совместно с поливной водой. На других дождевальных машинах («Волжанка», «Днепр») установка оборудования для подачи жидких удобрений с поливной водой или локальной подачей не предусматривалась.

Изучение и анализ устройств и установок для внесения жидких удобрений с поливной водой на дождевальных машинах и отдельно от них показал, что многие из них имеют сложные конструктивные решения и не приспособлены для применения в системах точного земледелия. В связи с этим авторами предполагается разработать на дождевальную машину устройство для подачи на поле жидких удобрений и растворов в процессе обработки растений от вредителей и болезней с учетом требований точного земледелия.

Прецизионные способы внесения удобрений должны удовлетворять трем основным требованиям: обеспечивать точное внесение требуемой дозы, позволяющей получить планируемую урожайность сельскохозяйственных культур необходимого качества; быть экономически выгодными; отвечать экологическим требованиям.

Анализ существующих способов внесения жидких удобрений показывает, что в наибольшей степени этим требованиям отвечает качественно новая и эффективная технология дифференцированного внесения удобрений по этапам развития сельскохозяйственных культур в соответствии с внутривидовой неоднородностью плодородия почвы и фитосанитарным состоянием посевов.

Технология дифференцированного внесения удобрений является основным элементом системы точного земледелия и базируется на использовании ГНСС и ГИС, а также систем автоматизированного управления технологическими процессами возде-

львания сельскохозяйственных культур, интегрированных в информационные технологии [4, 5].

Выводы

1 Основой интенсивного земледелия являются получение достоверной информации (массива данных) о состоянии сельскохозяйственного поля и создание оптимальных условий для роста и развития растений без нарушений норм экологической безопасности, т. е. внедрение технологии точного земледелия.

2 Для условий аридных зон на орошаемых землях предлагается использовать в системе точного земледелия широкозахватные дождевальные машины кругового и фронтального действия с функциями внесения удобрений и химических средств защиты растений от вредителей и болезней.

3 С целью создания оптимальных условий для роста и развития растений орошаемое поле разбивается на элементарные участки, для которых выполняется агрохимический анализ почвы и составляется электронная карта – схема обследования (картограмма поля), определяющая структуру будущей геоинформационной базы данных о количественном внесении необходимых удобрений или химических средств защиты растений.

4 Внесение удобрений и химических средств защиты растений с использованием дождевальных машин обеспечивается установкой на них навигационной системы GPS и многоканальных микропроцессоров с подключением к ним датчиков и исполнительных механизмов (опрыскивателей, распределителей минеральных удобрений, дождевателей).

5 Анализ существующих способов внесения жидких удобрений показывает, что в наибольшей степени прецизионным требованиям отвечает качественно новая и эффективная технология дифференцированного внесения удобрений в соответствии с внутренней неоднородностью плодородия почв.

Список использованных источников

1 Соловьева, Н. Ф. Жидкие удобрения и современные методы их применения: науч. изд. / Н. Ф. Соловьева. – М.: Росинформагротех, 2010. – 76 с.

2 Точное земледелие – инвестиции в будущее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agroin-form.ru>, 2015.

3 Якушев, В. П. Информационное обеспечение точного земледелия / В. П. Якушев, В. В. Якушев. – СПб.: ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.

4 Точное земледелие на вооружении у сельхозпроизводителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro-inform.ru>, 2015.

5 Агрохимическое обследование в точном земледелии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrophys.com>, 2015.

УДК 626.81/.84

А. Л. Кожанов

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

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКРЫТОЙ БЕЗНАПОРНОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Целью исследований являлось изучение использования энергии водного потока в безнапорной оросительной сети энергоэффективных оросительных систем нового поколения с минимизацией применения насосно-силового оборудования и внешних источников электроэнергии. Приводятся понятие и схемы свободного напора в безнапорных трубопроводах оросительной сети и основные расчетные зависимости для его определения при различных условиях прокладки трубопровода (подземная и поверхно-

стная). Выявлены преимущества и недостатки безнапорной сети по отношению к напорной. Обозначены основные условия применения закрытой безнапорной оросительной сети в энергоэффективных оросительных системах: уклон местности, который должен быть больше оптимального уклона, то есть при условии $i > i_{opt}$; превышение естественного падения местности над потерями напора по длине трубопровода, то есть при условии $i \cdot L \geq \sum h$; уклон местности должен быть меньше уклона, необходимого для создания напорного режима, обеспечивающего работу дальнеструйных дождевальными машинами, мини- или микроГЭС; невозможность применения открытой сети каналов из-за рельефных, почвенных, топографических, гидрогеологических и других условий; изрезанность склона участков орошения, которая не должна затруднять устройство временных оросителей.

Ключевые слова: энергоэффективность, оросительная сеть, безнапорный режим, закрытая сеть, самонапорная система, самотечная система.

Вопросы оценки экономической и энергетической эффективности оросительных мелиораций, способствующей снижению энергопотребления ресурсов и непроизводительных потерь оросительной воды, в последнее время стали привлекать большое внимание ученых [1]. Постоянное повышение цен на энергоносители (электроэнергия, ГСМ и др.) и основные расходные материалы (трубы, оборудование и др.) ведет к необходимости пересмотра ряда принципиальных положений и подходов к оценке экономической и энергетической эффективности орошения. Магистральная система водоподдачи и водораспределения, а также передача воды на дальние расстояния требует нового методического обоснования проектных решений. Немаловажное значение имеют:

- вопросы снижения напоров в трубопроводной сети;
- применение низконапорных и безнапорных систем водоподдачи;
- исключение аварийных, непроизводительных и технологических потерь и сбросов;
- разработка эксплуатационных мероприятий, направленных на экономию электроэнергии за счет использования потенциальной и кинетической энергий водного потока.

В настоящее время эксплуатация орошаемых земель, расположенных на равнинных территориях Российской Федерации, является достаточно энергозатратной. Восполнение затрат на полив возможно только при выращивании овощных культур. В то же время имеются значительные резервы неосвоенных земель, пригодных для орошения в горных и предгорных зонах. Эти земельные площади характеризуются наличием значительных перепадов отметок поверхности, которые с успехом можно использовать для создания необходимых напоров с помощью энергоэффективных оросительных систем с самонапорной или самотечной водоподдачей, осуществляемой за счет действия энергии водного потока, снижая тем самым энергоемкость систем орошения [2–4].

Применение закрытой оросительной сети в данных условиях имеет ряд преимуществ по сравнению с открытой сетью:

- отсутствие потерь воды на фильтрацию и испарение;
- коэффициент полезного действия сети – не менее 0,98;
- высокий коэффициент земельного использования, достигающий 0,97;
- улучшенные условия механизации сельскохозяйственных работ;
- облегчение распределения воды по площади при сложном рельефе;
- повышенная производительность труда поливальщиков;
- наиболее благоприятные условия для автоматизации поливов.

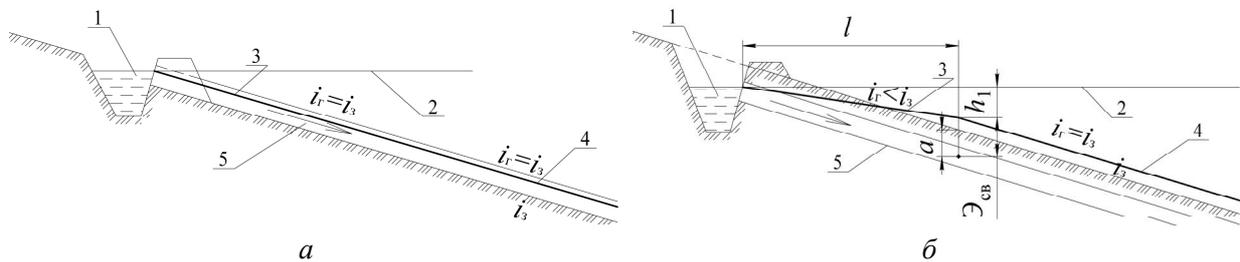
В соответствии со сводом правил СП 100.13330.2011 (СНиП 2.06.03-85) [5] при уклонах местности более 0,003 для производства поверхностных поливов следует применять закрытую самотечную трубчатую сеть: напорную или безнапорную.

Энергоэффективные оросительные системы с безнапорным режимом можно использовать в предгорных и горных районах страны там, где имеется естественный ук-

лон местности, превышающий 0,002–0,003. Это необходимо для движения воды по трубопроводам за счет напора, создаваемого превышением естественного падения поверхности над потерями напора по длине трубопровода и местными, то есть при условии $i \cdot L \geq \sum h$.

По мнению Ш. С. Бобохидзе [6], энергия водного потока, возникающая в безнапорном трубопроводе за счет геометрической разности отметок поверхности земли по трассе трубопровода, используется для преодоления сопротивлений по длине трубопровода и местных. Исключение составляет некоторая ее часть, необходимая для подачи воды на поверхность земли, при условии подземной прокладки трубопровода. Поэтому при проектировании данных систем следует предусмотреть свободный напор $\mathcal{E}_{\text{св}}$, обеспечивающий подачу воды на поверхность земли.

В безнапорном трубопроводе при поверхностной прокладке свободный напор равен нулю, а при подземной прокладке равен примерно 1–2 м, что соответствует глубине заложения трубопровода (рисунок 1).



a – при поверхностной прокладке трубопровода; *б* – при подземной прокладке трубопровода;
l – канал; 2 – линия статического напора; 3 – пьезометрическая линия; 4 – линия полной энергии, соответствующая безнапорному режиму движения в трубопроводе; 5 – трубопровод

Рисунок 1 – Схема к понятию свободного напора в безнапорных трубопроводах оросительной сети

Если безнапорные трубопроводы необходимы в пределах транзитных участков, то их рассчитывают так, чтобы гидравлический уклон i_r был меньше уклона поверхности земли i_3 . За счет этой разности и создается нужный свободный напор:

$$\mathcal{E}_{\text{св}} = l(i_3 - i_r) + a,$$

где $\mathcal{E}_{\text{св}}$ – свободный напор, необходимый для подачи воды на поверхность земли, м;

l – расстояние от водозабора до гидрантов-водоотпусков в открытую сеть, м;

i_3 – уклон поверхности земли;

i_r – гидравлический уклон;

a – заглубление центра трубы ниже поверхности земли, м.

При прокладке трубопроводов по поверхности земли параметр a будет равен нулю.

В этих зависимостях l , i_3 и a можно считать известными величинами. Гидравлический уклон i_r и диаметр трубопровода d связаны между собой зависимостью:

$$i_r = \frac{h}{l} = \frac{\lambda \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g},$$

где i_r – гидравлический уклон;

h – потери напора по длине трубопровода, м;

l – длина трубопровода, м;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления;

v – средняя скорость течения воды, м/с;

d – диаметр трубопровода, м;

g – ускорение силы тяжести, м/с².

Значение коэффициента λ зависит от вида сопротивления (область гидравлически гладких труб, переходная или квадратичная область) и материала труб. Числовые значения λ можно найти в гидравлических справочниках.

Длину транзитного участка l (м) при подземной прокладке трубопровода в общем виде можно записать так:

$$l = \frac{\mathcal{E}_{\text{св}} - a}{i_3 - i_{\Gamma}}.$$

Дальше транзитного участка энергия воды, создаваемая за счет уклона поверхности земли, полностью используется на преодоление гидравлических сопротивлений, то есть $i_{\Gamma} = i_3$, и величина свободного напора остается постоянной ($\mathcal{E}_{\text{св}} = \text{const}$).

Однако величина i_{Γ} , показанная на схеме (рисунок 1), представляет сумму двух уклонов:

$$i_{\Gamma} = i_l + i_{\text{м}},$$

где i_l – уклон, соответствующий потерям энергии на трение по длине;

$i_{\text{м}} = \frac{h_{\text{м}}}{l}$ – уклон, соответствующий местным потерям энергии в гидрантах-водовыпусках $h_{\text{м}}$;

l – расстояние от водозабора до гидранта-водовыпуска или между гидрантами-водовыпусками, м.

Таким образом, диаметр трубопровода за транзитной зоной рассчитывают, исходя из величины уклона i_l . Чем больше i_l , тем больше диаметр трубопровода. Поэтому i_l и $h_{\text{м}}$ должны быть как можно меньшей величины.

Вариант оросительной системы с безнапорной сетью имеет положительные и отрицательные стороны по отношению к напорной сети. В безнапорном варианте сети неизбежно появление определенного сбросного расхода в конце распределительных трубопроводов, что снижает КПД системы. Поэтому при разработке энергоэффективных оросительных систем нового поколения с закрытой безнапорной оросительной сетью необходимо устранять основной недостаток – холостой, непроизводительный сброс воды в конце распределительных трубопроводов. Для устранения данного недостатка предлагается использование этого сброса для дальнейшего орошения или других нужд, например, в рыбном хозяйстве [2].

Сечение распределительных трубопроводов в закрытой безнапорной сети значительно меньше, чем в закрытой напорной сети. В связи с этим не требуются высоконапорные, дорогие, дефицитные трубы и другие материалы, количество искусственных сооружений значительно меньше, в напорной сети неизбежны большие потери воды, возникающие из-за утечки через уплотнения многочисленных задвижек и стыков труб, которые находятся большей частью под напором. Вода вследствие утечки попадает непосредственно на орошаемое поле и вызывает эрозию, заболачивание и засоление почвы. Поэтому КПД оросительной системы при напорной сети в ряде случаев может оказаться ниже, чем при закрытой безнапорной сети.

Строительная стоимость безнапорной сети значительно ниже стоимости строительства напорной сети.

Таким образом, применение напорной оросительной сети может оказаться более экономичной только при больших уклонах местности, когда напор в сети обеспечивает дождевание дальнеструйными аппаратами, работу мини- или микроГЭС, или когда

слишком большая изрезанность склона затрудняет устройство временных оросителей.

Основными условиями использования закрытой безнапорной оросительной сети являются:

- уклон местности, который должен быть больше оптимального уклона, то есть при условии $i > i_{\text{опт}}$;

- превышение естественного падения местности над потерями напора по длине трубопровода, то есть при условии $i \cdot L \geq \sum h$;

- уклон местности должен быть меньше уклона, необходимого для создания напорного режима, обеспечивающего работу дальнеструйных дождевальными машин, мини- или микроГЭС;

- невозможность применения открытой сети каналов из-за рельефных, почвенных, топографических, гидрогеологических и других условий;

- изрезанность склона участков орошения, которая не должна затруднять устройство временных оросителей.

Список использованных источников

1 Кожанов, А. Л. Основные принципы энергетической оценки жизненного цикла оросительной системы / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – Вып. 4(60). – С. 29–34.

2 Кожанов, А. Л. К вопросу разработки энергоэффективных оросительных систем нового поколения / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – Вып. 3(59). – С. 62–65.

3 Штанько, А. С. Энергоэффективные оросительные системы / А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – Вып. 4(60). – С. 11–15.

4 Снопич, Ю. Ф. Оценка эффективности низкоэнергоемких оросительных систем / Ю. Ф. Снопич, А. Н. Бабичев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 55. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – С. 109–118.

5 СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения. – Введ. 1985-12-17. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 140 с.

6 Бобохидзе, Ш. С. Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах / Ш. С. Бобохидзе. – М.: Колос, 1973. – 248 с.

УДК 626.845

А. Е. Шепелев

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

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОЖДЯ ПОЛИВНОЙ ТЕХНИКИ

Целью исследований являлись обзор и анализ агротехнических показателей искусственного дождя, создаваемого поливной техникой. Анализировались изыскания и научные разработки ученых по данному направлению. В ходе проведенных исследований были определены показатели искусственного дождя и основные требования к ним. Качество искусственного дождя характеризуется среднеэффективной интенсивностью или слоем осадков в единицу времени, диаметром капель и коэффициентами, учитывающими равномерность распределения дождя на орошаемой площади, то есть равномерность распределения воды по орошаемой площади без образования поверхно-

стного стока и сохранения структуры почвы. Результаты исследований могут быть использованы при разработке агротехнических требований к поливной технике, а также программ и методов ее испытаний.

Ключевые слова: агротехнический показатель, поливная техника, искусственный дождь, интенсивность, орошение.

При орошении поливной техникой наиболее важным элементом полива является качество дождя, которое обусловлено работой дождеобразующих устройств. Рабочие органы дождеобразующих устройств предназначены для преобразования водного потока в дождевые капли, транспортирования капель на определенные расстояния и распределения их по площади полива. По качеству работы дождеобразующих устройств определяется качество дождя, а значит и качество работы поливной техники.

Такие ученые, как А. Н. Костяков, В. А. Вельбовец, К. В. Губер, А. П. Исаев, Ю. Ф. Снопич, А. М. Поспелов отмечали, что при дождевании главным агротехническим показателем является структура и интенсивность искусственного дождя [1–6].

Немаловажным фактором является и необходимость создания искусственного дождя с интенсивностью, не превышающей скорость впитывания воды данной почвой. Вопросом скорости впитывания воды в почву при дождевании занимались А. М. Ларионова, Г. В. Ольгаренко, А. Е. Шепелев и др. [7–10].

Отмечается также такое весьма важное требование, предъявляемое к искусственному дождеванию, как влияние ветра на равномерность полива культур. Исследованию данной проблемы посвящены труды Н. П. Бредихина, В. Е. Хабарова и др. [11, 12].

Так, К. Т. Дадю и А. В. Валлендер [13] в ходе исследований, направленных на определение размера капель дождя и выявление характера его распределения, установили, что во всех случаях с увеличением расстояния от дождеобразующего устройства размер капель дождя возрастал.

Однако известно, что средняя интенсивность дождя у всех типов поливной техники находится в пределах 1,0–3,0 мм/мин. В то же время дождь, создаваемый различными дождевальными машинами, оказывает различное влияние на почву с точки зрения впитывания воды, разрушения почвы, образования луж и стока. Так, Т. Н. Раджаб [14], изучая влияние размеров капель дождя, выявил, что время образования поверхностного стока почвы уменьшалось с увеличением высоты падения или интенсивности дождя.

При одинаковой средней интенсивности дождя у дальнеструйных и короткоструйных устройств воздействие по разрушению почвенных агрегатов изменяется в 2–3 раза. Путем сопоставления зависимостей водной эрозии почвы, было установлено, что сток увеличивался с возрастанием плотности почвы, диаметра капель, кинетической энергии капель, поверхностного натяжения воды [14].

Одним из важнейших факторов свободной инфильтрации воды в почву является диаметр капель дождя. При работе среднеструйных устройств поливная норма в 500 м³/га может быть подана до луж и стока при объемной массе пахотного слоя 1,1 г/см³ дождем интенсивностью 0,59 мм/мин и после уплотнения почвы до 1,4 г/см³ и 0,14 мм/мин соответственно [13].

По данным Т. Н. Раджаб [14], поверхностный сток на оголенной почве в несколько раз выше, чем под растительным покровом. Например, на оголенной поверхности сток составил 17 %, а в лесу при поверхностном слое из гумуса – 4 %, из хвойных игл – 1 %.

При уклоне орошаемой площади до 5 % максимально допустимые значения интенсивности дождя для песчаной почвы составляют 20 мм/га (0,33 мм/мин), супесчаной – 15 мм/га (0,25 мм/мин), суглинистой – 12 мм/га (0,20 мм/мин) и глинистой – 10 мм/га (0,17 мм/мин) [13, 14].

Согласно исследованиям А. М. Абрамова [15], сравнение прерывистого дождевания с непрерывным в одинаковых почвенных и рельефных условиях показало, что

при перерывах от 10 до 30 мин (при уменьшении средней интенсивности дождя и уклонах поливаемой площади от 5 до 22°) скорость впитывания увеличивается в среднем в 1,25–2,00 раза. Применяя трехкратное и двукратное регулирование дождя на уклонах 0–15°, можно выдать поливную норму от 265 до 540 м³/га.

Однако следует учитывать, что дождь, создаваемый разной поливной техникой, оказывает различное влияние на почву с точки зрения впитывания воды, разрушения почвенных агрегатов, образования луж и стока.

Результаты этих исследований положены в основу разработки агротехнических требований к поливной технике, программ и методов ее испытаний, то есть в основу выбора характеристик искусственного дождя, которыми оценивается его качество. В соответствии с программой и методикой государственных испытаний поливной техники качество искусственного дождя характеризуется среднеэффективной интенсивностью или слоем осадков в единицу времени, диаметром капель и коэффициентами, учитывающими равномерность распределения дождя на орошаемой площади, то есть равномерность распределения воды по орошаемой площади без образования поверхностного стока и сохранения структуры почвы, а также наименьшее динамическое воздействие капель искусственного дождя на почву и растения.

Список использованных источников

1 Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Сельхозиздат, 1960. – 622 с.

2 Вельбовец, В. А. О дождевой воде на орошаемых полях и допустимой интенсивности искусственного дождя / В. А. Вельбовец // Повышение эффективности орошаемого земледелия. – Одесса, 1974. – С. 34–45.

3 Губер, К. В. Дождевальные машины и их применение / К. В. Губер. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 70 с.

4 Исаев, А. П. Оценка технологических возможностей дождевальной техники на основе определения допустимых норм полива / А. П. Исаев // Улучшение эксплуатации оросительных систем и планировка орошаемых земель. – М.; Колос, 1982. – С. 67–78.

5 Снопич, Ю. Ф. Технологии и агротехнические требования к дождевальным машинам [Электронный ресурс] / Ю. Ф. Снопич // Научный журнал КубГАУ: политематический сетевой электрон. журн. / Кубанский гос. аграрн. ун-т. – Электрон. журн. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – № 68(04). – 10 с. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/04/pdf/39.pdf>. – Шифр Информрегистра 0421100012\0117.

6 Пospelов, А. М. Дождевание / А. М. Пospelов. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 168 с.

7 Ларионова, А. М. Полив дождеванием без поверхностного стока / А. М. Ларионова / Защитное лесоразведение и мелиорация земель в степных и лесостепных районах России. – Волгоград, 1998. – С. 162–164.

8 Ольгаренко, Г. В. Приемы предотвращения водной эрозии при поливе ДМ «Фрегат» / Г. В. Ольгаренко // Проблемы ирригации в Ростовской области: тез. докл. науч.-теор. конф. – Новочеркасск, 1995. – С. 92–105.

9 Шепелев, А. Е. Водопоглощающая способность почвы Ростовской области при поливе дождеванием / А. Е. Шепелев // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. / Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии. – Рязань, 2010. – Вып. 4. – С. 104–106.

10 Штанько, А. С. Обоснование параметров технологии проведения поливов ДМ ДКДФ-1М / А. С. Штанько // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 31–32.

11 Бредихин, Н. П. Улучшение качества полива дальнеструйными дождевальными машинами при ветре / Н. П. Бредихин // Гидротехника и мелиорация. – 1970. – № 8. – С. 69–77.

12 Хабаров, В. Е. Потери воды на испарение и снос ветром при дождевании / В. Е. Хабаров // Рациональное использование и охрана природных ресурсов: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1980. – С. 28–36.

13 Дадио, К. Т. Определение размера капель дождя и выявление характера его распределения / К. Т. Дадио, А. В. Валлендер // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 10. – С. 23–34.

14 Раджаб, Т. Н. Исследование влияния интенсивности дождя на время затопления поверхности почвы / Т. Н. Раджаб // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 2. – С. 12–19.

15 Абрамов, А. М. Определение параметров впитывания воды в почву с учетом энергетических характеристик дождя / А. М. Абрамов // Почвоведение. – 1985. – № 6. – С. 137–143.

УДК 502.521:631.4:631.61

А. В. Алиферов

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

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Целью исследований являлось на примере водохозяйственных объектов Зеленчукской ГЭС-ГАЭС, выступающих в качестве «объекта деятельности» природно-технической системы «природная среда – объект деятельности – население» в пределах бассейновой геосистемы Верхней Кубани [территория Карачаево-Черкесской Республики (КЧР)], рассмотреть критерии экологической безопасности и определить количественные и качественные показатели (P_i и P_j) экологической допустимости (или воздействия) «объекта деятельности», т. е. его функционирование без появления устойчивой негативной тенденции к деградации в пространстве и времени естественных процессов саморегуляции в природных средах).

Ключевые слова: природно-техническая система, зона влияния «объекта деятельности», экологическая безопасность, бассейновая геосистема, экологическое состояние.

Введение. На современном этапе развития цивилизация сталкивается с риском необратимого разрушения окружающей природной среды как среды жизнедеятельности живого вещества. Развитие социальных, экономических и других систем не в полной мере согласовываются с потенциальными возможностями природной среды и законами природы как на локальном уровне бассейновых геосистем, так и на уровне глобальной системы «природа – общество – человек». Негативное воздействие экстенсивного экономического роста разрушает природную среду, что в конечном итоге подрывает и сам экономический рост. Эколого-экономический кризис обуславливает системный кризис от локальных бассейновых геосистем до бассейновых геосистем глобального масштаба и биосферы Земли.

Действующий в настоящее время базисный принцип природно-материальной жизни, в основе которого лежит «потребительство» и экономический рост, несогласованный с законами природы, породил глобальную проблему, связанную с изменением климата, загрязнением гидросферы, атмосферы, опустыниванием земель на водосборных территориях со скоростью порядка 6 млрд га в год, снижением биоразнообразия (до 70 видов ежегодно) представителей животного мира Земли и др. [1].

Вопросы обеспечения экологической безопасности хозяйственной деятельности, связанной с использованием водных ресурсов в различных технологических процессах

промышленного и сельскохозяйственного производства, систем водоснабжения и предприятий топливно-энергетического комплекса привлекают в настоящее время все большее внимание исследователей. Использование водных ресурсов, которые формируются в пространственных пределах бассейновых геосистем, всегда было неразрывно связано с процессами становления и развития человеческой цивилизации, соответственно, и с различными видами хозяйственной и иной деятельности.

Термин «экологическая безопасность» включает в себя обширное понятие, поэтому необходима его конкретизация в зависимости от сферы применения. При использовании водных ресурсов горных водотоков для выработки электрической энергии на ГЭС в **экологической безопасности (ЭБ)** зон влияния «объекта деятельности» (ОД) в большей степени речь идет о допустимых значениях: предельно-допустимый уровень (ПДУ), предельно-допустимый сброс (ПДС) и предельно-допустимый отбор (ПДО).

Развитие различных видов хозяйственной деятельности с использованием водных ресурсов способствовало росту удовлетворения жизненно необходимых потребностей общества (населения), а вместе с этим и возникновению большого количества экологических проблем, связанных с произошедшими изменениями в естественных процессах взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения между природными (биотическими, абиотическими) компонентами природной среды в пространственных пределах бассейновых геосистем.

На современном этапе развития общества природоохранная деятельность становится основным производственным этапом практически во всех видах хозяйственной деятельности, в том числе деятельности, связанной с использованием водных ресурсов, которые формируются в пространственных пределах бассейновых геосистем, включающих в себя приземные слои атмосферы (высотой до 10 км), верхние слои литосферы (глубиной до 300 м) и гидрографическую сеть на земной поверхности в пределах водосборной территории водного объекта (рисунок 1).

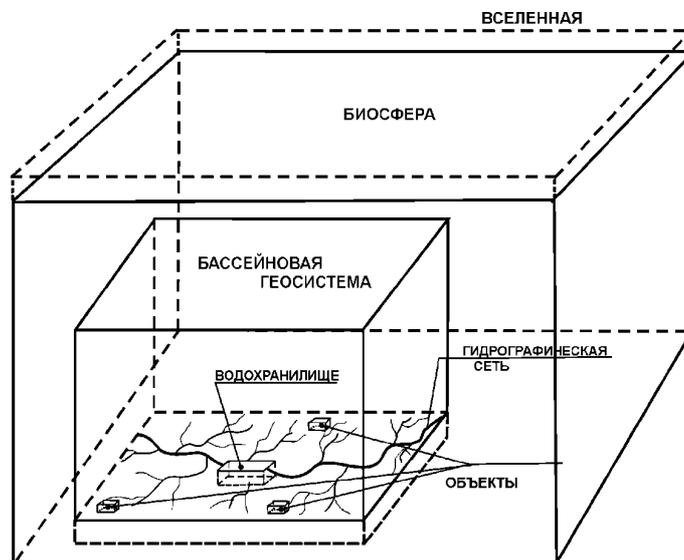


Рисунок 1 – Модель бассейновой геосистемы

Практическое использование водных ресурсов, к примеру, для выработки электрической энергии на ГЭС всегда связано с созданием природно-технической системы (ПТС) «природная среда – ОД – население». В этой системе «природная среда» и «население» рассматриваются в пространственных пределах зон влияния ОД, под которым понимаются водохозяйственный объект (ВО), основные и вспомогательные здания ГЭС. Создаваемые ПТС «природная среда – ОД – население» функционируют в бассейновой геосистеме, в пределах которой формируются качественные и количественные показатели используемых водных ресурсов [2].

Использование водных ресурсов горных водотоков на ГЭС связано со строительством нового или реконструкций существующего ОД, при этом важным понятием является уровень **экологической приемлемости** конструкторских решений и технологий. Экологическая приемлемость определяется показателями ресурсоемкости возобновляемых и невозобновляемых природных, материальных и энергетических ресурсов.

Взаимодействие ПТС «природная среда – ОД – население» с окружающими ее пространственными пределами бассейновой геосистемы (ППБ_г), которая является частью биосферы Земли, осуществляется в соответствии с законом **сохранения мощности** [3], который является базовым инвариантом как в масштабе глобальной системы «природа – общество – человек», так и на локальном уровне рассматриваемых ППБ_г. Согласно закону сохранения мощности $N_{\text{ПОЛ}}$ любое изменение полезной мощности P компенсируется изменением мощности потерь G :

$$N_{\text{ПОЛ}} = P + G[L^5 T^{-5}], \quad (1)$$

где $N_{\text{ПОЛ}}$ – полная мощность, кВт;

P – полезная мощность, кВт;

G – мощность потерь, кВт;

$L^5 T^{-5}$ – мощность, кВт.

Этот закон природы был установлен Лагранжем в 1789 г. и достаточно широко использовался Дж. Максвеллом (1885).

С помощью закона сохранения мощности, выражающего соотношения полезной мощности P и мощности потерь G под контролем полной мощности $N_{\text{ПОЛ}}$, можно производить оценку состояния и направленности процессов взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения ОД с природными средами ППБ_г.

Экологическое состояние в пространстве и времени в зонах влияния ОД определяется движением потоков вещества, энергии и информации, которые количественно и качественно выражаются в предельно-допустимой концентрации (ПДК), ПДУ, предельно-допустимых выбросах (ПДВ), ПДС и ПДО. В энергетическом отношении состояние ПТС «природная среда – ОД – население» определяется балансовым состоянием свободной энергии $E_{\text{СВБ}}$, связанной энергии $E_{\text{СВЗ}}$ и полной энергии $E_{\text{ПОЛ}}$, поступающей в систему:

$$E_{\text{ПОЛ}} = E_{\text{СВБ}} + E_{\text{СВЗ}}, \quad (2)$$

где $E_{\text{СВБ}}$ – часть от полной энергии, которая способна совершать работу;

$E_{\text{СВЗ}}$ – часть от полной энергии, которая не способна совершать работу и обуславливает собой энтропию [4].

Чем больше значение $E_{\text{СВБ}}$, тем выше работоспособность и производительность системы. При доминировании $E_{\text{СВЗ}}$ над $E_{\text{СВБ}}$ система стремится к равновесию, т. е. деградирует. Так, на примере ПТС Зеленчукской ГЭС-ГАЭС, в которой в качестве ОД выступают водохозяйственные объекты, функционирующие в ППБ_г Верхней Кубани, системный баланс энергии $E_{\text{СВБ}}$ и $E_{\text{СВЗ}}$ определяется по данным наблюдений Гидрометцентра и ежегодной статистической отчетности по КЧР. Следует отметить, что основным источником энергии, поступающей в ППБ_г Верхней Кубани и, соответственно, в зоны влияния ПТС «природная среда – ОД – население» является солнечная радиация (98,5 %) от $E_{\text{ПОЛ}}$.

Для оценки уровня изменений, произошедших в естественных процессах преобразования потоков энергии и веществ, а также определения направлений и векторов их развития в зонах влияния ОД, возникает необходимость в проведении экологического мониторинга, включающего в себя совокупность современных методик и способов по-

лучения своевременной и достоверной информации о состоянии и тенденциях изменений, протекающих в природных средах ППБ_r (рисунок 2).

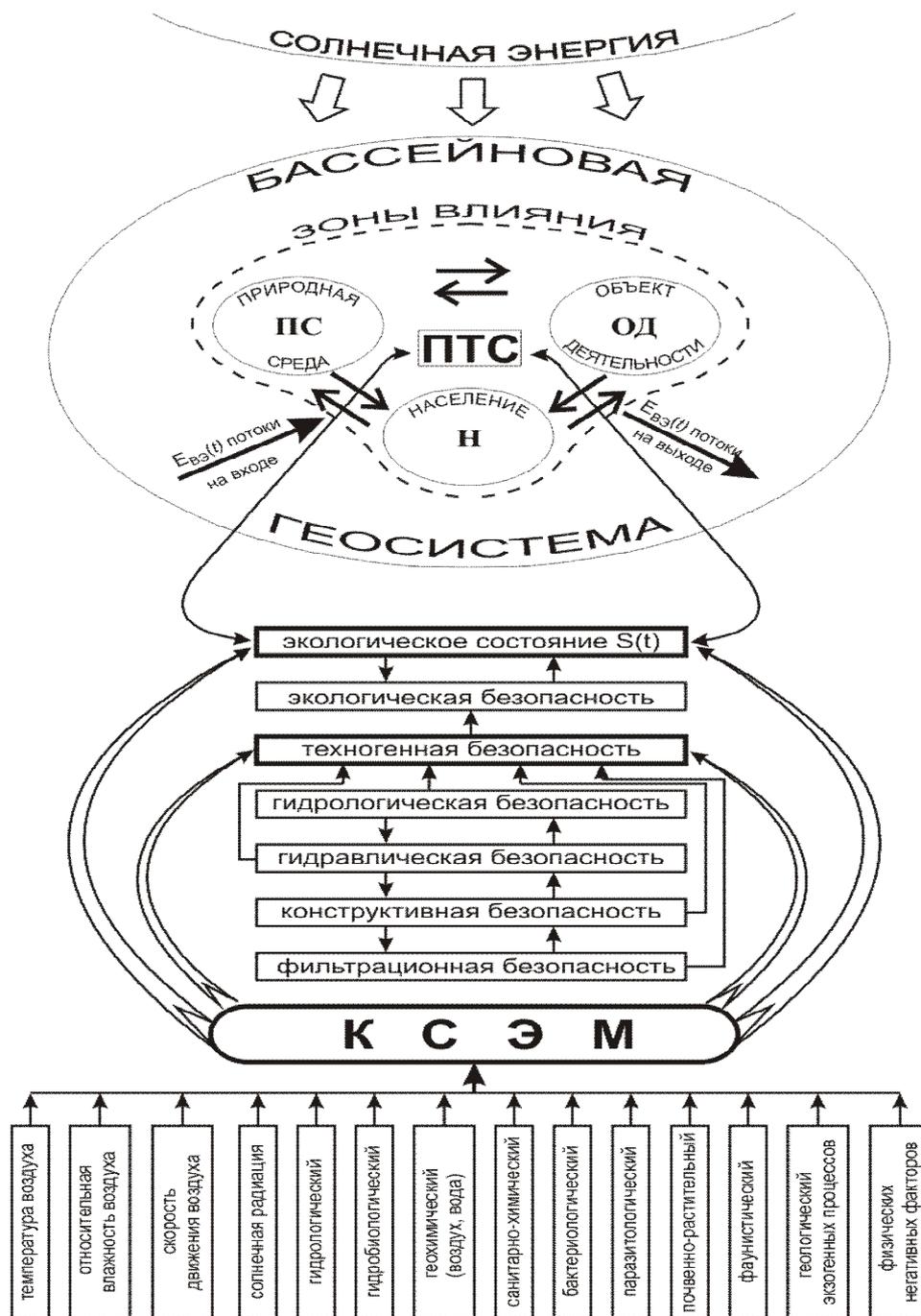


Рисунок 2 – Схема технологии комплекса системно-экологического мониторинга (КСЭМ) в зонах влияния водохозяйственных объектов

Выводы. На основе определений понятий «экологическая безопасность», «экологическое состояние» «экологическая приемлемость» в пространстве и времени в зонах влияния ОД сформулировано понятие «критерии экологической безопасности» для рассматриваемых ПТС «природная среда – ОД – население».

Критериями экологической безопасности (КЭБ) ПТС «природная среда – ОД – население» являются показатели (количественные и качественные) P_i и P_j экологической допустимости (воздействия) ОД на естественные процессы саморегуляции в природных средах, т. е. такое воздействие, которое не вызывает негативных тенденций деградации в пространстве и времени.

Оценку ЭБ в зонах влияния водохозяйственного объекта, в данном случае ОД нами рекомендуется выполнять исходя из следующих концептуальных утверждений:

- ЭБ в зонах влияния ОД тесно связана с процессами жизнедеятельности населения и природной среды;

- ЭБ в зонах жизнедеятельности непосредственно взаимосвязана с энергопотреблением, обуславливающим выработку, хранение, преобразование тепловой, механической, химической, электрической и других видов энергии;

- опасность нарушения ЭБ возникает в результате неуправляемого выхода вещества или энергии, накопленной на водохозяйственных объектах, в их внешнюю среду;

- неуправляемый выход энергии или вещества, особенно токсичного, из ОД во внешнюю среду приводит к радикальному отрицательному изменению процессов жизнедеятельности населения и природной среды в зонах действия данного объекта и сопровождается ущербом для людей, растительного и животного мира, природы и материальных ценностей;

- нарушение ЭБ в зонах действия ОД и в пространственных пределах бассейновой геосистемы является следствием причинной цепи предпосылок, возникших на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации, обусловивших высвобождение энергии и вещества из объекта строительства;

- причинами аварийных ситуаций на ОД являются конструкторское несовершенство, ошибки на стадии проектирования, несоблюдение нормативных и проектных решений на стадии строительства, нарушение правил и инструкций по эксплуатации объекта, что приводит к неуправляемому процессу высвобождения накопленной на объекте энергии или вещества.

Список использованных источников

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

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

3 Кузнецов, О. Л. Система природа – общество – человек. Устойчивое развитие / О. Л. Кузнецов, П. Г. Кузнецов, Б. Е. Большаков. М. – Дубна: Ноосфера, 2000. – 392 с.

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

УДК 628.17:626.81/.84

М. В. Вайнберг

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

ВОДОУЧЕТ НА ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В статье представлен разработанный измерительный комплекс, действующий по методу «уклон – площадь». Описаны функции, комплектация данного комплекса, план расположения на открытом канале оросительной сети, принцип работы. При проведении исследований по установлению минимального допустимого напряжения сети и погрешности определения уровня воды измерительным комплексом в лаборатории отдела эксплуатации мелиоративных систем и водоучета ФГБНУ «РосНИИПМ» за эталонный расход воды принимался расход, полученный объемным методом. Значения расходов воды, определенные при помощи исследуемого измерительного комплекса, ра-

ботающего по методу «уклон – площадь», сравнивались с эталонными значениями. По результатам лабораторных исследований измерительного комплекса выявлено, что максимальная относительная погрешность определения расхода воды по методу «уклон – площадь» по сравнению с эталонным составила $\delta Q_{max} = 1,6 \%$. Использование на гидромелиоративных объектах оросительных систем измерительных комплексов, созданных на основе серийно выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью контроллеров, датчиков, приборов водоучета и водоизмерения, позволит повысить точность и достоверность измерений, а также отслеживать в режиме реального времени значения уровней воды в створах и перепад уровней между створами.

Ключевые слова: водоучет, «уклон – площадь», расход воды, измерительный комплекс, оросительная система, канал.

В нашей стране в современных условиях, когда вода стала дорогостоящим товаром, для рациональной и эффективной эксплуатации оросительных систем должен производиться оперативный и достоверный учет воды. В этой связи возникает потребность не только в оснащении средствами измерений отдельных водозаборных узлов или водовыпусков (водовыделов) в хозяйствах на оросительных системах, но и в полном обеспечении средствами водоизмерения всех необходимых элементов каждой системы (от водоисточника до водовыдела и сбросного канала включительно) [1–4].

Создание измерительных комплексов на основе серийно выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью контроллеров, датчиков, приборов водоучета и водоизмерения на гидромелиоративных объектах оросительных систем экономически выгодно, а с технической точки зрения наиболее целесообразно в случаях организации автоматизированного водоучета.

Для достоверного определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем предлагается измерительный комплекс, работающий по методу «уклон – площадь», который основан на измерении уклона свободной поверхности воды и площади живого сечения с учетом гидравлического сопротивления русла.

Измерительный комплекс состоит из следующих элементов:

- датчика уровня воды с дистанционной передачей сигнала в верхнем измерительном створе;
- датчика уровня воды с дистанционной передачей сигнала в нижнем измерительном створе;
- контроллера, осуществляющего прием и обработку сигналов датчиков;
- соединенного с контроллером персонального компьютера, который оснащен программным обеспечением по определению параметров водотока.

Измерительный комплекс предназначен для учета воды на открытых оросительных каналах (водовыделах, распределительных узлах со свободным либо затопленным режимами истечения) одновременно с осуществлением удаленного или автоматического регулирования водораспределения.

Комплекс базируется на контроллере «Smart», который выполняет функции промышленного компьютера и собирается по принципу модульности в зависимости от поставленной пользователем задачи. Контроллер «Smart» имеет электрически перепрограммируемую энергонезависимую постоянную память (Flash EPROM), обеспечивающую надежное и длительное хранение прикладной программы и данных. Он комплектуется широким спектром периферийных модулей, а также интерфейсными выходами RS 485 и RS 232.

«Smart» поступает к потребителю с предустановленной операционной системой OS-9 и целевой системой ISaGRAF. Написание технологических программ пользователя и их ввод в контроллер производятся с помощью пакета ISaGRAF-DEV, установленного на персональный компьютер с операционной системой Windows 95/98/NT.

Для пользователя операционная система контроллера (OS-9) полностью «прозрачна», то есть специалист работает в привычной для всех обстановке Windows со стандартными (IEC 1131-3) языками программирования контроллеров, написанными для специалиста-технолога. По окончании написания и отладки программы (с полной имитацией работы контроллера) на персональном компьютере (PC) промежуточные коды перегружаются на контроллер. После этого также возможна трассировка и пошаговая отладка программы контроллера прямо на объекте в режиме просмотра на подключенном к контроллеру PC с пакетом ISaGRAF. Измерительный комплекс может укомплектоваться датчиками, имеющими стандартные выходы.

Комплектация измерительного комплекса приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Комплектация измерительного комплекса

Наименование	Назначение	Параметр	Кол-во
Базовый контроллер Smart I/O	Управление измерительным комплексом		1
Периферийный модуль SM-ADC1	Преобразование сигналов датчиков уровня воды	От 4 до 20 мА	1
Периферийный модуль SM-DOUT1	Управление охранной сигнализацией	24 В 300 мА	1
Реле типа РЭС 34		24 В	1
Датчик уровня воды «Honeywell»	Контроль уровня воды в каналах	Питание датчика от 10 до 30 В	2
Модем TBMOD Fastwel	Согласование сигналов объектов связи		2

В комплектации измерительного комплекса также могут использоваться другие (зарубежные (с условием российской сертификации) и отечественные) промышленные контроллеры и датчики уровня воды с идентичными параметрами.

План расположения измерительного комплекса для определения перепада уровней и расхода воды по методу «уклон – площадь» приведен на рисунке 1.

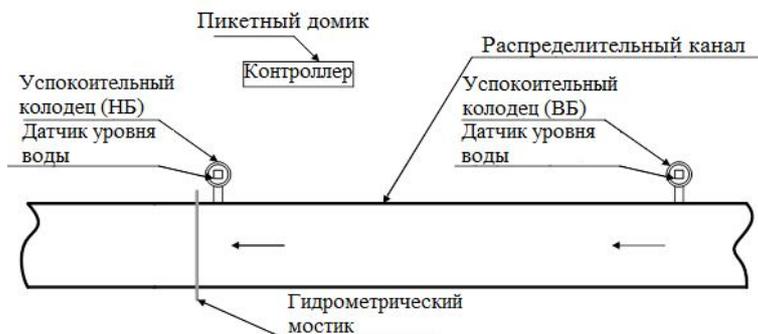


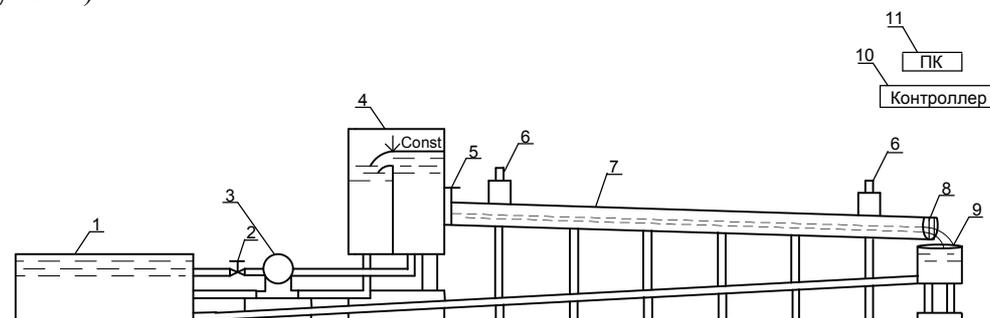
Рисунок 1 – План расположения измерительного комплекса для определения расхода воды по методу «уклон – площадь»

Для контроля уровня воды в канале был выбран акустический датчик «Honeywell», который предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня жидких сред. В качестве пульта оператора возможно использование PC, подключенного к измерительному комплексу по двухпроводной выделенной линии.

Измерительный комплекс работает следующим образом: в верхнем и нижнем измерительных створах в успокоительных колодцах устанавливаются ультразвуковые датчики уровня воды, оснащенные средствами дистанционной передачи показаний уровня. Датчики функционируют в рамках своих паспортных параметров и осуществляют измерение значений уровней, перепада уровней между верхним и нижним ство-

рами, вычисление расхода воды и передачу данных на пункт диспетчера. Искомый расход рассчитывается по формуле, которая является аналитическим решением дифференциального уравнения установившегося, неравномерного, плавно изменяющегося движения воды в открытом канале, по заранее записанной программе с учетом информации о параметрах объекта, оснащенного приборами.

Исследования по определению минимального допустимого напряжения сети и погрешности уровня воды для измерительного комплекса проводились в лаборатории отдела эксплуатации мелиоративных систем и водоучета ФГБНУ «РосНИИПМ». В качестве средства измерения расхода воды применялся прямолинейный участок трубы с полукруглым поперечным сечением, являющийся моделью лотка, оснащенный средством измерения уровней воды в двух створах и удовлетворяющий требованиям к точности измерения уклона поверхности воды. С помощью насосного агрегата вода поступала в емкость для подачи воды в лоток лабораторной установки. Проводились измерения глубины потока в верхнем h_1 и нижнем h_2 гидрометрических створах одновременно (рисунок 2).



1 – емкость для используемой воды; 2 – задвижка; 3 – насос; 4 – емкость для подачи воды; 5 – затвор; 6 – датчики уровня воды для определения h_1 и h_2 в верхнем и нижнем створах; 7 – труба; 8 – жалюзи; 9 – емкость для сбросной воды; 10 – контроллер для приема и обработки дистанционного сигнала с датчиков уровня воды; 11 – компьютер с программой вычисления расхода воды

Рисунок 2 – Лабораторная установка

Эталонный расход воды определялся объемным методом. Изменение расхода воды осуществлялось с помощью затвора 5 (рисунок 2).

Результаты лабораторных исследований измерительного комплекса приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты определения минимального допустимого напряжения сети для измерительного комплекса

Напряжение на выходе АРБ-250, В	Напряжение на выходе SIMATIK-S5-100, В
242	24,0
175	23,8
180	24,0
Минимально допустимое рабочее напряжение сети – 180 В	

Таблица 3 – Результаты определения погрешности уровня воды измерительным комплексом по методу «уклон – площадь»

$Q_{\text{эт}}$, л/с	$Q_{\text{расч}}$, л/с	δQ , %
1	2	3
0,305	0,300	1,6
	0,301	1,3
	0,300	1,6

Продолжение таблицы 3

1	2	3
0,502	0,496	1,2
	0,495	1,4
	0,495	1,4
0,700	0,693	1,0
	0,694	0,9
	0,694	0,9
Максимальная погрешность – 1,4 %		
Примечание – $Q_{эт}$ – эталонный расход воды, рассчитанный объемным методом; $Q_{расч}$ и δQ – значения расхода воды и определения расхода воды, полученные с помощью измерительного комплекса.		

По итогам проведенных исследований следует отметить:

- в ходе лабораторных испытаний измерительного комплекса ожидаемые результаты измерений подтвердились, о чем свидетельствуют данные таблиц 1 и 2;
- создание измерительных комплексов на основе серийно выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью контроллеров, датчиков, приборов водоучета и водоизмерения на гидромелиоративных объектах оросительных систем позволяет повысить точность и достоверность измерений, а также отслеживать в режиме реального времени значение уровней воды в створах и перепада уровней между створами.

Список использованных источников

- 1 Масумов, Р. Р. Методы измерения расхода воды на реках и каналах, в напорных трубопроводах насосных станций и оросительных систем [Электронный ресурс] / Р. Р. Масумов. – Режим доступа: http://cawater-info.net/library/rus/review_water_measurement.pdf, 2015.
- 2 Бочкарев, В. Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах [Электронный ресурс] / В. Я. Бочкарев. – Режим доступа: <http://rosniipm.ru/izdan/2012/bochkarew.pdf>, 2012.
- 3 Рекомендации по водоучету и водоизмерению на гидромелиоративных объектах: отчет о НИР (заключ.): 1.89 / ФГНУ «РосНИИПМ»; рук. Бочкарев В. Я. – Новочеркасск, 2003. – 114 с. – Исполн.: Щедрин В. Н., Чураев А. А., Клишин В. Т. [и др.]. – № ГР 01200316771. – Инв. № 02200306950.
- 4 Системные принципы водоучета и управления водораспределением на оросительной сети / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 235 с.

УДК 631.6:626.8

К. В. Нитетина

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

КОНВЕРГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Целью исследования явилось рассмотрение концептуальных вопросов интеграции отраслевых фундаментальных технологий, способных обеспечить более рациональное использование водных ресурсов в сельскохозяйственном производстве, в частности на орошаемых землях.

Ключевые слова: система, бассейновая геосистема, энергия, вода, пища, технология, интеграция, конвергенция.

Введение. Современное развитие общества как на глобальном уровне системы «природа – общество – человек» в пространственных процессах биосферы Земли ($W_{\text{биосф}} = 1 \cdot 10^{10} \text{ км}^3$), так и локальном уровне бассейновых геосистем, где формируются водные ресурсы (поверхностный и подземный сток) и ведутся все виды многогранной хозяйственной и иной деятельности, характеризуется устойчивым ростом актуальности всех аспектов взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношений между обществом и природой [1].

Системная взаимосвязь, взаимодействия и взаимоотношения между хозяйственной или иной деятельностью с природными средами (атмосферой, гидросферой, литосферой и почвенным покровом) способствуют формированию устойчивой тенденции к увеличению потребления природных ресурсов (не возобновляемых – до 85 %, возобновляемых – до 15 %). Из них наиболее жизненно важными являются водные ресурсы, потребление которых по массе превышает все остальные ресурсы вместе взятые.

Следует отметить, что значительное водопотребление в различных сферах жизнедеятельности развивающегося общества обуславливается, с одной стороны, критической необходимостью для всех живых организмов и технологических процессов в промышленном и сельскохозяйственном производстве, с другой стороны, уникальностью физико-химических природных свойств, которые по предположениям были сформированы более четырех млрд лет назад в период образования Солнечной системы из гигантского первоначального облака из газа и пыли [2]. Уникальность воды как широко распространенного природного ресурса обуславливает собой множество ее видов (атмосферная, биологическая, речная, многолетняя мерзлота, горные и полярные ледники, подземная в верхних слоях литосферы, почвогрунтовая, болотная, озерная, морская и Мировой океан), которые взаимосвязаны в глобальном гидрологическом процессе влагооборота. Следует также отметить, что время их использования и возобновления различно и составляет от нескольких часов (биологический вид) до 10000 лет (многолетняя мерзлота) [3].

При системном рассмотрении процессов жизнедеятельности и осуществляемых видов хозяйственной или иной деятельности как на глобальном уровне системы «природа – общество – человек», так и на локальном уровне бассейновых геосистем (рисунок 1) наблюдается определенная ограниченность природных ресурсов в условиях дальнейшего развития. Под давлением роста численности населения и его потребительской активности лимиты, вводимые на использование природных ресурсов в ограниченных условиях, обуславливают устойчивую тенденцию к возникновению глобальных и локальных кризисных ситуаций, которые характеризуются возникающими проблемами во многих сферах жизни общества.

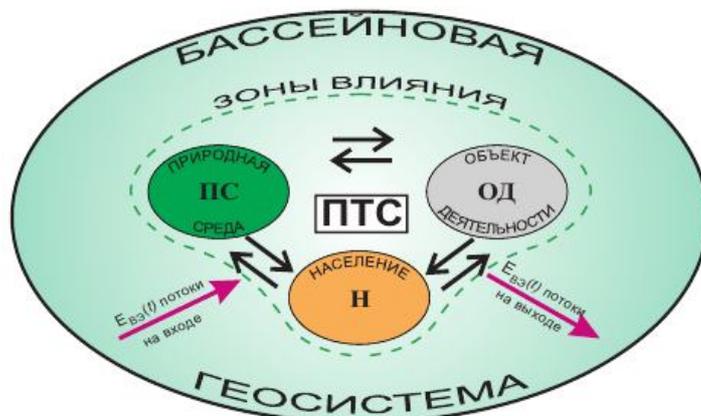


Рисунок 1 – Модель природно-технической системы «природная среда – объект деятельности – население» в пространственных пределах бассейновой геосистемы

Исходя из взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношений между проводимой хозяйственной или иной деятельностью, современное развитие общества характеризуется рядом глобальных проблем, из которых наиболее важные – энергия, вода и пища, и от решения которых зависит решение других значимых и не менее острых проблем: экологии, нищеты, терроризма, военных конфликтов, болезней, образования, социальной демографии [2]. Например, при достаточном количестве энергии по доступной цене, необходимой для забора воды из водоемного источника (река, озеро), и ее транспортировки к конкретному водопотребителю (сельскохозяйственные культурные растения на орошаемом участке пашни) можно получить более высокую урожайность растений как продукта питания.

При системном рассмотрении взаимосвязи энергии, воды и пищи можно отметить, что нехватка одного вызывает недостаток других. Такой системный методологический подход в решении проблем, связанных с энергией, водой, пищей позволяет видеть реальные перспективы их решения на локальном уровне бассейновых геосистем Северо-Кавказского и Южного федеральных округов (бассейны Нижнего Дона, Кубани, Терека), где проживает более 23 млн чел. (16,3 % от числа жителей РФ) [3]. Комплексное использование водных ресурсов, формирующихся в пространственных процессах бассейновых геосистем Нижнего Дона ($W_{\text{био}} = 1040,3$ тыс. км³), Кубани ($W_{\text{био}} = 597,4$ тыс. км³) и Терека ($W_{\text{био}} = 442,9$ тыс. км³) в суммарном количестве 625,6 тыс. км³ водных ресурсов в год, обеспечивается действующими водохозяйственными комплексами, которые базируются на гидротехнических сооружениях различных типов в количестве 10709 шт.

На основе результатов анализа речного стока бассейнов: Дона ($F_{\text{водосбор.}} = 422$ тыс. км²), Кубани ($F_{\text{водосбор.}} = 57,9$ тыс. км²), Терека ($F_{\text{водосбор.}} = 43,2$ тыс. км²) за период до 2014 г. была установлена устойчивая тенденция к уменьшению объемов воды (поверхностного и подземного стоков) по сравнению со среднесуточными данными. При системном рассмотрении выявлено, что уменьшение речного стока обусловливает собой понижение объемов воды на действующих регулирующих водохранилищах и, соответственно, падение отметок уровней воды в них (ниже НПУ). Это вызывает ряд нежелательных последствий, связанных с уменьшением отбираемых на водозаборных сооружениях гидроузлов объемов воды, в том числе на орошение, сокращением выработки электрической энергии на действующих ГЭС и, соответственно, снижением урожайности сельскохозяйственных культур (овощей, кукурузы и т. д.) и другие негативные явления.

Характерным примером является Цимлянское водохранилище на реке Дон (площадь водного зеркала – 2702 км² при НПУ 23,90 км³, полный объем – 23,90 км³, полезный объем – 11,54 км³), комплексное использование которого связано со многими видами хозяйственной деятельности: ирригацией, судоходством, гидроэнергетикой, рыбным хозяйством, водоснабжением, рекреацией. Наблюдаемое последние три года снижение уровней воды в водохранилище ниже отметки НПУ в значительной степени отразилось практически на всех видах хозяйственной деятельности, особенно на сельскохозяйственном производстве на орошаемых землях, выработке электрической энергии, водном транспорте и рыбном хозяйстве.

Следовательно, системная взаимосвязь, взаимодействие и взаимоотношения энергии, воды и пищи, отмечаемые на глобальном уровне природно-технической системы (ПТС) «природа – общество – человек», в полной мере отражаются на локальном системном уровне «природная среда – объект деятельности – население», где в качестве «природной среды» выступают пространственные пределы бассейновой геосистемы реки Дон, «объекта деятельности – Цимлянский гидроузел, «населения» – население, проживающее в зонах влияния «объекта деятельности». Следует отметить, что рассматриваемая локальная бассейновая геосистема является частью глобальной системы биосферы Земли, которая оказывает влияние на внутрисистемные процессы самоорга-

низации локальной системы, в пределах которой ведется многогранная хозяйственная деятельность, исходя из взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношений наиболее важных ресурсных системных составляющих: энергии, воды, пищи.

Решение современных проблем, связанных, к примеру, с сельскохозяйственным производством на орошаемых землях становится возможным [4, 5], если будут сформированы устойчивые тенденции к снижению удельных энергозатрат, водных ресурсов и пищевых отходов на единицу готовых продуктов питания (хлеб, молоко, мясо и др.). Результаты многолетних исследований ПТС «природная среда – объект деятельности – население» в области использования водных ресурсов показывают, что главным и практически единственным направлением решения данной проблемы являются совершенствование имеющихся и создание новых технологий производства сельскохозяйственной продукции с использованием современных научных подходов.

Один из таких научных подходов – конвергентный. Он объединяет в себе достижения в фундаментальных знаниях (физике, химии, биологии, математике и др.), отраслевых научных направлениях (материаловедении, гидрологии, гидравлике, информатики и др.) и может применяться для решения вопросов использования водных ресурсов в сельскохозяйственном производстве. Технологический прогресс в данной отрасли хозяйственной деятельности, как показывает анализ, продолжает развиваться линейно, путем модификации, усовершенствования уже изобретенного, как например, в дождевальной технике увеличением или уменьшением числа разбрызгивающих воду насадок и т. п.

Так, при анализе водохозяйственного комплекса, действующего в пределах Ростовской области установлено, что значительное количество электрической энергии для АПК может быть получено на базе действующих внутрисистемных гидротехнических сооружений (ГТС), имеющих перепады до 5 м. Результаты проведенных предварительных расчетов показали, что строительство малых ГЭС на действующих ГТС Ростовской области суммарной установленной мощностью 66,6 МВт с годовой выработкой электроэнергии порядка 570 млн кВт·час позволят значительно уменьшить энергозависимость АПК и, соответственно, внедрить энергосберегающие технологии как на орошаемых землях, так в АПК в целом.

Биотехнологии должны быть сосредоточены на использовании водных ресурсов, исходя из закона убывающей производительности, то есть водный режим в корнеобитаемом слое почвы должен быть управляем и создавать возможность манипулирования процессами взаимосвязи и взаимодействия между потреблением необходимого количества воды растениями и технологией подачи воды в активный слой почвы. Таким образом, биотехнология будет способствовать повышению эффективности использования оросительной воды, а в системном понимании – согласованию водного режима с основными факторами жизнедеятельности растений, что определяется известным законом равнозначности действующих факторов и незаменимости одного другим.

Водный режим растений в системном понимании неотъемлемо связан с основными параметрами микроклимата (влажность, температура, скорость движения воздуха) в окружающих природных средах: приземных слоях атмосферы, почвенном покрове, где доминирующим является содержание влаги (воды). Поэтому для регулирования водного режима растений требуются современные информационные технологии, позволяющие своевременно определять дефицит влаги в корнеобитаемом слое и применять систему подачи воды в оптимальном режиме.

Выводы

1 Главным условием повышения эффективности использования оросительной воды в системном понимании является согласование водного режима с основными факторами жизнедеятельности растений, что обуславливается известным законом равнозначности действующих факторов и незаменимости одного другим.

2 На основе единства действий естественных процессов преобразований в природных средах (почвенном покрове, атмосфере) и комплекса оросительной системы в пределах зоны влияния формируется возможность манипулирования процессами взаимосвязи и взаимодействия между природными и техногенными компонентами с целью повышения эффективности и рационального использования оросительной воды на орошаемых землях.

Список использованных источников

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

2 Уэббер, М. Задача для всей планеты / М. Уэббер // В мире науки. – 2015. – № 4. – С. 65–71.

3 Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году». – М.: НИА-Природа, 2010. – 288 с.

4 Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, С. М. Васильев [и др.]; под общ. ред. В. Н. Щедрина; ФГНУ «РосНИИПМ». – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. – 342 с.

5 Повышение эффективности использования оросительной воды природно-техническими системами в сельскохозяйственном производстве [Электронный ресурс] / В. Л. Бондаренко, Н. А. Иванова, А. В. Кувалкин, Г. Л. Лобанов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – № 3(19). – 16 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=351&id=365>.

УДК 556.114

Э. И. Чембарисов, И. Э. Махмудов, Т. Ю. Лесник

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

Ю. С. Вахидов

Государственное унитарное предприятие «Геоинформкадастр», Ташкент, Республика Узбекистан

А. И. Долидудко

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОД СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫРДАРЬИ

В статье представлены результаты исследований минерализации и химического состава речных вод среднего течения бассейна р. Сырдарья. Проведен анализ изменения минерализации воды в реках Республики Узбекистан: Сырдарья (от створа кишлак Каль до створа г. Чиназ), Чирчик (от створа выше г. Газалкента до г. Чиназа), Ахангаран (от створа ниже устья р. Иртыш до створа выше устья реки). Определена величина солевого стока, попадающая на орошаемые поля вместе с поливной водой.

Ключевые слова: бассейн р. Сырдарья, минерализация и химический режим воды, солевой сток.

Бассейн р. Сырдарья (одной из главных водных артерий Республики Узбекистан) является крупнейшим в Центральной Азии по площади и длине. Сток воды образуется на отрогах хребтов Тянь-Шаня, откуда река выходит сначала в степные про-

странства, затем, в низовьях прорезая пустыню Кызылкум, впадает в малое Аральское море. Границы бассейна Сырдарьи четко обозначены только в пределах горного рельефа (юго-восточная часть), поэтому точная площадь ее бассейна может быть определена только на участке выхода реки из хребтов Ферганской долины (рисунок 1).

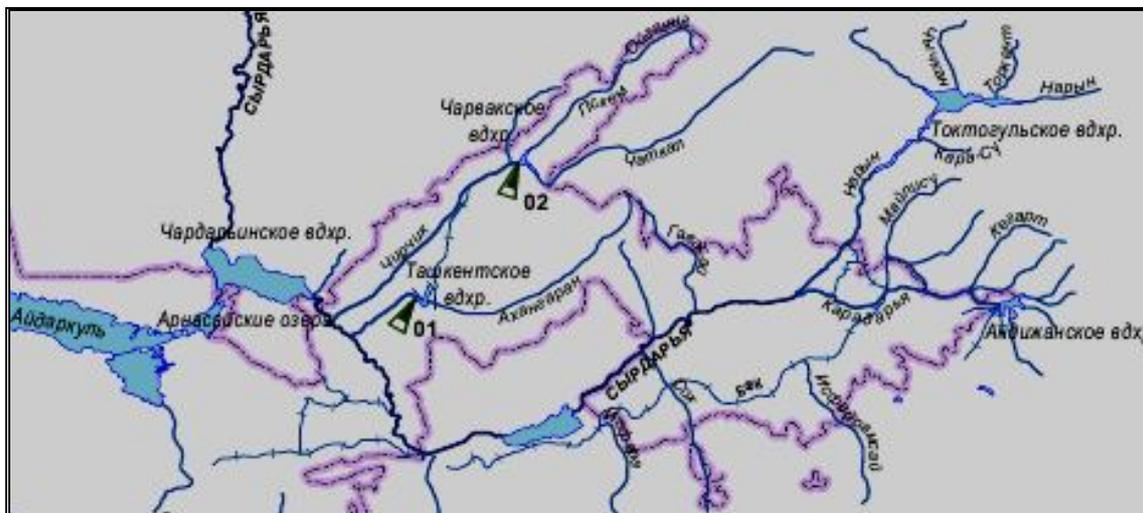


Рисунок 1 – Схема расположения бассейна р. Сырдарьи

Водосбор бассейна р. Сырдарьи складывается основными высокогорными хребтами Тянь-Шаня (Алайский, Туркестанский), поэтому вечные снега и оледенение занимают здесь достаточно большую площадь, хотя она значительно меньше, чем в бассейне р. Амударьи.

Сырдарья образуется слиянием рек Нарына и Карадарьи в восточной части Ферганской долины. По своей протяженности (2137 км) Сырдарья – одна из наиболее крупных рек Центральной Азии, по водоносности она уступает только Амударье. Наибольшее число притоков сосредоточено в Ферганской долине. Характер питания и режим рек бассейна определяется высотами хребтов и связанным с ними образованием вечных снегов, снежников и оледенения. Реки ледниково-снегового типа питания встречаются только в верховьях Нарына и на северных склонах Туркестанского и Алайского хребтов (реки Аксу, Ходжабакирган, Исфара, Сох, Шахимардан, Исфайрам, Араван и Акбура). Но наиболее крупные реки бассейна р. Сырдарьи и большинство мелких притоков (Нарын и Карадарья), р. Чирчик (самый водоносный приток Сырдарьи), ее крупные правые притоки в Ферганской котловине, многие притоки Нарына, Карадарьи, Чирчика и другие относятся к рекам снегово-ледникового типа питания.

Этим бассейн р. Сырдарьи резко отличается от соседних с ним бассейнов (р. Амударьи на юге, р. Чу и р. Талас, озера Иссык-Куль на севере), где преобладают реки ледниково-снегового типа питания. Вторая особенность бассейна р. Сырдарьи – его гораздо меньшая абсолютная водоносность по сравнению с бассейном р. Амударьи (11 л/с км²).

Практически ни один из притоков р. Сырдарьи в Ферганской долине не доносит свою воду до главной реки вследствие ее использования в целях орошения. Ниже выхода из Ферганской котловины Сырдарья не имеет левых притоков, две сравнительно крупные реки (Зааминская и Санзара) до нее не доходят. Справа в нее впадает р. Ахангаран (Ангрен), далее р. Чирчик – наиболее крупный и водоносный приток, а затем р. Келес и р. Арысь. Территория бассейна принадлежит четырем центральноазиатским государствам: Кыргызстану, Узбекистану, Таджикистану (очень незначительная часть) и Казахстану (нижняя часть бассейна). Здесь сосредоточено около половины населения Центральной Азии. Сельское хозяйство и промышленность бассейна достигли высокого экономического уровня, особенно в пределах Республики Узбекистан. Большое количество

тепловых ресурсов и наличие плодородных земель, с одной стороны, и явный недостаток атмосферных осадков, с другой, обусловили развитие и широкое применение орошения.

Основные возделываемые сельскохозяйственные культуры – хлопчатник (до р. Чардары) и рис (в нижнем течении реки). В предгорьях, где больше атмосферных осадков, выращивают сельскохозяйственные культуры с коротким вегетационным периодом, главным образом колосовые. В этой зоне распространено богарное земледелие. За пределами орошаемого земледелия расположены пастбищные угодья. По подсчетам специалистов, территория бассейна р. Сырдарья – 443 тыс. км², что составляет 32 % всей территории Центральной Азии. Сырдарья – вторая по водоносности река Центральной Азии.

Поверхностные водные ресурсы бассейна Сырдарья (до Чардары) оцениваются в объеме 33,2 км³ с колебаниями по годам. Основные водные ресурсы бассейна (74 %) образуются в Ферганской долине. Расходы воды в реках подвержены не только внутригодовым колебаниям, но и изменяются от года к году. На реках бассейна построено и функционирует 18 водохранилищ, наиболее крупными из них являются Токтогульское (полная емкость составляет 19,5 млн км³, введено в эксплуатацию в 1974 г.), Чардаринское (15,7 км³, 1966 г.), Кайраккумское (4,02 км³, 1956 г.), Чарвакское (2,0 км³, 1977 г.), Андижанское (1,75 км³, 1978 г.). Строительство водохранилищ и увеличение водозабора из рек значительно изменило их водный режим, особенно в нижних течениях. В связи с увеличением поступления в реки коллекторно-дренажных (возвратных) вод в осенние месяцы уровень воды в них несколько повышается. Но в целом, как будет показано ниже, гидрологические условия Сырдарьи по мере развития ирригации ухудшились, особенно в низовьях реки.

Самым крупным водопотребителем является орошаемое земледелие. Наибольшая орошаемая площадь расположена в Ферганской долине, существенной она также является в Голодной степи и Ташкентском оазисе. В нижнем течении реки наиболее крупными орошаемыми массивами являются Арысь-Туркестанский и Кызылординский. В пределах Кыргызстана орошаются меньшие по размерам площади [1–5].

Особенности гидрохимического режима. В настоящее время химический состав воды Сырдарьи определяется в шести створах: Сырдарья – г. Наманган (кишлак Каль), Сырдарья – выше г. Бекабада, Сырдарья – ниже г. Бекабада, Сырдарья – пос. Надеждинский, Сырдарья – г. Чиназ (показатели последних лет дополняются данными по створу – 0,5 км ниже устья коллектора ГПК-С), Сырдарья – ниже устья коллектора ГПК-С. В Чирчике состав воды определяется в восьми створах, а в Ахангаране – в шести створах (таблица 1).

Таблица 1 – Список постов рек среднего течения р. Сырдарьи, на которых осуществлялся отбор проб воды на химический анализ

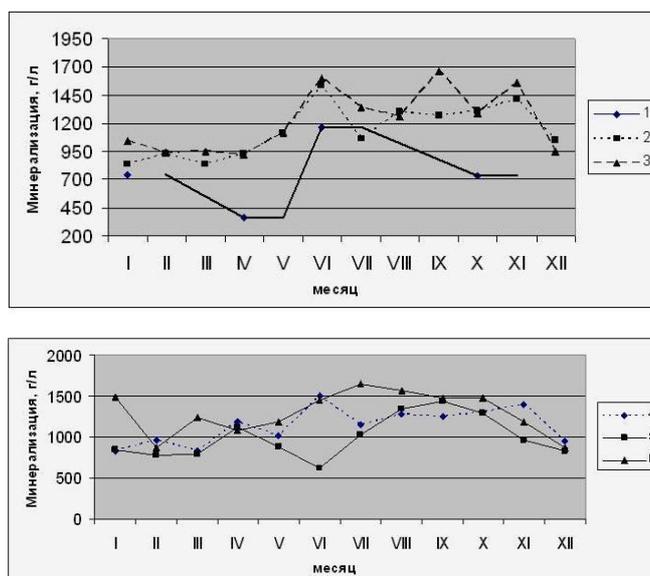
Номер поста	Название поста
1	2
1	р. Сырдарья – г. Наманган (в черте кишлака Каль)
2	р. Сырдарья – г. Бекабад, выше сброса сточных вод металлургического завода
3	р. Сырдарья – г. Бекабад, ниже сброса сточных вод ПУ «Водоканал»
4	р. Сырдарья – пос. Надеждинский
5	р. Сырдарья – ниже устья коллектора ГПК-С (г. Чиназ)
6	р. Сырдарья – 0,5 км ниже впадения р. Геджиген
7	р. Чирчик – 0,3 км выше г. Газалкента
8	р. Чирчик – 0,5 км ниже г. Газалкента
9	р. Чирчик – 2,5 км выше сбросов ЧПО «Электрохимпром»
10	р. Чирчик – 3,0 км ниже сбросов УзКТЖМ
11	р. Чирчик – 1,0 км выше г. Ташкента

Продолжение таблицы 1

1	2
12	р. Чирчик – в черте г. Ташкента, 3,0 км ниже сбросов Сергелийского КМС
13	р. Чирчик – 0,5 км ниже пос. Новомихайловка
14	р. Чирчик – г. Чиназ
15	р. Ахангаран – 0,4 км ниже устья р. Иртыш
16	р. Ахангаран – в черте г. Ангрена, 0,5 км ниже Ахангаранской плотины
17	р. Ахангаран – 1,0 км ниже дюкеров Ташканала
18	р. Ахангаран – 0,5 км ниже плотины Туябугузского водохранилища
19	р. Ахангаран – 3,0 км выше пгт. Солдатское
20	р. Ахангаран – пгт. Солдатское, 0,5 км выше устья

В течение рассматриваемого 2015 г. величина минерализации воды в р. Сырдарье изменялась в зависимости от расположения створа наблюдений следующим образом (рисунок 2):

- в черте кишлака Каль – от 0,36 г/л (апрель) до 1,16 г/л (июнь) при среднегодовой минерализации 0,75 г/л;
- 0,25 км выше г. Бекабада – от 0,84 г/л (январь) до 1,53 г/л (июнь) при среднегодовой минерализации 1,14 г/л. С декабря по апрель наблюдались минимальные значения минерализации, а с мая по ноябрь – максимальные;
- 0,9 км ниже сброса ПУ «Водоканал» – от 0,92 г/л (апрель) до 1,60 г/л (июнь) при среднегодовой минерализации 1,22 г/л;
- 6 км к северо-востоку от пос. Надеждинский – от 0,83 г/л (январь) до 1,50 г/л (июнь) при среднегодовой минерализации 1,14 г/л. С декабря по апрель наблюдались минимальные значения минерализации, а с мая по ноябрь – максимальные;
- 0,5 км ниже устья коллектора ГПК – от 0,62 г/л (июль) до 1,43 г/л (сентябрь) при среднегодовой минерализации 0,99 г/л;
- 0,5 км ниже впадения р. Геджиген – от 0,87 г/л (декабрь) до 1,64 г/л (июль) при среднегодовой минерализации 1,29 г/л.



1 – в черте кишлака Каль; 2 – 0,25 км выше г. Бекабада; 3 – 0,9 км ниже сброса ПУ «Водоканал»; 4 – 6 км к северо-востоку от пос. Надеждинский; 5 – 0,5 км ниже устья коллектора ГПК-С; 6 – 0,5 км ниже впадения р. Геджиген

Рисунок 2 – Внутригодовое изменение минерализации речных вод среднего течения р. Сырдарьи за 2015 г.

Из приведенных данных видно, что величина минерализации в среднем течении Сырдарьи в пределах рассматриваемых створ сверху вниз по течению повышается с 0,75 до 1,29 г/л, т. е. в 1,7 раза.

В верхнем течении Сырдарьи (кишлак Каль) среди анионов преобладает сульфатный ион, на втором месте – гидрокарбонатный ион, на третьем – хлоридный. Среди катионов преобладает ион кальция. На втором месте – ион натрия, на третьем месте – ион магния.

В нижнем течении Сырдарьи (ниже устья коллектора ГПК-С) среди анионов преобладает сульфатный ион, на втором месте – гидрокарбонатный ион, на третьем – хлоридный. Среди катионов преобладает ион натрия. На втором месте – ион кальция, на третьем месте – ион магния.

В целом закономерность изменений химического состава воды по длине реки сохраняется и в последние годы. Если в верховьях реки показатель минерализации – 0,38–0,44 г/л, а состав воды – от сульфатно-гидрокарбонатного до натриево-магниевое-кальциевого (СГ–НМК), то в нижнем течении минерализация – 0,95–1,29 г/л, при этом состав воды меняется от сульфатного до магниевое-кальциево-натриевого (С–МКН).

В течение 2015 г. величина минерализации воды р. Чирчика изменялась в зависимости от расположения створа наблюдений следующим образом (рисунок 3):

- 0,3 км выше г. Газалкента – от 0,15 г/л (июнь) до 0,23 г/л (апрель) при среднегодовой минерализации воды 0,19 г/л. Во время половодья (с мая по август) наблюдаются минимальные значения минерализации, а в меженный период (с сентября по февраль) – максимальные. Подобное изменение минерализации происходит и у створа 0,5 км ниже г. Газалкента;

- 2,5 км выше сбросов ЧПО «Электрохимпром» – от 0,19 г/л (июнь) до 0,47 г/л (сентябрь) при среднегодовой минерализации воды 0,34 г/л;

- 3,0 км ниже сбросов УзКТЖМ – от 0,17 г/л (июнь) до 0,28 г/л (апрель) при среднегодовой минерализации воды 0,22 г/л;

- выше г. Ташкента – от 0,18 г/л (июнь) до 0,34 г/л (октябрь) при среднегодовой минерализации воды 0,27 г/л. Створ в черте г. Ташкента, 3 км ниже сбросов Сергелийского КМС – от 0,23 г/л (июнь) до 0,46 г/л (апрель) при среднегодовой минерализации воды 0,32 г/л;

- 0,5 км ниже пос. Новомихайловка – от 0,23 г/л (июнь) до 0,48 г/л (сентябрь) при среднегодовой минерализации воды 0,32 г/л;

- г. Чиназ – от 0,26 г/л (июнь) до 0,93 г/л (июль) при среднегодовой минерализации воды 0,57 г/л.

Из приведенных данных видно, что величина минерализации сверху вниз по течению повышается с 0,19 до 0,57 г/л, т. е. в три раза.

Химический состав воды в верховьях Чирчика – от гидрокарбонатного до натриево-кальциевого (Г–НК). В нижнем течении реки у створа г. Чиназ он меняется от гидрокарбонатно-сульфатного до натриево-магниевое-кальциевого (ГС–НМК).

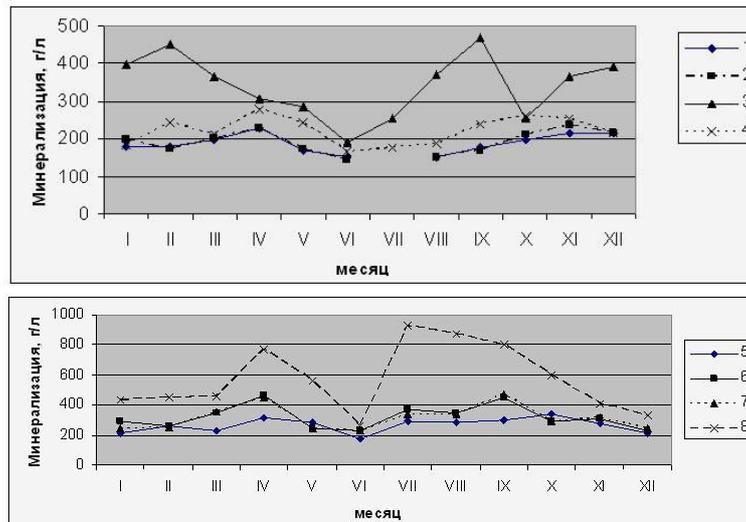
Величина минерализации воды в Ахангаране в течение рассматриваемого периода изменялась в зависимости от расположения створов наблюдений следующим образом (рисунок 4):

- 0,4 км ниже устья р. Иртыш – от 0,06 г/л (июнь) до 0,18 г/л (май) при среднегодовой минерализации воды 0,12 г/л. Во время половодья (июнь–август) наблюдаются наименьшие значения минерализации, в меженный период (сентябрь–март) – наибольшие;

- в черте г. Ангрена, 0,5 км ниже Ахангаранской плотины – от 0,08 г/л (июнь) до 0,29 г/л (декабрь) при среднегодовой минерализации воды 0,14 г/л;

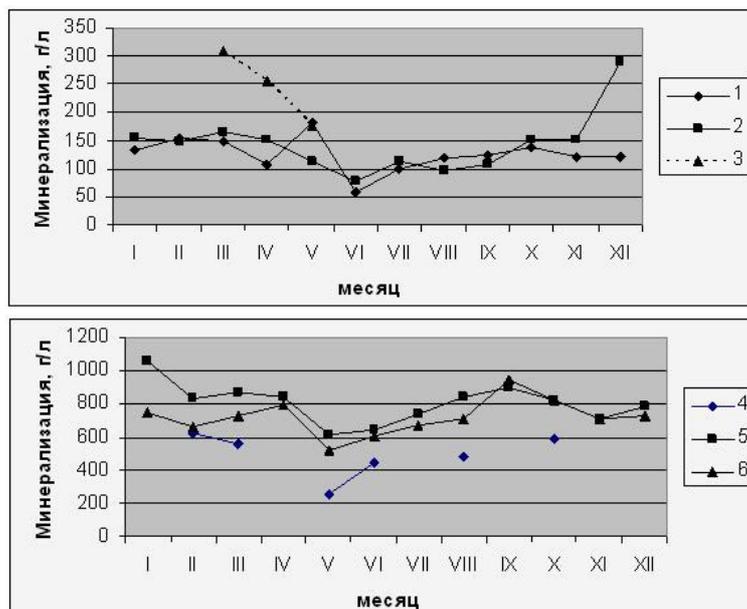
- 0,5 км ниже плотины Туябугузского водохранилища – от 0,26 г/л (май) до 0,62 г/л (февраль) при среднегодовой минерализации воды 0,49 г/л;

- 3,0 км выше пгт. Солдатское – от 0,62 г/л (май) до 1,05 г/л (январь) при среднегодовой минерализации воды 0,80 г/л.



1 – 0,3 км выше г. Газалкента; 2 – 0,5 км ниже г. Газалкента; 3 – 2,5 км выше сбросов ЧПО «Электрохимпром»; 4 – 3 км ниже сбросов УзКТЖМ; 5 – 1 км выше г. Ташкента; 6 – в черте г. Ташкента, 3 км ниже сбросов Сергелийского КМС; 7 – 0,5 км ниже пос. Новомихайловка, 8 – г. Чиназ

Рисунок 3 – Внутригодовое изменение минерализации речных вод р. Чирчик за 2015 г.



1 – 0,4 км ниже устья р. Иртыш; 2 – в черте г. Ангрена, 0,5 км ниже Ахангаранской плотины; 3 – 1 км ниже дюкеров Ташканала; 4 – 0,5 км ниже плотины Туябугузского водохранилища; 5 – 3 км выше пгт. Солдатское; 6 – пгт. Солдатское, 0,5 км выше устья реки

Рисунок 4 – Внутригодовое изменение минерализации речных вод р. Ахангаран за 2015 г.

Из приведенных данных видно, что величина минерализации сверху вниз по течению повышается с 0,12 до 0,80 г/л, т. е. почти в семь раз.

Химический состав воды в верховьях Ахангарана – от сульфатно-гидрокарбонатного до натриево-кальциевого (СГ–НК). В нижнем течении реки у створа пгт. Солдатское он меняется от гидрокарбонатно-сульфатного до магниевонатриево-кальциевого (ГС–МНК).

Определение солевого стока. Динамика солевого стока рек бассейна р. Сырдарья (значительная часть которого в настоящее время поступает на орошаемые земли) оценивалась по показателям гидрологических створ, расположенных выше орошаемых массивов. Величина солевого стока определялась общепринятым способом (как произведение водного стока и среднегодового показателя минерализации).

Для приблизительных расчетов за среднегодовой показатель минерализации можно принять ее среднеарифметическую величину из имеющихся данных химических анализов. Однако более объективные данные можно получить, если в расчетах использовать среднегодовые величины минерализации, «взвешенные» по стоку.

Было выявлено, что для расчета достаточно сопоставить «взвешенные» данные по минерализации за два периода: период половодья (ирригация в вегетационный период) и межень (невегетационный период).

Некоторые специалисты-гидрологи предлагают определять среднегодовую величину минерализации с учетом данных по расходам и минерализации воды за каждый месяц. При этом приходится проводить большой объем работ, так как предварительно необходимо построить графики связи между расходами воды и ее минерализацией. Раньше, когда наблюдения изменения минерализации по разным годам не проводились, было достаточно построить один общий график (для всего года) или же три графика с учетом фазово-однородных периодов гидрологического режима рек: подъем половодья, спад половодья, межень. В настоящее время подобные графики необходимо строить отдельно для различных периодов.

Вернемся к вопросу изменения солевого стока в реках Узбекистана. Эти изменения на некоторых, наиболее изученных в гидрохимическом отношении створах, показаны в таблице 2. При ее составлении предварительно рассчитывались среднегодовые величины минерализации с учетом «взвешивания» данных по двум выделенным выше внутригодовым периодам, а затем определялась величина солевого стока. Причем величины солевого стока были подсчитаны за отдельные периоды, характеризующие разную степень влияния орошения на минерализацию речной воды.

Результаты исследований. Сведения таблицы 2 представляют собой осредненные характеристики солевого стока рек, на основании которых можно сделать некоторые выводы по его многолетнему изменению.

Таблица 2 – Величины солевого стока, выносимого реками среднего течения р. Сырдарья

Номер поста	Название поста	В млн т		
		2013 г.	2014 г.	2015 г.
1	р. Сырдарья – г. Наманган, в черте кишлака Каль	6,990	8,98	9,01
2	р. Сырдарья – ниже сбросов КМК	9,980	11,00	11,18
3	р. Сырдарья – пос. Надеждинский	13,470	11,77	10,29
4	р. Сырдарья – г. Чиназ	14,660	15,84	14,25
5	р. Сырдарья – выше устья р. Келес	19,860	22,10	18,25
6	р. Чирчик – плотина Чарвакской ГЭС	1,080	1,20	1,24
7	р. Чирчик – г. Газалкент	1,230	1,32	1,39
8	р. Чирчик – створ Газалкентской плотины	6,150	7,09	7,32
9	р. Чирчик – г. Чиназ	1,110	1,49	1,31
10	р. Ахангаран – 0,4 км ниже устья р. Иртыш	0,047	-	-
11	р. Ахангаран – в черте г. Ангрена, 0,5 км ниже Ахангаранской плотины	0,087	-	-
12	р. Ахангаран – 0,5 км ниже плотины Туябугузского водохранилища	0,138	-	-
13	р. Ахангаран – 3 км выше пгт. Солдатское	0,595	-	-

Согласно проведенным расчетам, количество солей, поступающих на орошаемые поля бассейна р. Сырдарья составляет 18,25–22,10 млн т. Безусловно, этот фактор влияет на степень засоления орошаемых почв в исследуемых ирригационных районах.

Выводы

1 В речных водах Средней Азии постоянно содержатся различные химические элементы (соли естественного происхождения, тяжелые металлы, остатки ядохимикатов, удобрений и т. д.), которые при орошении вызывают различные изменения в физико-химических свойствах орошаемых почв.

Одну из опасностей для орошаемой зоны Средней Азии представляет процесс засоления поливных земель. Как показывают проведенные расчеты, на орошаемые поля сейчас ежегодно поступает 55,0–60,0 млн т различных солей естественного происхождения, из них 40,0–46,0 млн т выносятся из зоны формирования речного стока (горная область), а 17,0–19,0 млн т – из почв и пород нижних частей речных бассейнов в результате повторного использования некоторого объема речного стока для поливов.

Ввиду такого значительного поступления солей доля площади в различной степени засоленных почв от общей орошаемой площади в некоторых ирригационных районах увеличилась до 60–90 %, что значительно ухудшило их мелиоративное состояние.

2 Анализ состояния некоторых элементов водно-солевого баланса орошаемых массивов показал, что наиболее тяжелое мелиоративное состояние орошаемых земель наблюдается в настоящий момент в нижних частях бассейнов Амударья и Сырдарья, которые после прекращения поступления речного стока в Аральское море являются зоной аккумуляции солевого и твердого стоков этих рек.

3 Во всех реках в составе солей преобладают двууглекислый кальций, сульфаты кальция, магния, натрия и хлорид натрия, иногда в воде обнаруживается присутствие двууглекислого магния и хлорида магния. Первые две соли являются не токсичными, а остальные – токсичными. Токсичность речных вод увеличивается при смене фаз гидрологического режима рек с половодья на межень, а также по их длине. В связи с повышением минерализации речных вод и ухудшением их состава в средних и, особенно нижних участках рек, ирригационное качество воды стало удовлетворительным.

4 Сырдарья является трансграничной рекой и играет большую роль в хозяйственной, экономической и социальной жизни нескольких государств. Протекая по территории Кыргызстана, Узбекистана, Таджикистана и Казахстана, она существенно меняет свою водоносность и качественный состав. Поскольку во многих районах вода Сырдарья используется в качестве питьевой, то ухудшение ее свойств оказывает негативное влияние на здоровье населения, приводя к увеличению инфекционных и других заболеваний. Поэтому изучение гидрологического и гидрохимического режимов Сырдарья имеет очень важное значение.

Список использованных источников

1 Ковда, В. А. Происхождение и режим засоленных почв. В 2 т. / В. А. Ковда. – Т. 2. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 382 с.

2 Чембарисов, Э. И. Гидрохимия орошаемых территорий (на примере Аральского моря) / Э. И. Чембарисов. – Ташкент: Фан, 1988. – 104 с.

3 Чембарисов, Э. И. Гидрохимия речных и дренажных вод Средней Азии / Э. И. Чембарисов, Б. А. Бахритдинов. – Ташкент: Укитувчи, 1989. – 232 с.

4 Чембарисов, Э. И. Коллекторно-дренажные воды Республики Каракалпакстан / Э. И. Чембарисов, Р. Т. Хожамуратова. – Нукус: Билим, 2008. – 56 с.

5 Чембарисов, Э. И. Гидрохимия речных и коллекторно-дренажных вод бассейна реки Сырдарья / Э. И. Чембарисов, Т. Ю. Лесник, Э. И. Чембарисова // Проблемы освоения пустынь. – 2004. – № 2. – С. 20–24.

УДК 556.18:658.012.011.56

В. М. Школьная, В. Э. Завалюев

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

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА УЧАСТКЕ КАНАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ SCADA-СИСТЕМ

В данной статье рассмотрен один из вопросов комплексного инженерного решения автоматизации системы управления водораспределением на каналах и их отдельных участках при помощи современных методов, одним из которых является внедрение SCADA-систем. Рассмотрены структура системы управления водораспределением на мелиоративном объекте и основной комплекс программного обеспечения для пунктов диспетчеризации.

Ключевые слова: мелиоративная система, оросительный канал, управление водораспределением, диспетчерский пункт, автоматизация, системы SCADA.

Для осуществления функций транспортировки воды и ее распределения между водопотребителями должны существовать четкая структура и организация водораспределения на мелиоративной системе. Автоматизированная система управления водораспределением на оросительных системах может быть представлена в виде информационно-управляющей системы, обеспечивающей измерение параметров, которые характеризуют состояние каналов (условно) и затворов. Система должна быть организационно построена как распределенная блочно-модульная конструкция, в которой учитывается возможность наращивания объемно-конструктивной структуры при модернизации и реконструкции технологического оборудования.

Структура системы управления обеспечивает стыковку ее технических средств в единый комплекс с целью обеспечения полного и надежного функционирования в пределах заданных функций системы и технических характеристик средств, входящих в комплекс автоматизированного управления и диспетчеризации. Функционально структура системы водораспределения мелиоративной системы состоит из следующих объектов:

- диспетчерский пункт на ГТС;
- центральный диспетчерский пункт в управлении;
- контроллеры затворов с датчиком положения затвора;
- контроллер датчиков уровня воды;
- комплекс технических средств.

SCADA (аббр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) – это программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте управления. Современные SCADA-системы легко взаимодействуют со стандартными и пользовательскими программами, в результате чего возникают решения по визуализации, которые точно удовлетворяют практическим требованиям. Благодаря открытым интерфейсам, системные интеграторы могут разрабатывать собственные приложения, целенаправленно надстраивая системные расширения. Интегрирование всех составных частей системы контроля и управления в единой технологии минимизирует затраты на их стыковку, сокращает время обмена и преобразования данных, исключает потери информации, повышая, тем самым надежность и эффективность создаваемых систем. Открытая архитектура аппаратного и программного обеспечения позволяет наращивать состав измерительной аппаратуры и вводить новые алгоритмы контроля, развивать и модернизировать уже внедренные системы [1].

SCADA может являться частью автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ), научного эксперимента, автоматизации здания и т. д. SCADA-системы используются во всех отраслях хозяйства, в которых необходим операторский контроль технологических процессов в реальном времени. Данное программное обеспечение устанавливается на компьютеры и для связи с объектом использует драйверы ввода-вывода или серверы OPC/DDE (OPC – аббр. от англ. OLE for Process Control – семейство программных технологий, предоставляющих единый интерфейс для управления объектами автоматизации и технологическими процессами; DDE – аббр. от англ. Dynamic Data Exchange – механизм взаимодействия приложений в операционных системах Microsoft Windows).

Серверы OPC/DDE предназначены для получения данных из сети и предоставления их OPC- или DDE-клиентам. OPC-клиентом может выступать любая SCADA-система: Intouch, Genesis, Trace Mode и др. Любой OPC-клиент может обмениваться данными с любым OPC-сервером вне зависимости от специфики устройства, для которого разрабатывался конкретный OPC-сервер. DDE-клиентом может выступать любая программа, поддерживающая обмен через DDE.

Программный код может быть написан как на языке программирования (например, на C++), так и сгенерирован в среде проектирования [2].

Иногда SCADA-системы комплектуются дополнительным программным обеспечением (ПО) для программирования промышленных контроллеров. Такие SCADA-системы называются интегрированными и к ним добавляют термин SoftLogic (система программирования контроллеров с открытой архитектурой). Термин «SCADA» имеет двойное толкование. Наиболее широко распространено понимание SCADA как приложения, то есть программного комплекса, обеспечивающего выполнение указанных функций, а также инструментальных средств для разработки этого ПО. Однако, часто под SCADA-системой подразумевают программно-аппаратный комплекс. Значение термина SCADA претерпело изменения вместе с развитием технологий автоматизации и управления технологическими процессами. В 80-е гг. под SCADA-системами чаще понимали программно-аппаратные комплексы сбора данных реального времени. С 90-х гг. термин SCADA больше используется для обозначения только программной части человеко-машинного интерфейса АСУ ТП.

SCADA-системы решают следующие задачи [3]:

- обмен данными с «устройствами связи с объектом» (то есть с промышленными контроллерами и платами ввода-вывода) в реальном времени через драйверы;
- обработка информации в реальном времени;
- логическое управление;
- отображение информации на экране монитора в удобной и понятной для человека форме;
- ведение базы данных реального времени с технологической информацией;
- аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;
- подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического процесса;
- осуществление сетевого взаимодействия между SCADA ПК;
- обеспечение связи с внешними приложениями СУБД (система управления базами данных), электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.;

SCADA-системы позволяют разрабатывать АСУ ТП в клиент-серверной или в распределенной архитектуре.

Основные компоненты SCADA обычно содержит следующие подсистемы:

- драйверы или серверы ввода-вывода – программы, обеспечивающие связь SCADA с промышленными контроллерами, счетчиками, АЦП [аббр. от англ. Analog-to-Digital Converter, ADC – аналого-цифровой преобразователь, устройство, преобразую-

щее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал)] и другими устройствами ввода-вывода информации;

- система реального времени – программа, обеспечивающая обработку данных в пределах заданного временного цикла с учетом приоритетов;

- человеко-машинный интерфейс HMI (аббр. от англ. Human Machine Interface – инструмент, который представляет данные о ходе процесса человеку оператору, что позволяет оператору контролировать процесс и управлять им);

- программа-редактор для разработки человеко-машинного интерфейса;

- система логического управления – программа, обеспечивающая исполнение пользовательских программ (скриптов) логического управления в SCADA-системе. Набор редакторов для их разработки;

- база данных реального времени – программа, обеспечивающая сохранение истории процесса в режиме реального времени;

- система управления тревогами – программа, обеспечивающая автоматический контроль технологических событий, отнесение их к категории нормальных, предупреждающих или аварийных, а также обработку событий оператором или компьютером;

- генератор отчетов – программа, обеспечивающая создание пользовательских отчетов о технологических событиях. Набор редакторов для их разработки;

- внешние интерфейсы – стандартные интерфейсы обмена данными между SCADA и другими приложениями: OPC, DDE, ODBC, DLL и т. д.

ODBC – (аббр. от англ. Open Database Connectivity) – это программный интерфейс доступа к базам данных, разработанный фирмой Microsoft.

DLL – (аббр. от англ. Dynamic Link Library – «библиотека динамической компоновки», «динамически подключаемая библиотека») в операционных системах Microsoft Windows – динамическая библиотека, позволяющая многократное использование различными программными приложениями.

Термин SCADA обычно относится к централизованным системам контроля и управления всей системой, или комплексами систем, осуществляемого с участием человека. Большинство управляющих воздействий выполняется автоматически RTU (аббр. от англ. Remote Terminal Unit – удаленный терминал) или PLC (аббр. от англ. Programmable Logic Controller – программируемый логический контроллер).

Непосредственное управление процессом обычно обеспечивается RTU или PLC, а SCADA управляет режимами работы. Например, PLC может управлять потоком охлаждающей воды в производственном процессе, а SCADA-система позволяет операторам изменять поток, маршруты движения жидкости, заполнять те или иные емкости, а также следить за тревожными сообщениями (алармами), такими как потеря потока и высокая температура, которые должны отображаться, записываться, и на которые оператор должен своевременно реагировать. Цикл управления с обратной связью проходит через RTU или PLC, в то время как SCADA-система контролирует полное выполнение цикла [4].

Сбор данных начинается в RTU или на уровне PLC и включает показания измерительного прибора. Далее данные собираются и форматируются таким способом, чтобы оператор диспетчерской, используя HMI мог принять контролирующие решения – корректировать или прервать стандартное управление средствами RTU/PLC. Данные могут также быть записаны в архив для построения трендов и другой аналитической обработки накопленных данных.

Головные и узловое сооружения оснащены оборудованием системы SCADA, на всех регуляторах установлены датчики положения затворов, датчики уровней воды верхнего и нижнего бьефов.

В автоматическом режиме работают:

- головные регуляторы каналов по поддержанию заданного расхода по уровню горизонта воды на головных гидростаях;

- перегораживающее сооружение по уровням воды верхнего бьефа;
- вся информация с датчиков отображается на мнемосхемах;
- предусмотрена защита от нештатных ситуаций (заклинивание затворов, превышение максимальных уровней, отключение электропитания и др.).

Оборудование системы SCADA для головных и узловых сооружений включает:

- компьютеры;
- программируемые контроллеры;
- модули ввода и вывода;
- датчики уровня воды и положения затворов;
- оборудование системы передачи данных.

Диспетчерские пункты головных и узловых сооружений оснащены компьютерами и оборудованием системы передачи данных, обеспечивающей бесперебойную связь между центральным и местными диспетчерскими пунктами (ЦДП и МДП) и автоматическую передачу информации [5].

Балансовые гидропосты оснащены системой SCADA с датчиками уровня воды. Оборудование системы SCADA для балансовых гидропостов включает в себя:

- программируемые контроллеры;
- модули ввода, вывода, датчики уровня и оборудование системы передачи данных.

Информация об уровнях и расходах воды оперативно по телекоммуникационной связи передается в МДП гидроучастка, к которому относится этот балансовый гидропост.

Для реализации всех функций системы автоматизации водораспределения на каналах мелиоративного назначения разрабатываются алгоритмы и ПО системы автоматизации.

ПО системы автоматизации реализуется на программируемых контроллерах и на компьютерах и представляет собой сложный взаимосвязанный комплекс [6].

ПО системы автоматизации состоит из следующих программных комплексов:

- системы диспетчеризации и автоматизации для нижнего уровня МДП;
- системы диспетчеризации и автоматизации для верхнего уровня ЦДП;
- системы передачи данных между ЦДП и МДП;
- системы «управление водораспределением» для нижнего уровня МДП;
- системы «управление водораспределением» для нижнего уровня ЦДП.

Программный комплекс системы диспетчеризации и автоматизации для нижнего уровня МДП предназначен для оперативного управления автоматизированными гидротехническими сооружениями и решает следующие задачи в реальном масштабе времени [7]:

- отображение на мнемосхеме гидротехнического сооружения текущих значений измеренных технологических параметров с помощью датчиков (уровни воды и минерализации, открытие затворов);
- расчет и отображение на мнемосхеме гидротехнического сооружения текущих значений расходов воды;
- реализация режима дистанционного управления затворами гидротехнических сооружений;
- расчет и реализация системы автоматического управления гидротехническими сооружениями;
- сигнализация об аварийных режимах работы затворов и указание возможных причин и др.;
- ведение архивов технологических параметров и аварийных режимов гидротехнических сооружений.

Основные части данного комплекса реализованы на программируемых контроллерах и компьютере МДП.

Программный комплекс системы диспетчеризации и автоматизации для верхне-

го уровня ЦДП предназначен для оперативного автоматизированного контроля всех автоматизированных гидротехнических сооружений и решает следующие задачи:

- отображение на мнемосхеме канала текущих значений основных технологических параметров (уровни и расходы воды) гидротехнических сооружений и балансовых гидростов;

- сигнализация об аварийных режимах системы передачи данных, указание возможных причин и др.;

- ведение архивов технологических параметров, аварийных режимов гидротехнических сооружений и балансовых гидростов всего канала.

Программный комплекс системы передачи данных предназначен для передачи технологической информации между компьютерами МДП и ЦДП и решает следующие задачи:

- прием компьютером ЦДП текущей технологической информации от компьютера МДП;

- передача в компьютер ЦДП текущей технологической информации от компьютера МДП;

- передача данных от компьютера ЦДП в компьютер МДП для установки заданных технологических параметров;

- прием информации компьютером МДП для установки заданных технологических параметров от компьютера ЦДП.

Данный комплекс реализуется на компьютерах ЦДП и МДП.

Программный комплекс системы «управление водораспределением» для нижнего уровня МДП предназначен для решения задач водораспределения в пределах балансовых участков и решает следующие задачи:

- ввод, хранение и обработка на компьютере МДП визуальной информации о расходах воды, полученной наблюдателями гидроучастков;

- считывание, хранение и обработка измеренных данных о расходах воды автоматизированных сооружений гидроучастка на компьютере МДП;

- подготовка к передаче в компьютер ЦДП визуальной информации о расходах воды, собранной наблюдателями гидроучастков;

- подготовка к приему от компьютера ЦДП в компьютер МДП плановой информации, ее хранение и обработка;

- решение задач «управление водораспределением» на МДП;

- подготовка отчетов о водораспределении на гидроучастке в компьютере МДП.

Программный комплекс системы «управление водораспределением» для верхнего уровня МДП предназначен для решения задач водораспределения в пределах балансовых участков и по всему каналу и решает следующие задачи:

- ввод в компьютер ЦДП информации для решения задач «сезонного планирования», ее хранение и обработка;

- решение задачи «сезонное планирование».

Внедрение SCADA-систем в процесс управления водораспределением на мелиоративных системах позволит оптимизировать процесс обмена информацией между объектами управления и диспетчерскими пунктами, обеспечить рациональное использование энергетических и трудовых затрат и повысить оперативность и качество принимаемых решений при распределении водных ресурсов.

Список использованных источников

1 Андреев, Е. Б. SCADA-системы: взгляд изнутри: учеб. для вузов / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, О. В. Синенко. – М.: РТСофт, 2004. – 176 с.

2 Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов: учеб. для вузов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М.: Колос, 2004. – 344 с.

3 Мирошник, И. В. Теория автоматического управления: учеб. пособие / И. В. Мирошник. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с.

4 Маковский, Э. Э. Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды / Э. Э. Маковский. – Фрунзе: Илим, 1972. – 302 с.

5 Фельдбаум, А. А. Методы теории автоматического управления / А. А. Фельдбаум, Г. Г. Бутковский. – М.: Наука, 1971. – 744 с.

6 Гидротехнические сооружения / Н. П. Розанов [и др.]; под ред. Н. П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.

7 Рожнов, В. А. Электрические системы стабилизации уровней воды в каналах / В. А. Рожнов, Р. М. Тюменев. – Фрунзе: Илим, 1982. – 200 с.

УДК 626.8:621.39

В. В. Бородычев, Е. Э. Головинов, М. Н. Лытов

Волгоградский филиал Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации, Волгоград, Российская Федерация

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛОБАЛЬНОГО СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Цель исследований состоит в решении проблемы аппаратно-инструментального обеспечения мониторинга работы дождевальной техники на основе технологий глобального спутникового позиционирования. Научная новизна исследований заключается в разработке инновационных методов оперативного контроля работы дождевальных машин кругового и фронтального действия. Концептуальной основой исследований стала гипотеза и целесообразность организации инструментального контроля и дистанционной трансляции значений ряда параметров, включая давление воды в рабочем трубопроводе дождевальной машины, скорости движения и траектории движения в принятой системе координат. В ходе исследований разработана принципиальная схема и изготовлен прототип устройства мониторинга работы дождевальной техники в режиме реального времени с рабочим названием «Монитор ДМ-1». Результаты апробации устройства в условиях производства подтверждают эффективность и практическую необходимость дистанционного контроля параметров работы дождевальной техники в режиме реального времени.

Ключевые слова: дождевальная техника, мониторинг, глобальное спутниковое позиционирование, экспериментальное устройство.

В настоящее время научной общественностью активно ведутся работы по совершенствованию гидромелиоративных систем с учетом новых требований и уровня развития технологий. Применение современных дождевальных машин и установок обеспечивает возможность проведения поливов на полях, имеющих прямые и обратные уклоны, маневрирования поливными нормами в широком диапазоне (от 50 до 900 м³/га) без потерь воды на глубинную фильтрацию, высокой равномерности распределения дождя по поверхности орошаемого участка. Эффективное использование указанных преимуществ может быть обеспечено при наиболее полном согласовании режимов эксплуатации гидромелиоративных систем, биологических особенностей орошаемых культур, природных особенностей региона и агроландшафтной единицы. При этом степень дифференциации динамики этих критериев в пространстве и времени напрямую зависит от эффективности мониторинга исполняющих механизмов системы и требует реализации функции слежения в режиме реального времени [1]. Собственно, возможность мониторинга технологических процессов в режиме реального времени является одной из главных отличительных черт гидромелиоративных систем нового поколения [2].

В современных условиях при осуществлении контроля работы дождевальной техники с использованием электронных средств регистрации физических параметров на первый план выходит задача по автоматизации процесса сбора и передачи данных [3]. Эта задача напрямую связана с необходимостью разработки современных программно-аппаратных комплексов, объединенных посредством организации дистанционной связи и обеспечивающих инструментальный съем, систематизацию и передачу функциональных мониторинговых данных [4].

Материалы и методы. Цель исследований – решение проблемы аппаратно-инструментального обеспечения мониторинга работы дождевальной техники при производстве поливов. Новизна исследований состоит в разработке инновационных методов оперативного контроля работы дождевальных машин кругового и фронтального действия.

Современные дождевальные машины оборудуются довольно сложными системами управления режимом полива: регулируется скорость передвижения, поливная норма, интенсивность дождя и прочие показатели. В тоже время на большинстве дождевальных машин отечественного производства штатно устанавливаются только манометры, которые обеспечивают возможность контроля фактического режима работы машины исключительно в «ручном» режиме. Осуществление оперативного мониторинга при этом является чрезвычайно трудоемкой операцией, вследствие чего обслуживающий персонал дождевальной техники, как правило, не ведет журнал производства работ должным образом. В большинстве хозяйств отчет о производстве поливов, в лучшем случае, представлен в виде даты и их количества, что затрудняет или делает невозможным планирование поливов и реализацию оперативного управления.

Современные технологии, телеметрическое оборудование и использование ЭВМ в совокупности позволяют разработать техническое устройство для осуществления оперативного контроля работы дождевальной техники дистанционным способом [5]. Создаваемая в ФГБНУ «ВНИИГиМ» технология оперативного контроля работы дождевальной техники способна обеспечить переход на новый технологический уровень эксплуатации оросительных систем. Устройства дистанционного мониторинга позволят контролировать качество поливных работ, а именно: соблюдение заданных поливных норм, сроков поливов и других производственных параметров.

При разработке экспериментального устройства для дистанционного мониторинга дождевальной техники отслеживались следующие параметры: давление в нескольких точках, скорость движения и траектория движения в принятой системе координат.

Результаты исследований. Для создания экспериментального образца регистрирующего и передающего модуля было принято решение использовать существующие отладочные платы. При этом отладочная плата должна частично решать задачу регистрации ГЛОНАСС/GPS координат и передачи данных по каналу GSM/GPRS на удаленный терминал.

В результате проведенного анализа отладочных плат был сделан обоснованный вывод, что наилучшим образом нашим задачам удовлетворяет продукт компании «Терраэлектроника» TE-SL6087-NV08C, основанный на использовании навигационного GLONASS/GPS-приемника NV08C-CSM. Основными компонентами, используемыми в отладочной плате TE-SL6087-NV08C, для реализации функций регистрирующего и передающего модуля являются: контроллер SL6087 для сбора и передачи данных от датчиков, GPS-приемник NV08C-CSM и антенны. Приемник NV08C-CSM представляет собой высоко интегрированный модуль, ключевой особенностью которого является его способность работать с глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС): ГЛОНАСС, GPS, а так же Galileo и Compass.

SL6087 предназначен для создания GSM-ГЛОНАСС/GPS-оборудования и включает: отдельный UART для подключения ГЛОНАСС/GPS-модуля, программную под-

держку функций для систем eCall/ЭРА-ГЛОНАСС и GSM-модуль. Для удаленного обслуживания оборудования можно воспользоваться сервисом IDS, который позволяет через WEB-интерфейс контролировать параметры SL6087 и, в случае необходимости, дистанционно обновлять как приложение пользователя, так и внутреннее программное обеспечение GSM-модуля.

При разработке регистрирующего и передающего модуля одной из важных задач является сопряжение приемника NV08C-CSM с контроллером SL6087 как на физическом, так и на протокольном уровне. Для решения этой задачи необходимо провести анализ интерфейсов RS-232E, SPI, TWI, 1PPS и протоколов обмена данными IEC1162 (NMEA 0183), BINR, RTCM SC 104 v2.2 и др. Кроме того, не менее сложной является задача организации процессов регистрации данных на карту флэш-памяти, которую, как представляется, можно подключить к интерфейсу USB-контроллера. Необходимо отметить, что контроллер SL6087 можно использовать в качестве флэш-памяти, которая способна считываться.

Кроме перечисленных компонентов в устройстве используются обвязка для микросхем, разъемы, трансформаторы и преобразователи напряжения типа DC-DC для схемы питания, SIM-карта.

Для определения гидравлического режима работы дождевальной техники применяются преобразователи давления. Преобразователь давления представляет собой устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды, в данном случае жидкости. Такое устройство преобразует избыточное давление в аналоговый сигнал постоянного тока.

Преобразователи давления выпускает большое количество компаний как зарубежных (Fuji Electrics, BD Sensors, JUMO, Yokogawa и др.), так и отечественных (ЗАО «ВИКА МЕРА», ОВЕН, ЗАО «МИДАУС» и др.). Основными отличиями одних приборов от других являются пределы измерений, динамические и частотные диапазоны, точность регистрации давления, допустимые условия эксплуатации, массогабаритные характеристики, которые зависят от принципа преобразования давления в электрический сигнал: тензометрический, пьезорезистивный, емкостной, индуктивный, резонансный, ионизационный, пьезоэлектрический и др. Для разрабатываемого устройства выбран преобразователь давления ОТ-1 отечественного производства (рисунок 1).



Рисунок 1 – Преобразователь давления ОТ-1 ЗАО «ВИКА МЕРА»

Он обеспечивает возможность пропорционального преобразования избыточного давления жидкостей, паров и газов в выходной сигнал и имеет следующие характеристики: диапазон измерения давления – 0...6, 0...10, 0...16, 0...25, 0...40, 0...60 бар; погрешность – 1 % от диапазона; выходные сигналы – 4...20 мА; пылевлагозащита – IP 67; присоединения – G 1/4 DIN 3852-E, G1/4 EN 837, M14x1.5 DIN 3852-E, 1/4 NPT и др.; электрические интерфейсы – M12x1, кабельные выводы, Metri Pack 150-серия.

В совокупности характеристики этого прибора полностью удовлетворяют функциональным требованиям разрабатываемого устройства. Экспериментальному образцу аппаратного комплекса мониторинга работы дождевальной техники в режиме реального времени, который был изготовлен по описанной выше схеме, было присвоено рабочее название Монитор ДМ-1.

Экспериментальная апробация. Для тестирования разработанного устройства по стандартным методикам [6–8] были осуществлены натурные испытания. Экспери-

мент проводился в крестьянско-фермерском хозяйстве «Казаченко С. В.» Городищенского района Волгоградской области. Измерительный комплекс Монитор ДМ-1 был установлен на дождевальной машине ДКШ-32-400 (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика дождевальной машины

Показатель	Значение
Название дождевальной машины	ДКШ-32-400
Расход воды, л/с	32
Напор на гидранте, м	40
Ширина захвата, м	400
Конструктивная длина машины	192 × 2
Допустимый уклон	0,02
Количество дождевальных аппаратов	32
Интенсивность дождя, мм/мин	0,27
Расстояние между смежными позициями (гидрантами), м	18
Длина одной секции, м	12,6
Высота дождевального трубопровода над поверхностью земли, м	1,1
Масса машины, т	3,245
Примечания – машина включает 2 полнофункциональных крыла, однако в хозяйстве использовали только одно (200 м). Орошаемая культура – морковь.	

Эксперимент длился 65 минут на одной позиции. Показания аналогового манометра, установленного на машине, фиксировались в начале полива, после открытия задвижки на гидранте и составили 4 атм. Показания с датчика давления фиксировались с интервалом в 1 минуту (рисунок 2).



Рисунок 2 – График изменения давления на экспериментальной установке

Скачок давления в системе связан с включением дополнительной дождевальной машины на магистральном трубопроводе. Из-за изменения давления на гидранте изменились характеристики дождя и фактическая поливная норма. При организации проведения поливов по времени (типичная технология организации поливов в большинстве хозяйств) происходит существенный недополив. При осуществлении мониторинга работы дождевальной техники в режиме реального времени с использованием разработанного устройства в автоматическом или ручном режиме производится коррекция времени полива или давления на ближайшей насосной станции.

Выводы. Результаты апробации устройства для мониторинга работы дождевальной техники в условиях производства подтверждают эффективность и практиче-

скую необходимость дистанционного контроля параметров работы дождевальной техники в режиме реального времени. Совокупный контроль глобального времени, текущих координат местности и фактического напора воды в системе водоводов дождевальной машины позволяет определять координаты места нахождения дождевальной машины, отслеживать кинематику и динамику перемещения машины, время стояния машины на позиции, получать информацию о нахождении машины в работе, простое или холостом перемещении, верифицировать соответствие фактических напоров рабочим характеристикам машины, вести расчетный мониторинг производительности дождевальной машины и параметров выполнения задания на полив, получать общую информацию о техническом состоянии дождевальной машины с оценкой возможности выполнения основных функций и необходимости аварийного останова.

Список использованных источников

- 1 Михайленко, И. М. Управление системами точного земледелия / И. М. Михайленко. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2005. – 233 с.
- 2 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография: в 2 ч. / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.
- 3 Бородычев, В. В. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 8–11.
- 4 Бородычев, В. В. Комплексы показателей мониторинга работы дождевальной техники в режиме реального времени / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, Е. Э. Головинов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 3. – С. 33–37.
- 5 Головинов, Е. Э. Оперативный контроль работы дождевальной техники при производстве поливов / Е. Э. Головинов, М. Н. Лытов // Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель: материалы юбилейной междунар. науч.-практ. конф. – Москва: ВНИИГиМ, 2014. – С. 23–28.
- 6 ГОСТ 8.092-73 Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры, напорометры и тягонапорометры с унифицированными электрическими (токовыми) выходными сигналами. Методы и средства поверки. – Введ. 1975-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.
- 7 СТО АИСТ 11.1-2010 Испытания сельскохозяйственной техники Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей. – Взамен СТО АИСТ 11.1-2004; введ. 2011-04-15. – М., 2012. – 53 с.
- 8 СТО АИСТ 11.3-2004 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки поливные. Методы оценки функциональных показателей. – Взамен ОСТ 10.11.3-2001.

УДК 634.11:581.43:631.445.41

А. Н. Рыжаков

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОН УВЛАЖНЕНИЯ ЯБЛОНЕВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Целью исследования являлась разработка рекомендаций по определению количества, производительности и размещения капельниц (капельных микроводовыпусков), которые обеспечивают потребности в воде (влаге) корневых систем различных сортов и видов яблоневых насаждений, произрастающих в различных природно-климатических (почвенных и других) условиях.

Ключевые слова: капельное орошение, контур увлажнения, площади увлажнения, зона увлажнения, подкрановое пространство, основная масса корней, корневая система.

Введение. При возделывании плодовых древесных растений и яблони, в частности, во влагодефицитных природно-климатических условиях большое распространение получили технологии их капельного орошения, обладающие рядом преимуществ по сравнению с другими способами поливов. Более чем 80-летний опыт применения капельного орошения позволил накопить значительный объем наблюдений, способствующий разработке все более эффективных капельных оросительных систем и рациональных технологий их использования.

Имеются достаточно обстоятельные обобщения экспериментальных материалов отдельных исследований и рекомендаций по проектированию и эксплуатации систем капельного орошения яблоневых и других древесных культур [1]. Однако известные обобщения и рекомендации разработаны на основе исследований определенных видов растений в определенных природно-климатических условиях и имеют ограниченный спектр условий их применения. А часть рекомендаций не учитывает действия всех факторов влияния на условия функционирования систем капельного орошения. Поэтому при приемлемой для практического использования точности сходимости результатов опытных измерений линейных параметров контуров увлажнения имеются примеры и значимого их «расхождения», что преимущественно объясняется неполнотой исходной информации по условиям проведения экспериментальных исследований, значительным влиянием анизотропности почвенной структуры и высоким уровнем погрешности в измерениях (до 15–20 %). Таким образом, отдельные рекомендации и зависимости позволяют получить отличающиеся результаты. И известные обобщения и рекомендации не учитывают или учитывают не в должной мере закономерности роста и развития корневых систем яблони. Таким образом, отмеченное выше и возрастающая потребность плодоводства в орошении яблоневых растений актуализируют целесообразность более глубокого и обстоятельного исследования проблем (задач) капельного орошения яблони.

Материалы и методы. Анализ полученных в результате многолетних исследований данных и сделанных известными учеными-корневоведами обобщений послужил научной основой биоинженерного обоснования современного плодоводства в целом и технологий капельного орошения плодовых древесных культур, в частности.

Современные системы локализации зон увлажнения плодовых растений предусматривают точечную подачу воды из микроводовыпусков-капельниц, которые размещаются в определенных точках зоны питания растений, располагающихся в пределах подкранового пространства и, чаще всего, ближе к пристволевой зоне. Поливная вода, поступающая из капельниц, формирует в почвенном пространстве контуры увлажнения эллипсоподобной формы с несколько большим вертикальным (в легких почвах) или близкими по длине вертикальным и горизонтальным (в тяжелых почвах) диаметрами. В зависимости от размеров древостоя в подкрановом пространстве по определенной схеме размещают от 1 до 10 капельниц. При этом общая площадь формируемых контуров увлажнения может составлять от 0,2 до 0,5 от выделенной при посадке площади зоны питания яблоневых растений.

Однако в целом по рассмотренным материалам [2–4] можно заключить, что полная и необходимая справочная информация для проектирования капельного орошения отсутствует. Непроработанными остаются вопросы: необходимой площади увлажнения в пределах зоны питания; выбора местоположения и параметров водоподающих элементов (капельниц), обеспечивающих орошение плодовых (фруктовых) древесных насаждений, потребности корневой системы растений во влаге.

Поставленные задачи решались следующим образом: осуществлен информационный поиск известных экспериментальных данных и обобщений по геометрическим па-

раметрам корневых систем яблонь; проведены обстоятельные аналитические исследования доступных сведений в области геометрии корневых систем и собственные исследования по восполнению базы экспериментальных данных; выполнен анализ и обобщение данных, позволяющих получить расчетные зависимости по определению заглубленности основной части корневой системы яблони в почвогрунтовую толщу, удаленности окончаний горизонтальных корней и корней основной части от штамба растения, соотношения диаметров крон и корневых систем; установлены факторы влияния на геометрические параметры корневых систем и степени их значимости; оценена погрешность измерений геометрических параметров корневых систем яблони по применяемым методикам их экспериментальных исследований (путем проведения раскопок корней).

Результаты и обсуждения. В процессе аналитического исследования первоочередными задачами являлись уточнение толкования применяемых терминов и установление наиболее приемлемых видов измеряемых параметров корневых систем растений яблони – видов «измерителей» и их критериальных уровней. Для обоснованного проектирования систем капельного орошения необходимо и понимание о геометрических (линейных, площадных и объемных) параметрах формируемого в подкапельном почвогрунтовым пространстве контура увлажнения и внутриконтурного распределении уровней влажности субстрата.

В известных работах при обосновании потребления корневой системой растений влаги широко используются такие понятия, как «масса корней», «основная масса корней», «масса активных корней» без соответствующего их толкования. Наряду с этими понятиями применяется определение «основной объем корней». При этом термины «масса» и «объем» трактуются как определенное «количество» (определенная совокупность) корней, а не как единица измерения. При использовании этих понятий разные специалисты в качестве измерителей «основной массы корней» или «основного объема корней» рассматривают их вес (г или кг), протяженность (длину) всех или отдельных видов корней (м или км) или количество корней (в штуках). Но в подавляющем большинстве случаев, употребляя эти термины, исследователи не указывают вид используемого измерителя (показателя их «массы» или «объема»).

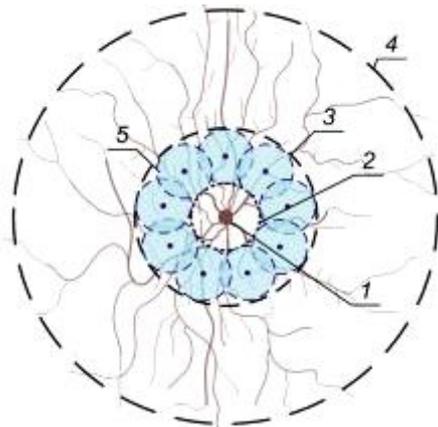
До настоящего времени остаются неопределенными как, собственно, измеритель, так и критериальный уровень измерителя, что, в свою очередь, приводит к неопределенности понятия «основной». В большинстве публикаций в качестве критерия «основной массы» или «основного объема» используется процентное (реже – доленое) соотношение измерителя (изменяемого параметра) и всей корневой системы растения: «процент от ее общей массы (веса)», «процент от общей протяженности корней» или «процент от общего количества корней». Уровень измерителя основной массы (основного объема) определяется 50–95 % [1]. То есть применение понятий «основной массы» и «основного объема» корней в источниках не имеет четкого определения и соответствующих критериев их выявления, что приводит к неоднозначности (неопределенности) и неточности показателей, устанавливающих геометрические параметры корневых систем растений [5]. В результате исследования под термином «основная масса корней» было предложено понимать количество, массу и (или) протяженность корней корневой системы древесных насаждений на уровне 68,2 % от всего ее объема. Это предположение основывается на правиле трех сигм (3σ), когда практически все значения нормально распределенной случайной величины лежат в интервале $(x - 3\sigma; x + 3\sigma)$ этих показателей по всей корневой системе или ее части, сосредоточенной в определенном (изменяемом) пространстве (глубине проникновения корней в почвогрунтовую толщу или удаленности корней растения от штамба) [6]. Данный критериальный подход представляется в большей степени вероятно обоснованным и статистически строгим.

Имея понимание о пределах, в которых сосредотачивается основная часть корневой системы растения, можно охарактеризовать освоенное корнями почвенное про-

странство следующими геометрическими показателями: заглубленность основной части корней корневой системы яблони в почвогрунтовую толщу ($h_{к,о/ч}$); удаленность от штамба растения горизонтальных корней (R_k); границы зоны расположения основной части корней корневой системы растения ($R_{к,о/ч}$). Таким образом, можно решить главную задачу проектирования систем капельного орошения яблоневых насаждений – установление параметров (площади) искусственно увлажняемой зоны.

Учитывая очевидные недостатки чаще всего применяемой научной гипотезы, основанной на привязке увлажняемой площади к площади питания растения, была выдвинута альтернативная ей концепция (гипотеза), суть которой заключается в определении (назначении) необходимой площади увлажнения через площадь основной части корней корневой системы яблони [площади, охваченной (освоенной) основной «массой» (частью) корней корневой системы растения]. Выдвинутая концепция определения необходимой площади увлажнения яблоневое растение ($\omega_{увл}$) предусматривает установление геометрических (линейных, площадных и объемных) параметров, формы и расположения зоны увлажнения.

Предлагаемый подход к определению линейных размеров, формы, площади, объема и местоположения зоны (пространства) увлажнения базируется на безусловном положении об увлажнении зон максимальной концентрации корней корневой системы яблоневых растений (размещения основной части корней) и особенно ее активной части («всасывающей»). Условная схема такой зоны капельного увлажнения применительно к многолетним древесным культурам приведена на рисунке 1.



1 – штамб растения; 2 – граница приштамбовой зоны; 3 – граница зоны расположения основной части корней; 4 – контур корневой системы; 5 – единичный контур увлажнения

Рисунок 1 – Схема к определению местоположения и линейных размеров зоны увлажнения при капельном орошении древесных многолетних культур

При наличии ограничений для роста (распространения) корней в одну или две стороны (приствольного) пространства конфигурация корневой системы насаждения из окружности трансформируется в эллипс, что необходимо учитывать при расположении капельных микропроводов [7].

Очередным определяющим вопросом проектирования систем капельного орошения яблони (яблоневых насаждений) является выбор расхода (производительности) капельного микропроводов (капельницы). При этом обязательным условием является согласованность, то есть соответствие скорости (интенсивности) подачи воды (водоподачи) на поверхность земли и «впитывающей способности» почвы (скорости впитывания воды почвой). Соблюдение вышеуказанного требования позволяет исключать лужеобразование, переувлажнение почвы в поверхностной зоне контура увлажнения, поверхностный сток воды и ее интенсивное испарение. Отметим, что «водопрони-

цаемость» или «водовпитывающая способность» почвы определяет не только расход, но и режим водоподдачи (продолжительность непрерывной подачи воды, применение одно- и двухтактного полива).

Учитывая вышеуказанные обстоятельства, необходимо предусмотреть возможность для периодического изменения местоположения капельниц. Изменение точек (очагов увлажнения) водоподдачи снизит вероятность негативных последствий от системного и продолжительного (многочасового и часто повторяющегося) переувлажнения почвы в пространстве под капельницей. Отметим желательность применения капельниц с регулируемой, то есть уменьшающейся во времени интенсивностью водоподдачи (водоподачей) в соответствии с изменением интенсивности (скорости) впитывания воды в почву. Иначе говоря, график интенсивности подачи воды микроводовыпусками во времени должен быть синхронизирован с графиком скорости впитывания во времени. Это, в частности, можно решить изменением давления в сети и использованием капельных микроводовыпусков с регулируемой водоподачей [8].

К параметрам, определяющим объемно-планировочное решение системы капельного полива яблоневого растения, относятся: глубина, диаметр, площадь и объем контура увлажнения. В практических расчетах устанавливается максимальный диаметр контура ($h_{\text{кон}}$) при различных значениях уровня влажности. В соответствии с максимальным диаметром контура определяется соответствующая площадь контура увлажнения, а по значениям $h_{\text{кон}}$ и $d_{\text{кон}}$ – объем контура $W_{\text{кон}}$.

До расчета параметров единичного контура увлажнения устанавливаются значения почвенных и технологических факторов влияния: пористости ρ (г/см^3), содержания физической глины $V_{\text{г/ч}}$ (в процентах от М.С.П.), наименьшей влагоемкости $\beta_{\text{НВ}}$ и доливной влажности почвы $\beta_{\text{н}}$ (в долях от $\beta_{\text{НВ}}$); расход капельницы $q_{\text{к}}$ (л/ч) и продолжительность водоподдачи $t_{\text{в/п}}$ (ч). При их известных значениях определяются значения $h_{\text{кон}}$, $d_{\text{кон}}$, $\omega_{\text{кон}}$ и $W_{\text{кон}}$ для заданных уровней влажности почвы (через 24 ч после окончания капельного полива).

По установленной площади увлажнения ($\omega_{\text{увл}}$) и известной площади единичного контура увлажнения почвы ($\omega_{\text{кон}}^{\text{расч}}$) определяется количество капельных микроводовыпусков из соотношения:

$$n_{\text{кап}} = \omega_{\text{увл}} / (\omega_{\text{кон}}^{\text{расч}}) \cdot \quad (1)$$

Выводы. При разработке биотехнического обоснования для создания проекта системы капельного орошения яблоневого растения необходимая исходная информация должна включать:

- характеристику природно-климатического района произрастания;
- данные о почве, в том числе сведения о типе почв, мощности почвенного слоя, уровнях стояния грунтовых вод, физико-химические показатели почвогрунта (плотности, пористости, влажности);
- сведения о сорте корнесобственного яблоневого насаждения, сорте привоя и виде подвоя, высоте древостоя, диаметре кроны, возрасте растения и возрасте вступления яблони в начальное и системное плодоношение.

Основными этапами локализации зон увлажнения являются:

- определение геометрических (линейных, площадных и объемных) параметров корневых систем, подлежащих капельному орошению (разносортных, породных и видовых) яблоневых растений, произрастающих в различных природно-климатических (почвенных и гидрологических) условиях;
- определение геометрических (линейных, площадных и объемных) параметров подлежащего искусственному увлажнению почвенного, освоенного корневой системой растения яблони, около древесного пространства;

- установление геометрических (линейных, площадных и объемных) параметров единичных контуров увлажнения почвы, формируемых в подкапельном пространстве для различных технологических и почвенных условий;
- установление необходимого количества и местоположения капельных микро-водоотпусков в придревесном пространстве, обеспечивающих яблоневое растение (насаждение) необходимым для жизни объемом влаги.

Список использованных источников

- 1 Шкура, В. Н. Геометрия корневых систем яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, Е. Н. Лунева; под ред. В. Н. Шкуры; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск: Лик, 2013. – 124 с.
- 2 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.
- 3 Каленников, А. Т. Основные направления разработок АСУТП капельного орошения для равнинных и горных условий: экспресс-информ. / А. Т. Каленников, И. Д. Маслов, А. Ю. Штейнберг. – М., 1984. – Сер. 8. – Вып. 6. – С. 5–9.
- 4 СНиП 2.08.03-85 Мелиоративные системы и сооружения / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
- 5 Лунева, Е. Н. Анализ и синтез данных полевых исследований сложных биологических систем (на примере корневой системы яблони): учеб. пособие для магистрантов / Е. Н. Лунева, Д. Л. Обумахов, В. Н. Шкура; под ред. В. Н. Шкуры; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2013. – 117 с.
- 6 Рыжаков, А. Н. Исследование основной массы корней яблоневых растений [Электронный ресурс] / А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – № 4(20). – 11 с. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec372-field6.pdf.
- 7 Алексашенко, А. А. Математическое моделирование процессов тепло-влажнопереноса в почвогрунтах / А. А. Алексашенко // Сборник научных трудов ВНИИГиМ. – М.: ВНИИГиМ, 1992. – Т. 84. – С. 11–19.
- 8 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: монография / О. Е. Ясониди; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

УДК 631.6

**У. П. Умурзаков, М. Х. Хамидов, Ф. А. Бараев, А. Г. Шеров, А. Ибрагимов,
Ж. Худойназаров**

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИВЕРСИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ УЗБЕКИСТАНА

Целью исследований является разработка научно обоснованных неординарных предложений для фермерских хозяйств по обеспечению надежной продовольственной безопасности без существенного сокращения площадей основных культур (хлопчатника и озимой пшеницы) при вполне приемлемых вложениях финансовых средств в условиях дефицита водно-земельных ресурсов в орошаемом земледелии. Экологическое и мелиоративное состояние орошаемых земель Узбекистана в последние годы улучшается, особенно отчетливо это проявилось в последние годы в результате реализации Указов Президента Узбекистана по коренному улучшению мелиоративного состояния земель, повышения эффективного использования водных ресурсов (2003–2012 и 2013–2017 гг.). Наряду с этим с учетом роста населения страны необходима интенсификация использо-

вания орошаемых пашен и имеющихся водных ресурсов для обеспечения устойчивой и надежной продовольственной безопасности государства. Об исключительной актуальности этой проблемы говорит решение руководства страны сократить площади возделывания хлопчатника на 300 тыс. га в пользу овощебахчевых и садово-виноградарских культур. Такая тенденция прослеживается в Китае, Индии, США и других лидерах по производству хлопка, в том числе и в Узбекистане.

Ключевые слова: диверсификация, хлопчатник, совмещенные посевы, орошение, корневая система.

Одним из способов повышения эффективности мелиорированных земель является возможность выращивания на существующих площадях основных культур, совмещенных с осенним картофелем, машем, горохом, кукурузой и другими растениями с коротким сроком вегетации, в том числе и рассадой риса. Поэтому, несмотря на то, что диверсификация в аграрном секторе с целью достижения зерновой независимости позволила сэкономить порядка 450 млн долл. США денежных средств государственного бюджета (таблица 1), необходимо учитывать следующее:

- какое количество дополнительной выручки еще можно получить с освободившейся от озимой пшеницы пашни;

- значительное увеличение зерновых, не являющихся по существу сопутствующими хлопку культурами, резко снизило возможности применения оптимальных севооборотов, отрицательно сказалось на мелиоративном состоянии и продуктивности земель.

Таблица 1 – Сравнительные показатели диверсификации хлопководства в Республике Узбекистан в пользу зерноводства (данные 2010 г.)

Показатель	Единица измерения	Зерно	Хлопковолокно
Урожайность продукции	Т/га	1,4	0,7
Мировая цена продукции	Долл./т	150	1000
Расходы доставки	Долл./т	30	200
Валютная выручка (экономия)	Долл./га	120	800
Валютная выручка	Долл./га	510	560
Экономия валютных средств	Млн долл.	450	-

Кроме того, следует отметить, что в Республике Узбекистан существует потенциальная возможность выращивать более 10 млн т плодоовощной продукции в год, сегодня этот показатель в садоводстве и виноградарстве составляет 1 млн 700 тыс. т, в возделывании овощебахчевых культур и картофеля – 5 млн т.

Если в конце 80-х гг. прошлого столетия Узбекистан экспортировал более 90 % плодоовощных консервов и соков, 60 % вина и виноматериалов, то к 2006 г. эти показатели не превышали 15 %. Несмотря на увеличение объемов производства (зерноколосовых – в 8,8 раза, картофеля – в 3,6 раза, овощей – в 1,9 раза, фруктов – более чем в 2,6 раза, мяса – на 24,7 %), фактические объемы экспорта овощей за указанный период сократились со 170,8 до 52,4 тыс. т (или почти в 3,3 раза). В настоящий момент экспорт в Россию плодоовощной и садово-виноградарской продукции резко увеличился (в 25 раз). Центральная Азия может еще больше нарастить экспорт. В этих целях существенно сокращаются посевные площади хлопчатника и даже озимой пшеницы. Объем экспорта сдерживают недостаточно емкие мощности инфраструктуры, ранее ориентированной на производство хлопчатника. Существует и еще одна важная проблема. Не приведет ли снятие санкций с России к сокращению поставок плодоовощной продукции из Узбекистана и стран Центральной Азии?

Какие же альтернативные варианты повышения продуктивности орошаемых земель без резкого изменения инфраструктуры производства основных культур и возможности создания гибкой системы сельскохозяйственного производства (системы

«флюгера») имеются у Узбекистана? Отсутствие такой «флюгерной» гибкости стало причиной колоссальных экономических потерь в западных странах.

Приведем результаты исследований, проводимых авторами с 2008 г. и по настоящее время в АВП «Сайрам Суви» Нижне-Чирчикского района Ташкентской области и фермерских хозяйствах Сайхунабадского района Сырдарьинской области. Хлопчатник занимает здесь 1 млн 300 тыс. га самых плодородных орошаемых площадей и возделывается большей частью в наиболее благоприятный климатический период. После сбора урожая хлопчатника поля засеваются, как правило, озимой пшеницей, а также практикуется выращивание бобовых культур.

Сразу после уборки хлопчатника высевают озимую пшеницу, после всхода которой подсевают семена трехлетней люцерны (согласно рекомендациям ТИИМ предпочтительнее вместо люцерны высевать однолетние местные сорта клевера).

Исследования, проведенные учеными ТИИМ в Сайхунабадском районе, показали, что при подсеве к озимой пшенице в пределах второй или третьей декады февраля семян клевера, вместе со всходами озимой пшеницы были получены довольно густые всходы последнего (не менее 90 %).

При подсеве к всходам озимой пшеницы семян люцерны в указанные выше сроки (до или после них) густота всходов не превышала 45–60 % (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Всходы люцерны в посевах озимой пшеницы
(автор фото Ф. А. Бараев)**

Подобные исследования, проведенные М. Х. Хамидовым и Б. Сувановым, показали, что наиболее эффективен подсев люцерны к озимой пшенице в третьей декаде декабря (таблица 2). Отсюда следует вывод, что сроки подсева нужно устанавливать с учетом зональных особенностей территории (рисунок 2).

Таблица 2 – Урожай покровной люцерны при разных сроках посева

Место проведения опыта	Срок посева	Урожай сена люцерны в год посева, ц/га
1	2	3
Сайхунабадский район, фермерское объединение «Уч Арик» Сырдарьинской области	16 ноября	34,6
	18 марта	38,1
	21 февраля	42,6
	2 марта	40,1
Янгиюльский район, фермерское хозяйство «Тинчлик» Ташкентской области	12 марта	39,6
Учкурганский район, хозяйство «Кугай» Наманганской области	15 ноября	32,2
	15 марта	37,4
	1 марта	40,5

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Жамбайский район, хозяйство «Хакикат» Самаркандской области	10 октября	34,4
	1 марта	38,3
	25 февраля	42,2



Рисунок 2 – Сроки посева и урожайность покровной люцерны в Сырдарьинской области

Из данных таблицы 2 и на рисунке 2 видно, что для старой зоны орошения (Сырдарьинской области) оптимальными сроками посева покровной люцерны являются последняя декада февраля и первая декада марта.

В таблице 3 приводятся данные технико-экономических показателей совместного возделывания озимой пшеницы и люцерны в фермерском хозяйстве «Уч Арик» Сайхунабадского района Сырдарьинской области.

Таблица 3 – Техничко-экономические показатели совместного возделывания озимой пшеницы и люцерны в фермерском хозяйстве «Уч Арик» Сайхунабадского района Сырдарьинской области

Расход семян люцерны, кг/га	10
Урожайность пшеницы:	
- при совместном выращивании с люцерной, ц/га;	60
- при выращивании одной пшеницы, ц/га	62
Количество укосов люцерны	2
Количество поливов люцерны	2
Урожай зеленой массы люцерны, т/га	10
Затраты на посев люцерны, сумов/га	400
Затраты на два укоса и транспортирование люцерны, сумов/га	1000
Затраты на семена, сумов/га	50000
Затраты на горюче-смазочные материалы, сумов/га	7000
Затраты на удобрения, сумов/га	2000
Амортизация и ремонт, сумов/га	2400
Другие расходы, сумов/га	1500
Всего расходы, сумов/га	64300
Себестоимость люцерны, сумов/кг	6,43
Количество кормовых единиц с 1 га, т	1,91
Стоимость урожая с 1 га, сумов/га (1 кг = 20 сумов)	200000
В течение года в почве накапливается 80 кг чистого азота (что сопоставимо с 271 кг азотного удобрения), сумов/га	20000
Чистый доход, сумов/га	155700

После того, как пшеница созреет (июнь) ее убирают на зерно, а люцерна, посеянная вместе с пшеницей, после полива начинает быстро расти и до конца осени дает два хороших укоса (таблица 4).

Таблица 4 – Урожайность покровной люцерны

Место проведения	Начало опыта и срок посева	Урожайность укосов, ц/га		Всего, ц/га
		укос 1	укос 2	
Сырдарьинская область	21 февраля 2014 г.	38,9	56,9	95,8

При закладке опыта наблюдали динамику накопления азота в почве, по вариантам опытов проведены анализы на содержание в почве азота после первого и после третьего года возделывания люцерны (таблица 5).

Таблица 5 – Содержание валового азота на полях, занятых люцерной и люцерной под покровом озимой пшеницей,

В % в воздушно-сухой почве

Слой почвы, см	Одногодичная люцерна		Трехгодичная люцерна
	Чистое люцерновое поле (контроль)	Поле люцерны с покровом озимой пшеницы	
0–10	0,0873	0,1159	0,1231
10–20	0,0779	0,1057	0,1058

Из таблицы 5 видно, что в горизонте 10–20 см покровная люцерна в смеси с проросшими семенами опавшей во время уборки пшеницы накопила азота больше на 0,009 %, чем его было при контроле.

В урожае хлопчатника после распашки разновозрастной люцерны не всегда фиксировалось превышение в пользу трехлетней люцерны, как это могло предполагаться, если судить по накоплению элементов почвенного плодородия (таблица 6).

Таблица 6 – Урожайность хлопчатника при разновозрастной люцерне

Показатель	Возраст люцерны			
	Старопашка	Люцерна однолетняя	Люцерна двулетняя	Люцерна трехлетняя
Урожайность, ц/га	30,9	33,7	34,6	33,5

Отсутствие значительных различий в урожайности хлопчатника и плодородии почвы связано с качественным составом органических веществ корней разновозрастной люцерны, следовательно, и с быстротой их разложения в почве (таблица 7).

Таблица 7 – Распределение мелких корней люцерны по горизонтам почвы

В % от общей массы

Слой почвы, см	Возраст люцерны		
	К концу первого года + корни проросших семян опавшей пшеницы	К концу второго года	К концу третьего года
0–20	73,0	65,5	57,7
20–30	7,2	9,6	6,2
30–40	2,0	5,3	4,0

Корневая система люцерны первого года вместе с корешками проросшей пшеницы, опавшей во время ее уборки, имеет иной характер и дает возможность люцерне первого года располагать мелкую сосущую часть корней близко к поверхности.

Поэтому при распашке люцерны в более раннем возрасте разложение корневой массы и ее минерализация протекают интенсивнее, средние и мелкие корешки являются более активными в отношении накопления перегноя, т. е. именно они обеспечивают создание почвенной структуры.

Наряду с вышеизложенной технологией появилась не менее интересная ее разновидность – технология возделывания культур на засоленных землях. После созревания хлопчатника высевают семена озимой пшеницы (в период с октября и до середины ноября). Если сроки посева семян озимой пшеницы смещаются до конца ноября и до декабря, вместо озимой пшеницы высевают озимый ячмень или горох. После созревания урожая озимой пшеницы (ячменя или гороха) на освободившейся площади сеется рис местных скороспелых сортов. Так как земли подвержены засолению, применение их летней промывки через рис позволяет значительно повысить эффективность использования воды. Во-первых, на 15–20 % улучшается качество промывки, во-вторых, урожайность риса составляет не менее 50–60 ц/га. В-третьих, активный слой почвы после уборки урожая риса получит достаточный запас влаги и удобрений для последующего сева и выращивания озимой пшеницы с подсеянной люцерной (ячменем или зимующим горохом) без дополнительных поливов.

Авторами также проводились исследования по изучению технологии возделывания совместных посевов хлопчатника с бобовыми культурами, в качестве которых применяли штамбовые сорта фасоли, маша и сои, сроки созревания которых составляют 60–70 суток.



а

б

в

а – посадка бобовых во всходы хлопка; б – всходы бобовых в рядах хлопка;
в – урожай фасоли в посевах хлопка

Рисунок 3 – Возделывание бобовых совместно с хлопком

[авторы фото: М. Саримсаков (3, а), Ш. Эгамбердиева (3, б), Н. Шайманов (3, в)]

Внедрение этой технологии обеспечит с каждого из 1,3 млн га земель, занятых под хлопчатник, дополнительно 15 ц бобовых, 200 ц зеленой массы для кормов и повышение урожая хлопка как минимум на 2–3 ц и кроме того, повышение продуктивности почвы за счет природного азота, привлекаемого из атмосферы.

Это позволит эффективно использовать оросительную воду и минеральные удобрения.

Список использованных источников

1 Юсупов, Э. Ж. Диверсификация (повышение разнообразия) выращивания и экспорта сельскохозяйственных культур из Узбекистана / Э. Ж. Юсупов // Сб. докл. Междунар. семинара. – Ташкент, 2002.

2 Бараев, Ф. А. Повышение продуктивности орошаемых земель на основе краткоротационных севооборотов / Ф. А. Бараев, Л. Г. Щурова // 70-летие Аграрного университета Молдовы: материалы Междунар. науч. симпозиума, г. Кишинев, 7–8 октября, 2003.

3 Бараев, Ф. А. Послойное и поэтапное рыхление – важный резерв экономии воды и повышения продуктивности земель, подверженных засолению / Ф. А. Бараев, А. Г. Шеров, Л. Г. Щурова // Материалы 13-го Междунар. науч. симпозиума по природообустройству территорий, г. Кишинев, январь 2005 г. – Кишинев, 2005.

4 Отчет по результатам научных исследований / А. Ибрагимов [и др.] // ГКНТ, ТИИМ. – Ташкент, 2015.

5 Бараев, Ф. А. Что такое диверсификации сельскохозяйственных культур и ее значение в повышении продовольственной безопасности / Ф. А. Бараев, А. Г. Шеров // Современные проблемы сельского и водного хозяйства: материалы XIII традиционной науч.-практ. конф., г. Ташкент, 11–12 апреля, 2013 г. – Ташкент, 2013. – С. 54–57.

6 Бараев, Ф. А. Эффективная альтернатива хлопково-люцерновому севообороту найдена / Ф. А. Бараев, У. П. Умурзаков // Мелиорация в России. Традиции и современность: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Москва: МГУП, 2015. – С. 284–286.

УДК 630*116

Н. И. Балакай

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

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ, ИХ РАЗМЕЩЕНИЕ И КОНСТРУКЦИИ

Цель исследований – изучить функциональное назначение защитных лесных насаждений, их размещение и конструкции. Защитные лесные насаждения размещают с учетом типа лесорастительных условий района, организации сельскохозяйственного производства и севооборотов, типов почв, направления господствующих ветров, рельефа местности. Установлено, что на средне- и малогумусных суглинистых и легкосуглинистых черноземах основные полосы размещают на расстоянии 450–500 м одна от другой, поперечные – на расстоянии 1,5–2,0 км. На склонах 3–8° расстояние между основными полосами сокращается до 350 м, на карбонатных черноземах – до 300–400 м. При их размещении на 700–1300 м друг от друга защитное действие плотных полос распространялось на расстояние 12–13 Н в заветренную и 2–3 Н – в наветренную стороны. Влияние плотной конструкции на снижение скорости ветрового потока в приземном слое (1 м) простирается на расстояние до 40 Н, ажурной – до 45 Н и продуваемой – до 50 Н. Зона наиболее эффективного действия, в которой скорость ветра уменьшается на 70 % и более, достигает у плотной полосы 15 Н, ажурной – 20 Н и продуваемой – 25 Н. Со стороны движения ветра защитное влияние лесных насаждений всех конструкций сказывается в зоне 10–15 Н, а эффективная защита – не более 5 Н. По мере увеличения плотности лесных полос температурные различия возрастают и на заветренной опушке плотных полос в жаркую погоду достигают 5–6 °С.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения, скорость ветра, конструкции, размещение, тип почвы, микроклимат, снегозадержание.

Защитные лесные насаждения создают на сельскохозяйственных землях для задержания и равномерного распределения снега на полях, повышения влажности почв, уменьшения испарения влаги, предотвращения эрозии почв, улучшения микроклимата, защиты сельскохозяйственных культур от засух и суховеев и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Размещаются защитные лесные насаждения с учетом типа лесорастительных условий района, организации сельскохозяйственного производства, севооборотов, типов почв, направления господствующих ветров, рельефа местности и т. п. Основные полосы располагают поперек господствующих в данном районе ветров с отклонениями в обе стороны до 30°, поперечные – поперек основным лесополосам. При сужении и расширении указанного соотношения сторон эффективность лесополос уменьшается [1].

Тип лесорастительных условий и, в частности, тип почвы определяют возможности роста древесных пород в высоту, что сказывается на дальности влияния лесных полос.

На средне- и малогумусных суглинистых и легкоглинистых черноземах, а также на черноземах щебневатых, на продуктах выветривания твердых некарбонатных пород основные полосы размещают на расстоянии 450–500 м одна от другой, поперечные – на расстоянии 1,5–2,0 км. На склонах 3–8° расстояние между основными полосами сокращается до 350 м, на карбонатных черноземах – до 300–400 м вследствие большой податливости этих почв ветровой эрозии. То же относится к супесчаным почвам речных долин.

Расстояния между основными лесными полосами рассчитываются с учетом защитной высоты насаждений, во взрослом состоянии они должны охватывать своим защитным действием в обе стороны все межполосное поле. Лесополосы должны накладываться одна на другую, при этом обеспечивается полная защита почв и посевов от пыльных бурь и суховеев. Однако располагать лесные полосы можно только при защитной высоте их в 20 м и более. Это достигается при создании лесных полос из тополей в увлажненных условиях. При использовании дуба, ясеня, белой акации и других пород, высота которых во взрослом состоянии равна 12–16 м, создается система лесополос, где зоны эффективного защитного влияния не перекрываются. Ширина незащищенного пространства составляет 50–90 м [1, 2].

Основные полезащитные лесные полосы размещают, как правило, по границам полей севооборота. Однако, если ширина поля превышает 500–600 м, они создаются и в середине полей (выдерживается необходимое расстояние между лесополосами). Поперечные полосы создают по границам полей.

В условиях пересеченного рельефа с развитыми процессами водной эрозии основные полосы располагают поперек склонов; отклонение от направления господствующих ветров не должно превышать 20–30°. При этом поперечные полосы вдоль склона или под углом к нему лучше не создавать вовсе или при создании их устраивать простейшие гидротехнические сооружения, способствующие распылению и задержанию стока [2].

Таким образом, полезащитные лесные полосы на территории должны составлять цельную систему, под которой понимается такое их расположение, когда зоны эффективного защитного влияния полос в обе стороны частично перекрывают друг друга, соприкасаются между собой или находятся на расстоянии, меньшем, чем длина насыщения ветрового потока частицами почвы [1].

Разрыв системы приводит к сокращению дальности влияния каждой отдельной лесной полосы, резкому снижению ее эффективности, а во время пыльных бурь часто и к усилению эрозионных процессов. При создании системы лесных полос следует стремиться к тому, чтобы площадь пахотных земель, отводимая под лесополосы, была минимальной.

Повышение урожая на защищенных полосами полях должно перекрывать дополнительный урожай, который мог бы быть получен с площади, занимаемой лесными полосами. В этом состоит агрономическая эффективность полезащитных насаждений.

Полезащитные лесные полосы должны быть высокорослыми, устойчивыми и долговечными. Это достигается определенным подбором древесных и кустарниковых пород и схемами их смешения в соответствии с почвенно-климатическими условиями и биологическими свойствами самих пород. В качестве главных пород, образующих основной полог в насаждении и определяющих защитные свойства полос, могут быть дуб черешчатый, орехи грецкий и черный, белая акация, тополя и др. [1–3].

На легких по гранулометрическому составу почвах, а также на почвах, подстилаемых меловыми, известняковыми породами, в качестве сопутствующих пород для дуба применяются: груша лесная, клены остролистный и полевой, липа мелколистная, черемуха позднецветная. Сопутствующими для белой акации могут быть груша лесная, клены серебристый и татарский; для орехов – абрикос, алыча. Тополиные полосы создаются однопородными.

Из кустарников для продуваемых полос могут применяться айва японская, магония падуболистная; на карбонатных и мелких почвах – скумпия. Для ажурных полос на склонах более 2° – бересклеты бородавчатый и европейский, бирючина обыкновенная, калина обыкновенная, смородина золотистая. Смешение древесных и кустарниковых пород производится обычно чистыми рядами, но так, чтобы главная порода занимала не менее 50–60 % от общего числа посадочных мест; кустарники – не более 12–15 % [2, 3].

Эффективность влияния полезащитных лесных полос на микроклимат прилегающих территорий зависит от конструкции полосы, ассортимента составляющих ее пород, формы поперечного сечения, высоты деревьев, ширины, а также скорости ветрового потока и угла его подхода к полосе. Определяющую роль среди этих факторов играет конструкция лесной полосы [1, 2, 4–6].

Конструкция лесной полосы определяется двумя показателями: ажурностью и ветропроницаемостью. По характеру ажурности и связанной с ней степени ветропроницаемости можно выделить основные типы конструкций полезащитных лесных полос: непродуваемую, продуваемую, ажурную и ажурно-продуваемую.

Непродуваемая конструкция – в продольном вертикальном профиле лесной полосы совсем нет сквозных просветов или количество их при равномерном распределении по площади не превышает 5–10 % от общей площади профиля. Их образуют, как правило, главная, сопутствующая и кустарниковая породы. Это обычно многорядные насаждения, состоящие из плотнокронных пород с высоким кустарником, особенно в опушечных рядах. Могут быть и 3–5-рядные полосы такого же строения с большим количеством высокого кустарника или еще молодые лесные полосы, не подвергавшиеся лесоводственному уходу. Через такие насаждения ветер практически не проникает, и на заветренных опушках зачастую бывает полный штиль [2, 4–6].

Продуваемая конструкция – верхняя и средняя части продольного вертикального профиля сквозных просветов не имеют или их количество не превышает 10 % от площади этой части профиля. В нижней, приземной части профиля находится просвет с ажурностью 50–60 % и больше. Продуваемая часть профиля составляет 1/4–1/5 высоты полосы (Н). Это в большинстве узкие (5–7 рядов) лесные полосы из средне- или плотнокронных древесных пород без кустарникового подлеска или с низким подлеском, не доходящим до нижней части крон деревьев.

Лесные полосы продуваемой конструкции сильно ветропроницаемы в нижней части из-за крупных просветов между стволами деревьев (площадь просветов 60–70 %), но мало ветропроницаемы в верхней части (площадь просветов до 10 %). Они также делят ветровой поток на две части и снижают скорость ветра на расстоянии 3 Н с заветренной стороны. Продуваемые лесные полосы более равномерно по сравнению с ажурными распределяют снег на полях и достаточно эффективно защищают посевы от сучковеев. Они рекомендуются для районов с холодной снежной зимой (таблица 1) [1, 5].

Таблица 1 – Характеристика конструкций лесных полос в облиственном состоянии (по Е. С. Павловскому) [5]

Конструкция	Характеристика просветности	Площадь просветов, %		Ветропроницаемость, %	
		между стволами	в кронах	между стволами	в кронах
1	2	3	4	5	6
Плотная	Почти без просветов по всему профилю	0–10	0–10	-	-
Ажурно-плотная	Мелкие просветы в кроне и почти без просветов в нижней части	0–10	15–35	Меньше 30	30–70

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Умеренно-ажурная	Мелкие просветы по всему профилю	15–20	15–20	30–50	30–50
Ажурная	Мелкие и средние просветы, равномерные по всему профилю	25–35	25–35	30–70	30–70
Ажурно-продуваемая	Много крупных просветов между стволами и мелких в кроне	Больше 60	15–35	Больше 70	25–30
Продуваемая	Много крупных просветов между стволами и почти без просветов в кроне	Больше 60	0–10	Больше 70	Меньше 30
Редкая верху – плотная внизу	Крупные просветы в кроне и почти без просветов в нижней части	0–10	40–60	Меньше 30	Меньше 70

Ажурная конструкция – сквозные просветы распространены равномерно и имеют площадь больше 10 % от общей площади профиля. Это, как правило, узкие (не более 5–7 рядов) лесные полосы, состоящие из рыхло-кронных пород или плотнокронных, но при изреженном размещении. Подлесок изреженный или его вовсе нет, а кроны деревьев опущены до земли (особенно в опушечных рядах), кустарниковая опушка отсутствует. Через такие полосы ветер проходит, не меняя направления, а только снижая скорость.

Ажурно-продуваемые полосы имеют такую же сильную воздухопроницаемость в своей нижней части, как продуваемые, и такую же среднюю в кронах, как ажурные [3].

В районах с холодной и снежной зимой, а также с зимними оттепелями создают полезащитные полосы продуваемой конструкции, а в районах сухой степи с непостоянным снежным покровом и сравнительно мягкой зимой и в местностях с пыльными бурями – ажурной конструкции.

Полезащитные лесные полосы могут быть чистыми и смешанными. При подборе древесных пород необходимо стремиться к тому, чтобы на протяжении всего периода существования полосы без значительных трудовых затрат поддерживалась ее конструкция, обеспечивая высокую защитную и мелиоративную роль при успешном росте и биологической устойчивости. При размещении полос на 700–1300 м друг от друга защитное действие плотных полос распространялось на расстояние 12–13 Н в заветренную и 2–3 Н – в наветренную стороны.

У ажурных полос – соответственно 16–23 Н и 1–5 Н. При этом в зоне защитного действия в обоих случаях наблюдались наносы мелкозема высотой 0,3–1,5 м, а вне зоны влияния – выдувание почвы, увеличивающееся с удалением от лесополосы. Зоны защитного влияния на зяби и на ветроударных склонах укорачивались, а на озимой пшенице и заветренных склонах – удлинялись [5, 7].

Защитные лесные насаждения любой конструкции уменьшают скорость ветра в приземном слое воздуха. Наибольший эффект в этом отношении лесные полосы дают при их перпендикулярном расположении к направлению ветра. С изменением ветрового потока связано снегораспределение, уменьшение расходования влаги на транспирацию сельскохозяйственными культурами, следовательно, повышение урожайности сельскохозяйственных культур [2, 4, 6, 7].

В условиях равнинного рельефа ветрозадерживающая функция защитных лесных насаждений является главной и определяющей.

Ветровой поток при встрече лесной полосы плотной конструкции обтекает ее только сверху. Лесные полосы продуваемой конструкции работают как аэродинамический диффузор. Защитные лесные насаждения ажурной конструкции делят ветровой поток на две части: одна часть проходит через полосу, не меняя основного направления, другая переваливается через насаждение. За счет трения о стволы и ветви снижает скорость движения [3, 5, 7].

Влияние плотной конструкции на снижение скорости ветрового потока в приземном слое (1 м) простирается на расстояние до 40 Н, ажурной – до 45 Н и продуваемой – до 50 Н. Зона наиболее эффективного действия, в которой скорость ветра уменьшается на 70 % и более, достигает у плотной полосы 15 Н, ажурной – 20 Н и продуваемой – 25 Н. Со стороны движения ветра защитное влияние лесных насаждений всех конструкций сказывается в зоне 10–15 Н, а эффективная защита – не более 5 Н [3, 4, 7].

На скорость ветра влияет также форма поперечного профиля лесной полосы. Наибольшее ветрозащитное действие оказывают полосы при перпендикулярном их расположении к направлению ветра. При отклонении ветра до 30° снижение дальности влияния полос почти не наблюдается, при отклонении на угол больше 45° резко снижается эффективность полос.

Узкие защитные лесные насаждения шириной 10–15 м обладают оптимальной ветроломной эффективностью при средней ветропроницаемости по вертикальному профилю в облиственном состоянии 30–40 %. Они хорошо работают и в безлистном состоянии при средней ветропроницаемости 65–75 % и средней ажурности 30–40 %. При уменьшении скорости ветра эффективность защитных лесных насаждений оптимальной конструкции снижается [3, 6, 8]. В таблице 2 приведены изменения скорости ветра в защитных лесных насаждениях и прилегающих территориях.

Таблица 2 – Изменение скорости ветра в лесополосах и прилегающих территориях

Скорость ветра, м/с	Тип лесополосы		
	Сосновая	Березовая	Тополиная
До лесополосы 30 м	2,3	2,2	2,3
20 м	1,9	2,0	2,1
10 м	1,6	1,7	2,0
В лесополосе 0 м	1,0	1,2	1,6
За лесополосой 10 м	1,1	1,3	1,8
20 м	1,3	1,4	2,0
30 м	1,4	1,5	2,1

В зависимости от почвенно-климатических условий высота защитных лесных насаждений оказывается различной, и расстояние между ними будет неодинаковым. На серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах оно не должно превышать 600 м, на типичных и обыкновенных черноземах – 500 м, на южных черноземах – 400 м, на темно-каштановых и каштановых почвах – 350 м, светло-каштановых – 250 м; на песчаных почвах лесостепи – 400 м, степи – 300 м и полупустыни – 200 м. Расстояние между поперечными полосами не должно превышать 2000 м, а на песчаных почвах – 1000 м [2, 8].

Защитные лесные насаждения закладывают в основном трех- и четырехрядными (но не более пяти рядов) с шириной во всех случаях не более 15 м. Внутри полей севооборотов допускается закладка двухрядных ветроломных полос.

В результате снижения скорости ветра под действием лесных полос изменяется температура воздуха. По мере увеличения плотности лесных полос температурные различия возрастают и на заветренной опушке плотных полос в жаркую погоду достигают 5–6 °С [3, 6, 7]. В таблице 3 показана средняя температура в лесополосах и на открытом пространстве.

Таблица 3 – Средняя температура в исследуемых лесополосах и на открытом пространстве

Место замера	t , °С
Открытое пространство	26
Сосновая лесополоса	20
Березовая лесополоса	22
Тополиная лесополоса	23

По полученным данным можно сделать вывод, что тип лесополосы существенно влияет на разницу температуры лесополосы и открытого пространства. Так как скорость ветра и турбулентность под воздействием защитных лесных насаждений уменьшается, то влажность воздуха на межполосных полях будет выше, чем в открытой степи, а разница может достигать 10–12 %. Сильнее всего снижается испарение в приопушечной зоне (до 30–35 %). В сухие и жаркие дни защитное действие лесных полос повышается [7, 8].

На снегораспределение большое влияние оказывает конструкция лесных полос. Плотные полосы собирают внутри себя и в непосредственной близости сугробы снега высотой 2–3 м и более. Под влиянием ажурных полос снег откладывается в виде длинных пологих сугробов. Более равномерно снег распределяется на полях с полосами продуваемой конструкции.

Величина и характер распределения снега на полях в значительной мере определяют глубину промерзания и процесс оттаивания почвы. Почва под снегом промерзает на меньшую глубину, а весной раньше оттаивает, что важно для поглощения стока.

Защитные лесные насаждения повышают плодородие почвы не только под их пологом, но и на защищаемых ими полях. Под влиянием лесных насаждений снижается объемный вес и возрастает общая порозность и связность почвы, улучшаются ее влагоемкость и водопроницаемость, что резко снижает или полностью предупреждает поверхностный сток воды [2, 8, 9].

Таким образом, защитные лесные насаждения создают на сельскохозяйственных землях для задержания и равномерного распределения снега на полях, повышения влажности почв, уменьшения испарения влаги, предотвращения эрозии почв, улучшения микроклимата, защиты сельскохозяйственных культур от засух и суховея и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Полезные лесные полосы на территории должны составлять цельную систему.

Список использованных источников

- 1 Агролесомелиорация: монография / Л. И. Абакумова [и др.]; под ред. А. Л. Иванова, К. Н. Кулика. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. – 746 с.
- 2 Редько, Г. И. Лесные культуры / Г. И. Редько, А. Р. Родин, И. В. Трещевский. – М.: Агропромиздат, 1985. – 400 с.
- 3 Родин, А. Р. Лесомелиорация ландшафтов: учеб. пособие / А. Р. Родин, С. А. Родин, С. Л. Рысин. – 6-е изд. – М.: МГУЛ, 2005. – 127 с.
- 4 Родин, А. Р. Лесомелиорация ландшафтов: учеб. пособие / А. Р. Родин, С. А. Родин. – М.: МГУЛ, 2007. – 165 с.
- 5 Агролесомелиорация и плодородие почв / Е. С. Павловский [и др.]; под ред. Е. С. Павловского. – М.: Агропромиздат, 1991. – 288 с.
- 6 Агролесомелиорация: сб. ст. / под ред. В. И. Виноградова. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 320 с.
- 7 Ивонин, В. М. Агролесомелиорация водосборов / В. М. Ивонин. – Новочеркасск, 1993. – 200 с.
- 8 Руководство по лесовосстановлению и лесоразведению в лесостепной, степ-

ной, сухостепной и полупустынной зонах европейской части Российской Федерации. – М., 1994. – 182 с.

9 Черемисинов, А. Ю. Агролесомелиорация: учеб. пособие / А. Ю. Черемисинов, А. С. Спахова. – Воронеж: ВГАУ, 2004. – 176 с.

УДК 631.674

А. Н. Рыжаков

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

К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Целью данного исследования являлось рассмотрение вопросов надежности и безопасности систем капельного орошения при их использовании для полива многолетних насаждений. Актуальность вопроса безопасности и надежности систем капельного полива определяется необходимостью выбора наиболее приемлемого варианта из большого количества предложений. В результате исследования выполнен предварительный анализ известных существующих в настоящий момент систем для капельного орошения садовых древесных насаждений, позволивший выбрать наиболее оптимальное конструктивное решение комплекта капельного полива.

Ключевые слова: системы капельного орошения, корневая система, фертигация, капельный полив, локальная подача воды.

В отличие от гидротехнических сооружений инженерные системы капельного орошения не представляют значимой опасности для человека, но могут быть опасными для растительных и почвенных организмов, находящихся под их воздействием при поливах. В связи с этим для оценки их безопасности (или степени опасности) для живых организмов должны быть выработаны соответствующие показатели и оценки, к которым относятся:

- показатели (критерии) надежности функционирования систем капельного орошения как техногенного средства, воздействующего на биосферу и (или) биологический объект;

- показатели надежности жизнеобеспечения растений влагой и питательными (потребляемыми ими) элементами при использовании систем капельного орошения для искусственного увлажнения сельхозугодий, фертигации и защите растительных организмов от вредных внешних воздействий (микроклиматических явлений, болезнетворных вирусов и вредителей).

В рассматриваемом случае (в соответствии с [1]) под термином «безопасность» следует понимать свойство, состояние и (или) режим функционирования системы капельного орошения (полива), при которых отсутствует недопустимый риск причинения вреда окружающей природной среде (жизни и здоровью находящихся под воздействием этой системы животных и растительных организмов). При этом подразумевается безопасность, собственно, системы и безопасность ее работы (возможного негативного воздействия) для объекта при оказании влияния этой системой.

Под надежностью системы капельного орошения понимается свойство системы, заключающееся в способности функционировать в определенных условиях ее использования (эксплуатации) в течение определенного регламентом временного периода и в определенных пределах результативности. В качестве показателей надежности систем (техногенной составляющей систем) капельного полива могут рассматриваться как общепринятые показатели (долговечность, сохраняемость, безотказность, ремонтпригодность, наработка на отказ и др.), так и специфичные для них показатели, ха-

рактизирующие качество их работы, и (или) показатели их влияния на объект воздействия (растения и почву).

Актуальность рассмотрения вопроса безопасности и надежности систем капельного орошения определяется необходимостью выбора наиболее приемлемого варианта из большого количества предложений (более 20 фирм мирового уровня) на рынке капельных систем. Отметим, что до настоящего времени вопросы обоснованного выбора определенной системы капельного полива для конкретных условий их функционирования по показателям надежности и безопасности по существу не рассматривались. Имеющиеся конструктивные решения систем капельного полива преимущественно оценивались и выбирались по показателям функциональности, цены и доступности, без учета показателей по надежности и безопасности. Анализ исследований [2] этих показателей в России показал, что они носят сугубо эпизодический характер.

Между тем проблема определения надежности системы все более актуализируется в связи с широким развитием конструктивных схем систем капельного полива и интенсификацией их использования в сельскохозяйственном производстве. Наиболее остро сегодня стоит вопрос надежности и безопасности таких систем орошения при использовании их для полива многолетних насаждений (виноградников и садов) в связи с ростом рисков и размеров ущербов, вызванных выходом их из строя или аварийными и восстановительными перерывами в их функционировании.

Актуальность оценки (определения показателей) надежности технологии капельного орошения в определенной мере объясняется ее отличительными особенностями в сопоставлении с технологиями поверхностного и дождевого орошения. Предшествующие капельному поливу технологии предусматривали увлажнение практически всей или большей части области питания растений и даже фактически не освоенной корневой системой зоны. При этом создавался большой запас искусственно увлажняемого почвогрунтового пространства, в котором корни растения могли бы «черпать» влагу и потреблять растворенные в воде элементы питания. Удобрения и другие агрохимпрепараты вносились также по значительной площади и в гораздо большем в сравнении с реальной потребностью объеме, что формировало их определенный запас. Указанное обстоятельство не побуждало рассматривать вопросы надежности жизнеобеспечения растений.

Технология капельного орошения предусматривает многократное уменьшение используемого ресурса (воды, удобрений, агрохимпрепаратов) и локализацию их внесения в зону питания растений. Локальное увлажнение почвенного пространства позволяет направленно формировать корневую систему многолетних растений и создавать ее компактной (малообъемной), с плотным насыщением ризосферы корнями разного иерархического уровня. Наблюдаемое при этом уменьшение области питания корневой системы сокращает возможности для нахождения и использования растением доступного количества находящихся в почвенном пространстве потенциальной зоны питания необходимых элементов.

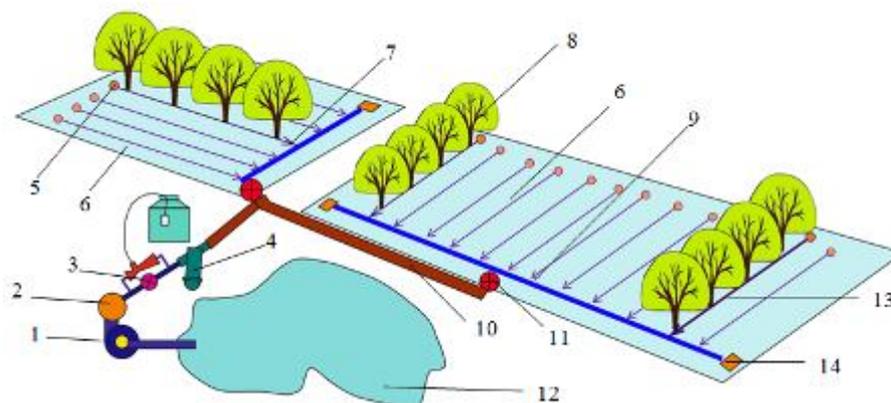
В условиях капельного полива происходит формирование надземной части растения, существенно превышающей размеры подземной части. При этом возможности для самообеспечения растительного организма элементами питания, изымаемыми из ризосферы (уменьшенной по объему его корневой системой) снижаются, что особенно характерно для многолетних культур.

Данная трансформация надземной и подземной частей растений требует более «адресного» и надежного обеспечения его корней привносимой (подаваемой) из вне водой и питательными элементами, что актуализирует задачу надежной подачи в почву питательных растворов. Малая емкость охваченного ризосферой субстрата требует своевременного, большего и качественного его насыщения элементами питания, стимуляторами роста и другими веществами.

То есть в отличие от «запасной» технологии (характерной для орошения дождеванием) при капельном поливе и влага, и удобрения должны подаваться в строгом соответствии с потребностями растений. И это обстоятельство ставит во главу угла проблему надежности обеспечения жизнедеятельности растений, следовательно, и проблему надежности функционирования техногенной компоненты систем капельного орошения.

Отметим, что известные капельные трубопроводы (ленты и трубки) имеют различные технические характеристики (диаметр, толщину стенки, расстояние между капельницами, величину расходов и т. п.) и стоимость. Правильный выбор поливного водовода и его размещение в плане позволяют создать систему капельного орошения, по своим техническим возможностям обеспечивающую реализацию технологического процесса с нужной надежностью. Основным требованием при выборе поливного трубопровода должно быть максимальное соответствие технических характеристик конкретным условиям его применения по соотношению между ценой и качеством и показателям его эксплуатационной надежности. В связи с этим для оценки надежности предлагаемых систем было бы обоснованным проведение сравнительного исследования нескольких наиболее распространенных комплектов оборудования и систем капельного полива в определенных и одинаковых условиях их функционирования, что потребует значительных временных и финансовых затрат.

Выполненный предварительный анализ известных систем для капельного орошения садовых древесных насаждений позволил выбрать наиболее оптимальное конструктивное решение комплекта капельного полива, предложенного заводом-изготовителем «Факел» [3], представляющееся нам наиболее эффективным, надежным, безопасным и приемлемым по цене. Схема системы капельного орошения сада на основе этой системы приведена на рисунке 1.



- 1 – насос; 2 – фильтр песчано-гравийный; 3 – фертигационный узел; 4 – дисковый фильтр;
5 – заглушка «резьбослив»; 6 – поливной сектор; 7 – штуцер-дроссель стартовый; 8 – дерево;
9 – трубопровод распределительный; 10 – трубопровод магистральный; 11 – узел раздачи;
12 – источник орошения; 13 – трубопровод поливной; 14 – заглушка

Рисунок 1 – Схема оросительной системы на базе технологического оборудования завода «Факел»

Приведенные на рисунках виды и схемы элементов поливной (оросительной) сети отличаются конструктивной простотой и высокой надежностью. Отдельные элементы системы приведены на рисунках 2–4. Наличие в конструкции капельниц двух и четырех выходных штуцеров для подсоединения водоотводных трубок (капилляров) различной протяженности (от 0,6 до 2,0 м) позволяет организовать от 2 до 8 различных зон водоподачи (от одной до двух капельниц) в пределах ризосферы древесного насаждения. Схема размещения поливных элементов на капельно-поливном трубопроводе и на участке полива деревьев приведены на рисунке 5.



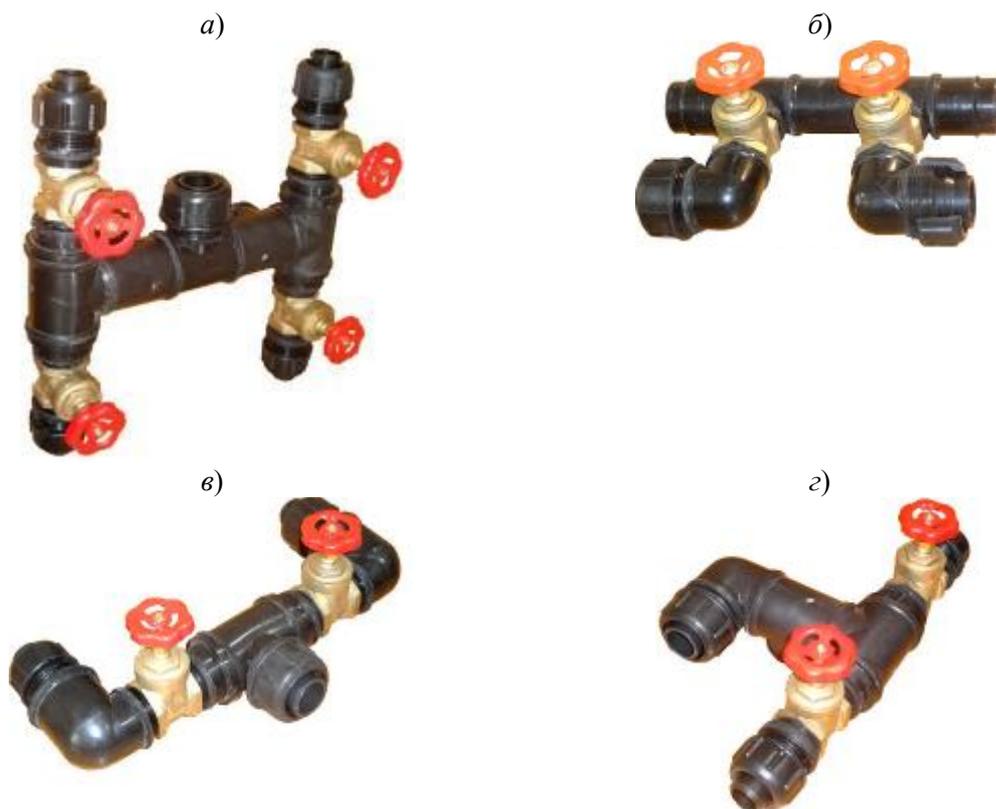
а) КС-4; б) КС-2; 1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок;
3 – корпус капельницы; 4 – крышка капельницы

Рисунок 2 – Общий вид самотечных капельниц, изготавливаемых заводом «Факел»



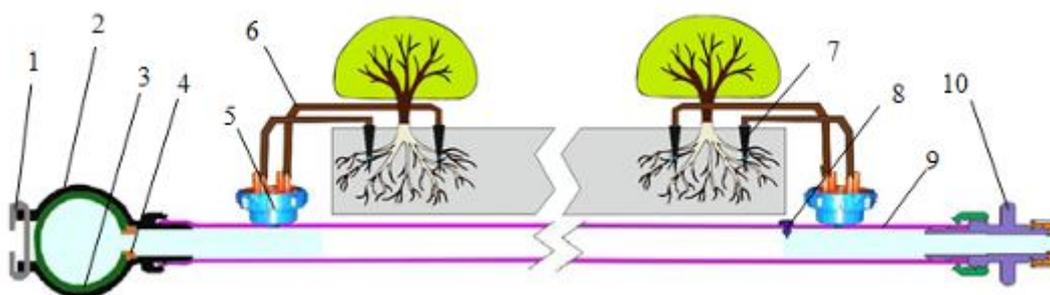
а) соединительный штуцер для ленты; б) соединительные штуцеры для труб и трубок;
в) хомут резьбовой; г) стартовый штуцер-дроссель; д) миникран; е) заглушка «резьбослив»
для ленты; ж) заглушка межсезонная; з) заглушка для труб; и) заглушка конечная для ленты;
к) уголок; л) тройник; м) крючки

**Рисунок 3 – Водопроводная арматура для систем капельного орошения,
поставляемая заводом «Факел»**



а) на один вход и четыре выхода; б) на два сектора;
в) на один вход и два выхода; г) на один вход и два выхода (ДУ-50)

Рисунок 4 – Узлы раздачи различных конфигураций



1 – скоба; 2 – хомут резьбовой; 3 – трубопровод раздаточный;
4 – уплотнитель ПВХ; 5 – капельница; 6 – капилляр; 7 – наконечник;
8 – заглушка «кнопка»; 9 – трубопровод питательный; 10 – заглушка «резьбослив»

Рисунок 5 – Поливные капельные водоводы

Рассматриваемый комплект оборудования оросительной трубопроводной сети включает в себя: насосную станцию (насос) для забора воды из источника орошения (пруда); песчано-гравийный фильтр (грубой, т. е. предварительной очистки поливной воды); агрохимический узел (подготовки и подачи в оросительную сеть растворенных удобрений и агрохимических препаратов); дисковый или сетчатый фильтр тонкой (окончательной) очистки поливной воды; магистральный трубопровод; распределительные трубопроводы; поливные капельные трубопроводы; капельные микроводопуски (капельницы); соединительную и запорно-регулирующую арматуру.

При анализе имеющихся исследований в этой области [2, 4, 5] можно сделать вывод, что особое место, в части обеспечения надежности и безопасности условий

жизнедеятельности многолетних культур (винограда, садовых древесных и кустарниковых насаждений), занимает проблема определения требуемого количества зон локальной подачи поливной воды или поливных растворов. В подавляющем большинстве известных работ капельные микроводовыпуски предлагается располагать в области распространения корневой системы насаждений. По количеству зон водоподачи известны предложения по достаточности для капельного полива деревьев от двух до четырех (чаще) и более (реже). Отметим, что надежность условий жизнеобеспечения растений (влажностью и питательными веществами) может быть гарантирована только в том случае, если их корни будут располагаться в зоне водоподачи. В противном случае самая совершенная и безопасная капельная оросительная система может быть отнесена к самой ненадежной. И в этом отношении надежность применяемой системы капельного полива должна оцениваться по показателям гарантированности обеспечения ею жизнедеятельности растений.

В качестве достоинств систем и технологий капельного орошения отмечается их экологическая безопасность для растений и среды их обитания, что в целом соответствует действительности за исключением приведенных ниже частных случаев.

Определенную опасность и угрозу или возможность негативных воздействий (проявлений) для почвы и растений представляют постоянно увлажняемые (переувлажняемые) зоны продолжительной водоподачи (формируемые в зоне водовыпусков контуры увлажнения). В пределах этих зон (особо характерных для полива многолетних растений) аэробные процессы почвообразования («аэробные условия жизни почвы») меняются на анаэробные (условия избыточности влажной или постоянного увлажнения при дефиците воздуха), что приводит к нарушению структуры почвы и другим негативным проявлениям в почвенном покрове (слое).

При подаче избытка поливной воды в зону расположения главного корня растения и формирования в месте его расположения контура увлажнения могут происходить процессы вымокания и снижения дыхательной и питательной функций корней.

Системы капельного полива нуждаются в промывках кислотными растворами, потенциально опасными для почвенной флоры и фауны, а соответствующая утилизация промывных растворов в системах капельного полива не предусматривается.

Список использованных источников

1 Колганов, А. В. Словарь-справочник гидротехника-мелиоратора: терминологический словарь: в 2 т. / А. В. Колганов, В. Н. Шкура, В. Н. Щедрин; под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – Т. 1. – 422 с.; Т. 2. – 432 с.

2 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

3 Назначение систем капельного орошения с применением различных оросителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fakel.dn.ua/site/page.php?entid=10>.

4 Рыжаков, А. Н. Исследование основной массы корней яблоневых растений [Электронный ресурс] / А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – № 4(20). – 11 с. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec372-field6.pdf.

5 Обумахов, Д. Л. Расчетный метод определения параметров контура увлажнения при подземно-капельном орошении [Электронный ресурс] / Д. Л. Обумахов, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 4(16). – 12 с. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec294-field6.pdf.

УДК 631.67:626.82/.83

А. А. Чураев, Л. В. Юченко

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

ПРЕЦИЗИОННОЕ ОРОШЕНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

В статье рассмотрена перспектива использования прецизионного (точного) орошения сельскохозяйственных культур и предложены необходимые современные технические средства и приборы для реализации применяемых технологий.

Ключевые слова: прецизионное орошение, дождевальные машины, приборы точного позиционирования, агрометеокомплексы и метеостанции, датчики, автоматизация орошения, минеральные удобрения.

Орошение является неотъемлемой частью сельскохозяйственного производства и требует больших расходов энергии и воды. Повысить эффективность орошения и уменьшить количество потребляемой воды возможно при применении основных принципов технологии прецизионного земледелия.

Прецизионное орошение как элемент современных оросительных систем может включать орошение дождеванием и внесение минеральных удобрений под конкретную культуру. Для этого необходимо использование дождевальной машины нового поколения с электронным оборудованием и программным обеспечением, выполняющим дифференцированную подачу воды для орошения и дозированное внесение минеральных удобрений и пестицидов, а также новейших технических средств и электронных приборов, контролирующих заданные параметры.

При переходе на технологию прецизионного орошения и внесения минеральных удобрений и пестицидов в первую очередь необходима объективная оценка пространственно-временной вариабельности сельскохозяйственных полей. Почвенно-климатические характеристики полей должны включать следующие основные агрофизические и агрохимические параметры: гранулометрический состав, кислотность, подвижные формы фосфора и калия, органическое вещество, плотность, влагообеспеченность, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований (азот, фосфор, калий, гумус, рН и др.).

Для реализации данной технологии необходимо оснащение дождевальных машин навигационными системами, позволяющими на основе использования сигналов спутниковых навигационных систем осуществлять привязку проводимых операций к конкретной местности. С помощью GPS-приемника, спутниковых снимков и специального программного обеспечения (ГИС) могут быть созданы электронные карты полей. Для агрохимического обследования «точным» способом может применяться мобильный автоматизированный комплекс, который состоит из автоматического почвенного пробоотборника, системы параллельного вождения со встроенным высокоточным GPS-приемником, бортового компьютера и специального программного обеспечения [1, 2].

В настоящее время, чтобы ускорить рабочий процесс отбора почвенных проб и образцов, используют специальные пробоотборники на различных мобильных средствах. Предлагаются разнообразные типы машин: на основе гидравлических набивающих цилиндров, буров с электропневматическими ударными механизмами и различными вариантами спиральных буров [3].

В Агрофизическом НИИ РАСХН [4] в рамках исследований по точному земледелию был создан и апробирован мобильный комплекс, который оборудован автоматическим пробоотборником, созданным на базе автомобиля «Нива». Известные зарубежные мобильные автоматизированные комплексы с автоматическими пробоотборниками [5]

оснащены GPS-приемником, бортовым компьютером, автоматическим пробоотборником и специальным программным обеспечением. Они могут детально обследовать участок поля и определять потребность в питательных элементах, а также другие агрохимические показатели с точностью до 1 м и впоследствии составить технологическую карту с целью дифференцированного внесения элементов питания для растений и т. п. В таблице 1 отражены характеристики современных пробоотборников зарубежных фирм.

Таблица 1 – Характеристики автоматических пробоотборников зарубежных фирм

Модель	Agri Con	2450 Amity	2024 Amity	2400 Amity	2403 Amity	Wintex 1000	Nietfeld Duoprob 60	Nietfeld 2000	Nietfeld Multiprob 120
Страна-производитель	Германия	США	США	США	США	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Глубина взятия проб, см	25	До 61	До 61	До 61	0–122	10–30	0–30 30–60	10–30	0–30 30–60 60–90
Питание	От АКБ автомобиля	Электрическое	Привод от ДВС «Хонда»	Электрическое	Гидравлическое	Гидравлическое	Гидравлическое	Гидравлическое, электрическое	Гидравлическое
Время отбора одной пробы, с	10	10–12	4–16	10–12	10–12	2–3	20–25	5–10	20–25
Размещение	Универсальный	Для кузова	Для квадроцикла	Для кабины	Для трактора	Для квадроцикла	Универсальный	Для кузова	Универсальный
Вес, кг	70	100	95	Нет данных	84	140	Нет данных	Нет данных	Нет данных

На рисунке 1 представлен мобильный автоматизированный комплекс, оснащенный автоматическим пробоотборником AmityA 2450 фирмы Fritzmeier. Комплекс может производить до 25 автоматических отборов за 10–12 с (глубина отбора – до 61 см), имеет электрическое питание и дистанционное управление.

В новой технологии также должна реализовываться программа водного баланса и контроля поля, которая умеет рассчитывать дневное потребление воды растениями, исходя из фактора культуры и дневного исходного суммарного испарения (ET), скорректированного данными о количестве осадков и орошении.

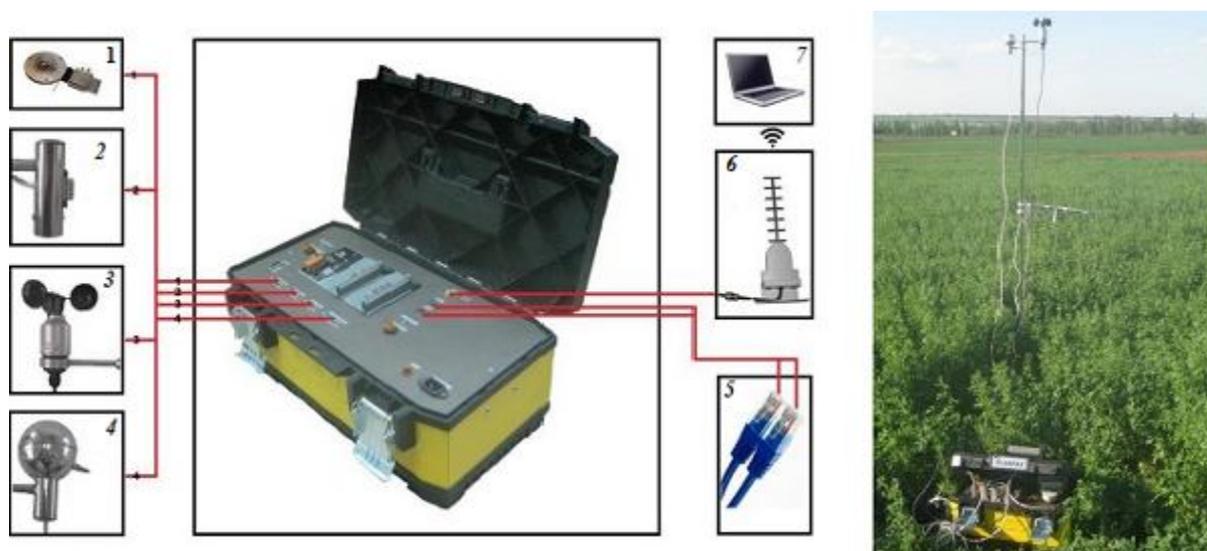
К современным средствам контроля технологий прецизионного орошения можно отнести мобильные приборы, агрометеоконкомплексы и метеостанции, укомплектованные датчиками, контролирующими необходимые агрометеорологические параметры, а также средства контроля метеопараметров окружающей среды, использующие ЭВМ и GPS [6].

В процессе реализации эксплуатационных режимов орошения оперативное управление поливами (его корректировка с учетом изменяющихся погодных, агротехнических и других условий) во многом зависит от быстрого сбора и обработки необходимой информации при помощи соответствующих современных средств контроля метеопараметров



Рисунок 1 – Мобильный автоматизированный комплекс, оснащенный автоматическим пробоотборником Amity A 2450

С целью осуществления дистанционного управления режимом орошения учеными [7] разработан автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс (АМПАК), который может выполнять сбор и обработку метеопараметров сельскохозяйственного поля с определенной культурой, рассчитывать в режиме реального времени водопотребление посевов (ЕТ) и определять нормы и сроки полива (рисунок 2).



1 – балансмер; 2 – инфракрасный термометр; 3 – датчик ветра;
4 – датчики (температура воздуха, влажность воздуха, атмосферное давление);
5 – соединительный провод; 6 – антенна; 7 – компьютер

Рисунок 2 – Автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс (АМПАК)

Приложение комплекса дает возможность управлять параметрами эксперимента и следить за изменениями метеопараметров и показателей режима орошения в течение дня, а также реализовать алгоритм расчета биологического водопотребления в соответствии с потребностями роста и развития посевов. Исходной информацией для алгоритма являются метеопараметры, которые АМПАК регистрирует на сельскохозяйственном поле: температура и относительная влажность воздуха, скорость ветра, атмосферное давление, температура и радиационный баланс подстилающей поверхности, а также сведения о фенологическом развитии посевов, которые заносятся вручную: высота, сомкнутость покрова посевов, дата посадки.

Существует множество универсальных метеостанций автономного мониторинга погоды. Метеостанции оснащены сенсорами: температуры и относительной влажности

воздуха, солнечной радиации, скорости и направления ветра, увлажнения листа, температуры и влажности почвы, атмосферного давления, а также дождемером. Метеостанция автономного мониторинга погоды (рисунок 3) осуществляет индивидуальное агрономическое прогнозирование погоды и заболеваний сельскохозяйственных культур, рассчитывает коэффициент испарения и транспирации (ЕТ) и предлагает экономически выгодные и эффективные решения для выращивания сельскохозяйственных культур [8]. Максимальное количество подключенных непосредственно к станции сенсоров – 32, количество беспроводных сенсоров – 64.



Рисунок 3 – Метеостанция автономного мониторинга погоды

Созданы метеостанции для автоматизации оросительных систем, основанные на интернет-контроллере орошения дождеванием [9]. Устройство имеет возможность полностью автоматизировать орошение или централизованно управлять с любого места, где есть доступ в Интернет. Метеостанция информирует о том, что в действительности происходит на поле и помогает определить норму и количество полива для конкретных культур, время использования водорастворимых удобрений и пестицидов для более эффективного использования их корневой системой растения, предотвратить вымывание питательных элементов из почвы. Мгновенное СМС-сообщение предупреждает об ухудшении условий (повышенная или пониженная влажность почвы).

Полная автоматизация орошения предусмотрена при применении метеостанции компании iMetos, которая работает в режиме онлайн, используя интернет и свою созданную сеть для автоматической и непрерывной передачи данных. Система включает полностью интегрированный модем для прямого соединения с базой (платформой) и может обрабатывать до 350 сенсоров через интеллектуальные системы. На рисунке 4 представлен базовый блок метеостанции iMetos ICA на основе GSM/GPRS-технологии для управления на расстоянии системой орошения, размещен в корпусе в комплектации с аккумулятором и солнечной панелью [10].



Рисунок 4 – Базовый блок метеостанции iMetos ICA

Метеостанция такого порядка может посылать СМС-оповещение, которое подскажет, когда необходимо включить или выключить оросительную систему. Используя данные метеостанции, специальная программа поддерживает релевантные значения, основываясь на таблице факторов, разработанной Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН. Таблица коэффициентов культур, которая предлагается программой, может редактироваться пользователем, исходя из фактора культуры и дневного исходного ЕТ, автоматически рассчитывается дневное потребление воды растениями, скорректированное данными о количестве осадков с метеорологической станции и сведениями об орошении. Специальная программа выводит таблицу с данными о водном балансе поля на протяжении всего сезона. В результате чего специалисты могут увидеть, насколько эффективным было орошение и дать рекомендации по корректировке поливов.

Выводы. Для реализации технологии прецизионного орошения необходимы: современная дождевальная сельскохозяйственная техника, управляемая бортовой ЭВМ и способная дифференцированно проводить агротехнические операции; приборы точного позиционирования на местности (GPS-приемники); технические системы, помогающие выявить неоднородность поля (автоматические пробоотборники, различные сенсоры и измерительные комплексы, приборы дистанционного зондирования сельскохозяйственных посевов и др.). Основой технологии является программное обеспечение, которое должно автоматизировать выполнение технологических операций с учетом оптимизации агротехнических решений в пределах возделываемого поля.

Список использованных источников

1 Точное земледелие на вооружении у сельхозпроизводителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro-inform.ru>, 2015.

2 Агрохимическое обследование в точном земледелии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrophys.com>, 2015.

3 Точное сельское хозяйство (Precision agriculture): учеб.-практ. пособие / Д. Шпаар [и др.]; под общ. ред. Д. Шпаара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. – СПб.; Пушкин: СПб СРП «Павел» ВОГ, 2009. – 397 с.

4 Якушев, В. П. Информационное обеспечение точного земледелия / В. П. Якушев, В. В. Якушев. – СПб.: ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.

5 Мобильные автоматизированные комплексы с автоматическими пробоотборниками [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://newtechagro.ru/-articles/archive7/sistemj_parallelnogo_vojdeniya_kursoukazateli.html, 2015.

6 Чураев, А. А. Современные методы и средства контроля агрометеопараметров в полевых условиях при возделывании сельскохозяйственных культур / А. А. Чураев, Л. В. Юченко, В. М. Школьная // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – Вып. 4(60). – С. 153–158.

7 Автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс (АМПАК) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrophys.ru/АМПАК-AFI>, 2015.

8 Метеостанция для сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agroservers.ru/b/meteostantsiya-dlya-selskogo-khozyaystva-391131.htm>, 2016.

9 Метеостанции для автоматизации оросительных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agroservers.ru/b/meteostantsii-dlya-avtomatizatsii-orositelnykh-sistem-392466.htm>, 2016.

10 Metos® Регистраторы и сенсоры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metos.at>, 2015.

УДК 631.6

У. П. Умурзаков, М. Х. Хамидов, А. Г. Шеров, Ф. А. Бараев, С. Уринбаев
Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

НОВЫЙ ВОДОМЕРНЫЙ ПРИБОР С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДАТЧИКОМ НА БАЗЕ ВОДОСЛИВА ЧИПОЛЕТТИ

В статье представлены результаты теоретических, лабораторных и производственных исследований нового ультразвукового водомерного прибора, особенностями которого являются малые габариты, мобильность, низкая погрешность показаний (не превышает 2 %) и относительно невысокая стоимость.

Ключевые слова: ирригационная система, водоучет, гидрост, водомерное устройство, ультразвук, водослив Чиполетти.

Задачи водосбережения, повышения водообеспеченности, эффективного использования водных ресурсов при их дефиците являются приоритетными, прежде всего, для сельского хозяйства как основного потребителя воды. В настоящее время одной из самых актуальных проблем является эффективное использование водных ресурсов, потому что от их наличия или нехватки во многом зависит развитие всех отраслей сельского хозяйства Республики Узбекистан.

В связи с ростом дефицита водных ресурсов руководством Республики большое внимание уделяется их бережному использованию, строгому контролю и учету. Фермерские хозяйства также заинтересованы в правильном учете используемой воды, поскольку важно знать точное количество поданной и потребленной воды и, соответственно, сколько необходимо заплатить.

Поэтому разработка современных конкурентоспособных средств водоучета в настоящее время имеет большое значение, особенно при интенсивном процессе массового строительства водомерных сооружений на оросительной сети [1]. В связи с этим проведенные исследования по данной проблеме весьма актуальны.

Авторами впервые предлагаются теоретические основы и новый водомерный прибор по установлению расходов и объемов воды, выделяемых фермеру. Исследования проводились в Бозсуйском, Чирчик-Ахангаранском бассейновом управлениях ирригационных систем Узбекистана.

В Республике при достаточно удовлетворительной оснащенности средствами водоучета крупных гидротехнических сооружений и речных гидростов внутрихозяйственная часть гидромелиоративных систем практически не имеет надежных и простых в эксплуатации средств водоучета.

В настоящее время в ирригационных системах водоучет осуществляется путем наблюдений горизонтов и измерения расходов воды водомерными устройствами Томсона, Чиполетти, лотковыми, речными и вертушками. Однако эти устройства имеют низкую точность измерения (погрешность 15–20 % и более), что ограничивает возможности их применения [2].

На отдельных гидротехнических сооружениях государственного уровня, к примеру, в Южном Голодностепском магистральном канале, внедрены средства водоучета производства Франции. Но их рыночная стоимость превышает нескольких тысяч долларов США, и это без учета расходов, связанных с эксплуатационным периодом.

Для фермеров такие издержки в настоящее время непосильны. В результате проведенного анализа патентного фонда, разработки математической модели выявлена возможность создания более точного устройства для учета расхода и объема воды в безнапорных руслах [2].

Информация, полученная на основе аналитического обзора известных способов

и средств учета воды в открытых безнапорных руслах, показала, что варианты современного электронного отечественного прибора по учету воды в открытых руслах, разработанные при содействии Министерства сельского и водного хозяйства учеными ТИИМ в 2007 и 2011 гг., возможно модернизировать и усовершенствовать. Данные приборы представлены на рисунках 1–3.



Рисунок 1 – Вариант 1 прибора (ТИИМ-1) (автор фото А. Шеров)



Рисунок 2 – Вариант 2 прибора (ТИИМ-2) (автор фото А. Шеров)



Рисунок 3 – Вариант 3 прибора (ТИИМ-3) (Пульт управления) (автор фото А. Шеров)

Произведенные теоретические расчеты для варианта 4 позволили создать математическую модель для разработки компьютерной программы и на ее основе – не менее качественный, компактный и отвечающий требованиям дизайна прибор. Его отличие состоит в том, что вместо поплавка применен ультразвуковой датчик, а за основу для измерений принят обычный водослив Чиполетти. Это позволило увеличить точность показаний, так как в процессе измерений активно участвует только один фактор – глубина слоя воды в створе водослива Чиполетти.

Ниже приводится теоретическая основа нового водомерного прибора, разработанного с учетом рекомендаций Министерства сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан (Р. Мамутов), Бозсуйского управления ирригационных систем (Н. Рихситиллаев) и ИСМИТИ (У. Расулев).

Гидравлические параметры канала трапецеидального сечения приведены на рисунке 4.

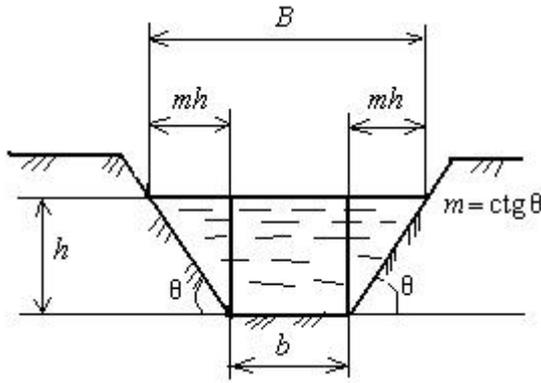


Рисунок 4 – Гидравлические параметры канала трапецидального сечения

Площадь живого сечения определяется по зависимости:

$$A = (b + mh) \cdot h, \quad (1)$$

где b – ширина лотка по низу, м;

$$m = \text{ctg} \theta;$$

θ – угол между боковыми откосами лотка и горизонтальной плоскостью;

h – глубина потока жидкости (воды), м.

Смоченный периметр:

$$\chi = b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}. \quad (2)$$

Гидравлический радиус:

$$R = \frac{A}{\chi} = \frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}}. \quad (3)$$

Обозначив отношение $\frac{b}{h} = \beta$, получим:

$$R = \frac{\beta + m}{\beta + 2\sqrt{1 + m^2}} \cdot h, \quad (4)$$

где β – безразмерная величина.

Учитываем соотношение:

$$v^2 = i \gamma R^{4/3}, \quad (5)$$

где v – средняя скорость движения воды, м/с;

i – гидравлический уклон русла лотка;

$\gamma = \left(\frac{1,49}{n} \right)^2$ – полученный эмпирическим путем коэффициент.

Учитывая коэффициент шероховатости n поверхности русла (для железобетонных лотков можно принять $n = 0,012 \div 0,015$), находим расход воды, проходящей через поперечное сечение лотка:

$$Q^2 = A^2 \cdot v^2 = i \gamma A^2 \cdot R^{4/3}. \quad (6)$$

Отсюда следует:

$$Q = \sqrt{i \gamma} \cdot A \cdot R^{2/3}. \quad (7)$$

Учитывая формулы (1) и (3), получим:

$$Q = \sqrt{i \gamma} \cdot (b + mh) \cdot h \cdot \left[\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \sqrt{1 + m^2}} \right]^{2/3}, \quad (8)$$

или окончательно:

$$Q = \sqrt{i\gamma} \cdot \frac{[(b+mh) \cdot h]^{\frac{5}{3}}}{(b+2h \cdot \sqrt{1+m^2})^{\frac{2}{3}}} \quad (9)$$

При угле $\theta=90^\circ$, $m=0$, и из формулы (9), как частный случай, получим формулу расхода для лотка прямоугольного сечения:

$$Q_{\text{пр}} = \sqrt{i\gamma} \cdot \frac{(bh)^{\frac{5}{3}}}{(b+2h)^{\frac{2}{3}}} \quad (10)$$

Блок-схема и программа для контроллера прибора. На основе указанной формулы разработаны блок-схема, электронные платы счетно-решающего устройства и электронно-механического счетчика, которые вместе с датчиком уровня, электронными часами, аккумулятором и зарядным устройством образуют устройство для измерения стока жидкости (рисунок 5).



Рисунок 5 – Блок-схема устройства нового прибора

Датчик располагается в водомерном колодце фиксированного русла и представляет собой прорезь или трубку в откосе фиксированного русла шириной 1–2 см. Это устройство часто заиливается. Поэтому авторами предлагается изготавливать его в виде вставного кожуха (труба в трубе), что позволяет извлекать пропускную трубку из стационарного кожуха, легко его промывать и обратно вставлять в кожух (рисунок 6).

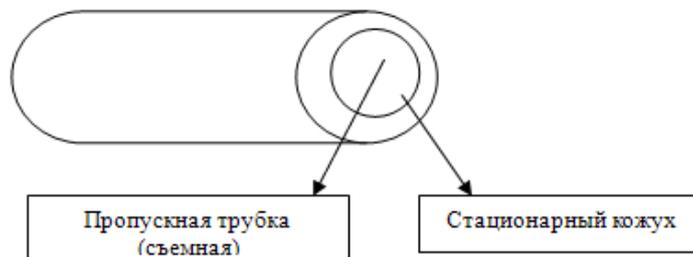


Рисунок 6 – Конструктивная схема установки новой модификации датчика

В дальнейшие исследования можно включить теоретические разработки для различных фиксированных сечений (с заданными параметрами) и ввести их в счетно-решающее устройство (микропроцессор).

Испытание работоспособности нового прибора варианта 3 производилось на лабораторной базе ТИИМ, имеющей шесть действующих взаимосвязанных водосливов, в том числе и водослив Чиполетти.

Причем можно измерять как расходы, так и объемы воды. Для последнего существует возможность в любое время дополнить прибор шкалой, указывающей стоимость выделенной фермеру воды.

Лабораторные опыты производились для всех трех вариантов приборов. Точность показаний каждого прибора оценивалась при помощи сопоставления с показателями измерения расходов через водослив Чиполетти объемным способом. В таблице 1 и на рисунке 7 приведены результаты лабораторных работ.

Как видно из рисунка 7, погрешность отклонений показаний прибора варианта 3 не превышает 2 %. Прибор варианта 1 работает с поплавковым датчиком, поэтому его погрешность измерений самая высокая – 7 %.

Таблица 1 – Данные лабораторных измерений расходов воды через водослив Чиполетти разными вариантами приборов ТИИМ и объемным методом

В л/с

Номер измерения	Расход воды в створе водослива Чиполетти, измеренный			
	объемным способом	прибором ТИИМ-1	прибором ТИИМ-2	прибором ТИИМ-3
1	0	0	0	0
2	20	16	15	18
3	50	43	44	49
4	75	70	75	70
5	70	70	68	70
6	65	66	63	66
7	60	62	60	62
8	50	54	55	54
9	55	50	60	50
10	40	38	40	38
11	30	28	30	28
12	25	25	20	25
13	24	26	24	26
14	23	25	28	25

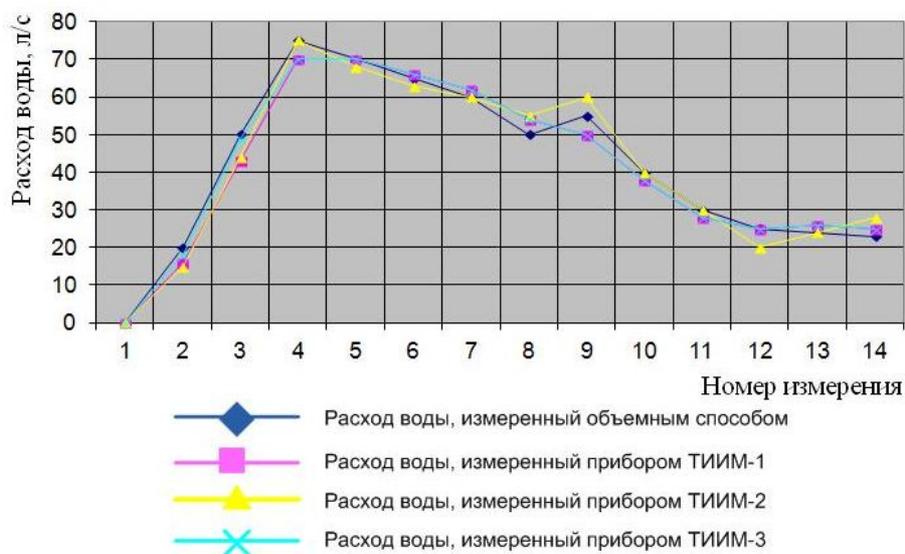


Рисунок 7 – Кривые расходов воды, измеренные по водосливу Чиполетти и по показаниям приборов

Прибор варианта 4 (рисунок 8) получает информацию с помощью ультразвука и имеет погрешность, сравнимую с вариантом 3. С другими конфигурациями поперечного сечения и фиксированными руслами он может давать достоверные показания. В дальнейших исследованиях авторы планируют еще вернуться ко второму варианту. Однако, на сегодняшний день он является объемным по размеру и дорожке, чем вариант 3.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики прибора варианта 4 следующие:

- диапазон измеряемых расходов воды – 10–1000 л/с с шагом 1 л/с;
- диапазон измерения стока (объема) воды – от 1 до 500000 м³ с шагом 10 м³;
- глубина слоя воды в створе – 0,1–3,0 м, ширина порога – от 0 до 1 м;

- диапазон температур воздуха в колодце – от +30 до +10 °С;
- относительная влажность воздуха в колодце – 70–95 %;
- погрешность измерений датчика – не более ± 2 %.



а) вид с лицевой стороны; б) вид обратной стороны

Рисунок 8 – Прибор варианта 4

Новый водомерный прибор варианта 4 позволяет использовать его на фиксированных открытых руслах. Измерение расходов производится ультразвуковыми датчиками, это улучшает и упрощает его применение на производстве. Предлагаемая новая версия водомерного прибора отличается от других более высокой точностью измерений, поскольку в расчетах участвует только один внешний параметр (глубина слоя воды в створе водослива Чиполетти), который устанавливается с помощью ультразвукового датчика. Себестоимость прибора в многотиражном выпуске будет гораздо ниже (не более 500 долл. США), чем импортных вариантов (3–5 тыс. долл. США), что позволит каждому фермеру приобрести собственный комплект этого водомерного прибора.

Список использованных источников

1 О мерах по дальнейшему улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель и рациональному использованию водных ресурсов на период 2013–2017 годы: Указ Президента Республики Узбекистан № ПП-1958 от 21 апреля 2013 г.

2 Бутырин, М. В. и другие. Водомерные устройства для гидромелиоративных систем / М. В. Бутырин [и др.]; под ред. А. Ф. Киенчука. – М.: Колос, 1982. – 144 с.

УДК 635.1/.8

А. Н. Бабичев, Д. В. Мартынов

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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОВОЩЕВОДСТВА В РОССИИ

В статье проанализировано современное состояние овощеводства в Российской Федерации. Проведена сравнительная оценка процесса производства овощей в сельскохозяйственных организациях, крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйствах, показан вклад этих организаций в структуре валового сбора овощей по годам и регионам; отражено состояние отрасли овощеводства, представлена динамика изменения посевных площадей, валового сбора и урожайности основных овощных культур в Ростовской области. Несмотря на сокращение посевных площадей на 3 тыс. га, в области было получено около 675 тыс. т овощей, что превысило показатели преды-

дущего года на 40 тыс. т. Таким образом, при некотором уменьшении возделываемых площадей в производстве овощных культур наблюдается общая тенденция к росту, в основном за счет увеличения урожайности и валовых сборов продукции, что обусловлено использованием новых сортов и гибридов и применением современных технологий возделывания.

Ключевые слова: овощеводство, урожайность, валовый сбор, овощные культуры, посевная площадь, импортозамещение.

В современном мире овощеводство – одна из самых динамично развивающихся отраслей сельского хозяйства. Мировое производство овощей растет и достигает 1 млрд т [1]. В основных принципах государственной политики многих стран по обеспечению здорового питания населения ведущее место занимает поддержка развития овощеводства, продукция которого является мощнейшим регулятором здоровья человека.

В XXI веке изменились агрономические парадигмы овощеводства: вместо валового сбора, величины урожая все большее значение в мире придают качеству продукции, ее целебным свойствам, влиянию на здоровье человека и, соответственно, качеству его жизни. За рубежом критерии успешного овощеводства – экологическая безопасность и оптимальный биохимический состав продукции, например, высокое содержание йода, селена и так далее.

В 2012 г. Россия вступила в ВТО, практически полностью открыв свой внутренний рынок для иностранных сельхозпроизводителей. Составить им конкуренцию достаточно сложно, потому что дотаций сельское хозяйство в России получает в 7 раз меньше, чем в Европе, в 9 раз меньше, чем в США, в 13 раз меньше, чем в Японии [1].

В настоящее время в России основной объем производства овощей сосредоточен в личных подсобных хозяйствах, которые дают до 75 % этой продукции. Такое перераспределение производства имеет как положительные, так и отрицательные моменты: оно стало низкорентабельным, основная масса продукции используется для внутреннего потребления, население потребляет овощи крайне неравномерно в течение года и в зависимости от региона. По данным органов управления АПК субъектов, производство овощных культур в 2013 г. во всех категориях хозяйств Российской Федерации составило 14,689 млн т, или 100,3 % от уровня 2012 г. (14,620 млн т) [2]. По данным учета Росстата [3], в 2013 г. во всех категориях хозяйств Российской Федерации посевная площадь овощных культур составила 671,3 тыс. га. Из них 12,2 % приходилось на долю сельскохозяйственных организаций, 12,8 % – КФХ и 75 % – личных подсобных хозяйств. В 2014 г. посевная площадь под овощными культурами открытого грунта составила 676,8 тыс. га, или 101,7 % от уровня минувшего года. Динамика площади под овощными культурами в Российской Федерации по категориям хозяйств (2008–2014 гг., тыс. га) приведена на рисунке 1.

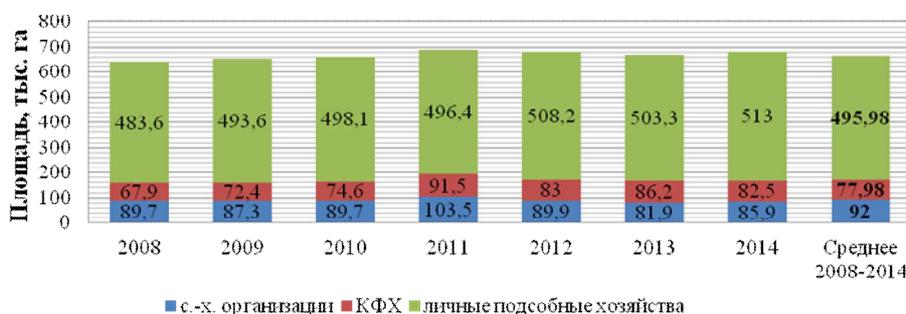


Рисунок 1 – Динамика площади под овощными культурами в Российской Федерации по категориям хозяйств (2008–2014 гг., тыс. га)

Удельный вес валового сбора овощных культур по федеральным округам в 2013 г. составил: в Приволжском – 21,9 %, Южном – 20,7 %, Центральном – 19,9 %, Северо-

Кавказском – 14,3 %, Сибирском – 10,9 %, Уральском – 5,6 %, Северо-Западном – 4,0 %, Дальневосточном – 2,7 %. Лидерами по производству овощей в хозяйствах всех категорий в 2013 г. являются: Республика Дагестан – 1,100 млн т, Астраханская область – 0,831 млн т, Волгоградская область – 0,790 млн т, Краснодарский край – 0,716 млн т и Ростовская область – 0,675 млн т. Средняя урожайность овощных культур открытого грунта с убранной площади в целом по Российской Федерации во всех категориях хозяйств в 2013 г. составила 21,39 т/га, или 101,4 % от уровня 2012 г. (21,09 т/га). В числе лучших по урожайности овощей: Астраханская область – 37,79 т/га, Ленинградская область – 31,28 т/га, Нижегородская область – 29,87 т/га, Волгоградская область – 29,64 т/га, Московская область – 28,19 т/га. При этом урожайность овощных культур в крестьянских (фермерских) хозяйствах выше, чем в других категориях хозяйств и составляет 26,02 т/га по сравнению с 26,01 т/га в 2012 г.; в сельскохозяйственных организациях – 23,42 т/га, что на уровне 2012 г., в хозяйствах населения – 20,35 т/га (в 2012 г. – 19,97 т/га) [2]. Динамика средней урожайности овощей открытого грунта по категориям хозяйств приведена на рисунке 2.

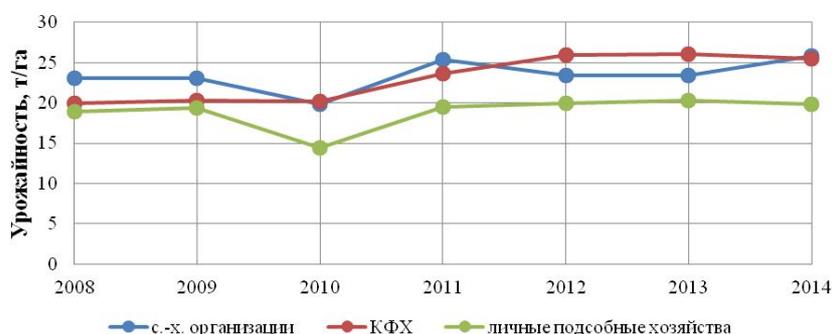


Рисунок 2 – Динамика средней урожайности овощей открытого грунта по категориям хозяйств, 2008–2013 гг.

На юге России овощеводство является одной из основных отраслей сельского хозяйства, что объясняется почвенно-климатическими особенностями территории и традициями населения. Наиболее широко возделываются такие овощные культуры, как лук репчатый, томаты, капуста, морковь, столовая свекла, перец, баклажан, огурцы. За последние годы стало развиваться производство новых культур – цветной и пекинской капусты, брокколи, пастернака, лука Банчинга, сельдерея, укропа, базилика, сахарной кукурузы и ряда других.

В Ростовской области к 2011 г. валовой сбор овощей достиг 635 тыс. т, а урожайность составила 16,6 т/га. Производство овощей на душу населения превысило 147,7 кг. Значительные объемы овощей поставляются на общероссийский рынок, где доля нашей продукции превышает 4 % [4]. Основное производство овощей в области сосредоточено в Центральной орошаемой зоне, где выращивают около 50 % всех овощей. Средняя по зоне урожайность составила 24,1 т/га, что превысило средние показатели по области на 6,0 т/га. Самые высокие урожаи получены в Азовском (35,8 т/га), Семикаракорском (33,1 т/га) и Веселовском (29,5 т/га) районах [5]. Общие посевные площади, валовой сбор и средняя урожайность овощей в 2011–2012 гг. приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Посевные площади, валовой сбор и урожайность овощей в Ростовской области за 2011–2012 гг.

Площадь, тыс. га	Валовой сбор, тыс. т	Урожайность, т/га
	2011 г.	
40,2	635,1	16,6
	2012 г.	
37,2	674,9	18,2

В 2012 г. в Ростовской области было произведено около 675 тыс. т овощей [6], что, несмотря на снижение посевных площадей на 3 тыс. га, превысило уровень предыдущего года на 40 тыс. т [4]. Изменение посевных площадей овощей в Ростовской области по культурам за период с 2011 по 2012 г. представлено на рисунке 3.

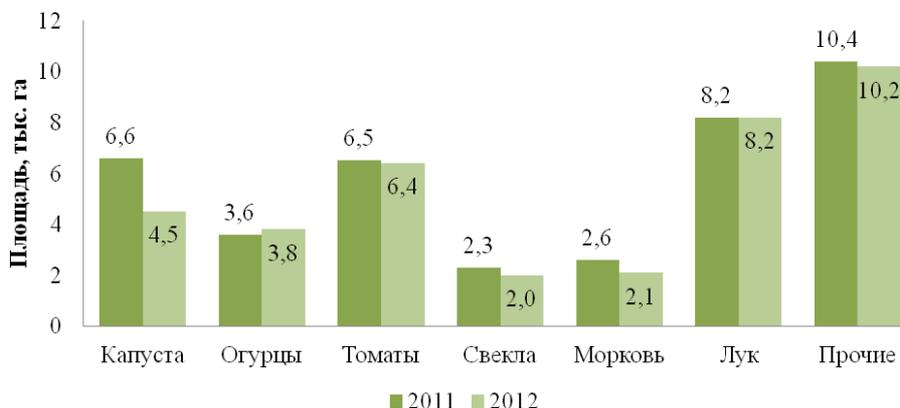


Рисунок 3 – Изменение посевных площадей овощей в Ростовской области по культурам за 2011–2012 гг.

Представленные данные показывают, что в 2012 г. площади, занимаемые овощными культурами, сократились по сравнению с предыдущим годом. Самые большие площади овощных культур в Ростовской области приходились на лук, томаты и капусту.

Несмотря на некоторое сокращение посевных площадей, количество произведенных овощных культур увеличилось, что показано на рисунках 4 и 5.

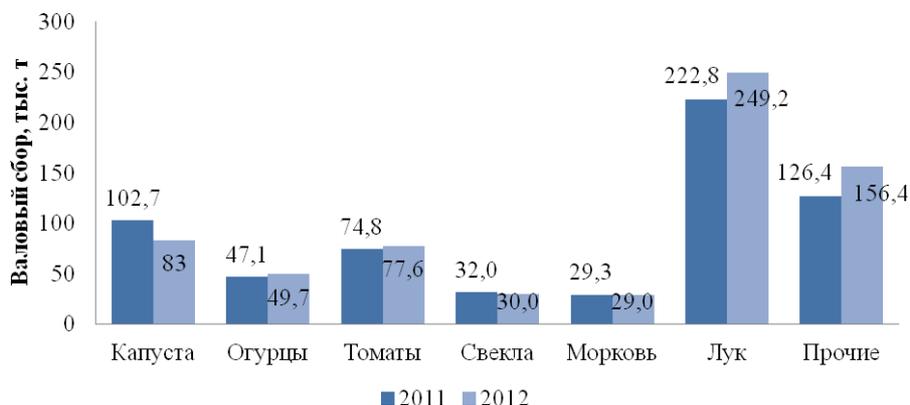


Рисунок 4 – Изменение валового сбора овощей в Ростовской области за 2011–2012 гг.

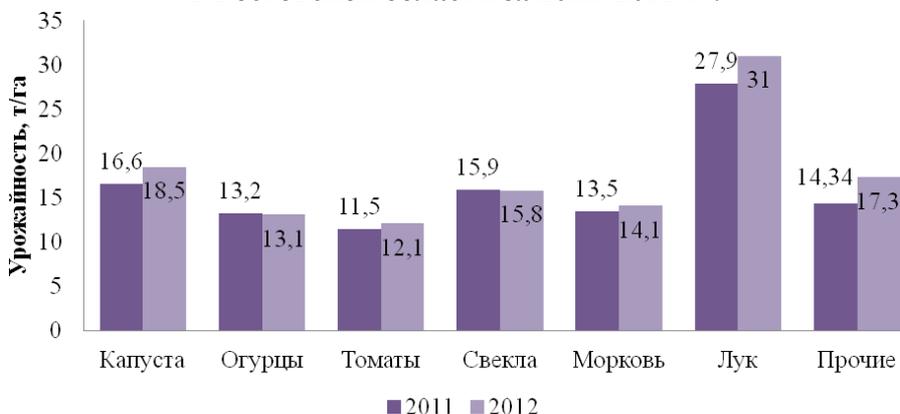


Рисунок 5 – Изменение урожайности овощей в Ростовской области за 2011–2012 гг.

Как видно на рисунках 4 и 5, производство овощных культур имеет заметную тенденцию к росту за счет увеличения урожайности и валовых сборов продукции. Наибольшая величина валового сбора характерна для лука, капусты и томатов, а самая высокая урожайность – для лука, капусты и свеклы. Повышение урожайности овощных культур произошло за счет использования новых сортов и гибридов и применения современных технологий.

Вместе с тем потенциал агропромышленного комплекса реализован далеко не полностью, а состояние продовольственной безопасности вызывает серьезные опасения [7]. Сохраняется высокая зависимость страны от импорта отдельных видов пищевых продуктов. Прирост их импорта существенно опережает по темпам прирост производства валовой продукции сельского хозяйства.

Крупные овощеводческие хозяйства и фермеры внедряют зарубежные технологии и покупают зарубежную технику, обеспечивающую надежность и высокую производительность при снижении энергозатрат. Но вся эта техника требует очень больших валютных средств на приобретение, что в современных условиях недоступно большинству овощеводческих хозяйств. Поэтому необходимы разработка и внедрение новых технологий, сортов и гибридов овощных культур, сельскохозяйственной техники для возделывания, уборки, хранения и доработки, а это требует больших инвестиций и поддержки со стороны государства. В связи с этим было разработано Постановление от 25 сентября 2013 г. № 592 «Об утверждении государственной программы Ростовской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» [6], включающее в себя подпрограмму «Развитие овощеводства открытого и защищенного грунта и семенного картофелеводства», которая предусматривает два основных мероприятия: поддержку развития выращивания сельскохозяйственных культур и поддержку создания и модернизации сельскохозяйственных объектов. Объем финансирования подпрограммы составляет 96481,0 тыс. руб. Целью подпрограммы является обеспечение устойчивого производства семенного картофеля, овощей открытого и защищенного грунта в сельскохозяйственных организациях, крестьянских (фермерских) хозяйствах, включая индивидуальных предпринимателей; повышение конкурентоспособности производимых картофеля и овощей на внутреннем и внешнем рынках, обеспечение импортозамещения овощей защищенного грунта.

Список использованных источников

1 Литвинов, С. С. Овощеводство России и его научное обеспечение / С. С. Литвинов // Картофель и овощи. – 2013. – № 10. – С. 2–5.

2 Чекмарев, П. А. Современное состояние производства овощей в Российской Федерации / П. А. Чекмарев, М. И. Мамедов // Овощи России / ВНИИССОК. – 2015. – № 1. – С. 3–7.

3 Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gks.ru>, 2016.

4 Берников, Н. И. Современное состояние и пути решения проблем развития овощного комплекса Ростовской области / Н. И. Берников, В. В. Огнев // Инновационные пути развития АПК: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 6–8 февраля 2013 г. – пос. Персиановский: Изд-во ДонГАУ, 2013. – Т. 2. – С. 99–101.

5 Василенко, В. Н. Овощеводство Ростовской области: проблемы и решения / В. Н. Василенко // Картофель и овощи. – 2013. – № 7. – С. 2–4.

6 Об утверждении государственной программы Ростовской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: постановление от 25 сентября 2013 г. № 592: по состоянию на 24 марта 2016 г. // Гарант Эксперт 2016 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2016.

7 Чекмарев, П. А. О проблемах развития овощеводства в Российской Федерации [Электронный ресурс] / П. А. Чекмарев. – Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/FS/Soderjanie/FS-22/IV/Chekmarev.pdf>.

УДК 631.6

С. Б. Гуломов, М. Саримсаков, Ф. А. Бараев, А. Н. Убайдиллаев, Н. Н. Гадаев
Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

О МОДУЛЬНОЙ АВТОНОМНОЙ КАПЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОРОШЕНИЯ

Целью исследований является выяснение преимуществ и недостатков существующих систем капельного орошения и разработка новых подходов к их конструированию, позволяющих обеспечить автономное использование данных систем при отсутствии линий электропередач и открытых водных источников.

Ключевые слова: капельное орошение, модуль, проектирование, урожайность, эксплуатация.

Преимущество систем капельного орошения состоит в возможности подавать поливную воду нормами от 2 до 8 л/ч не на всю площадь орошаемого участка, а только к корням растений. Таким образом, от 70 до 50 % поля в междурядьях не орошается, и это обеспечивает экономию до 50 % воды и повышение урожайности на 20–40 %. Поэтому капельное орошение можно считать элементом прогрессивной технологии земледелия, позволяющей производить обработку почвы как в предпосевной, так и в вегетационный периоды, в том числе обязательное глубокое рыхление и максимальное уничтожение сорняков. Эффективность вследствие применения системы капельного орошения заключается в следующем: удобрения осенью вносятся в гораздо меньшем количестве; отсутствует необходимость в нарезке поливных борозд на пропашных культурах, достаточно двух-трех культиваций, после которых сельскохозяйственная техника практически не работает на полях; возможность применения сеялок точного высева, исключающих прореживание; использование с поливной водой гербицидов, т. е. одновременно с частичным увлажнением почвы резко замедляется рост сорняков.

Например, чеканка хлопчатника может быть заменена внесением специальных химических веществ, таких как «Пикс» и др., а применение растворимых азотных, фосфорных и калийных удобрений по определенной методике и поливному режиму позволяет регулировать рост, подготовку растений к сбору урожая и процесс образования плодов. Постоянное увлажнение соленой оросительной водой дает возможность использовать песчаные почвы, склоны и другие неудобья для нужд сельского хозяйства. Так, при применении капельного орошения средняя урожайность хлопка – 50–55 ц/га при водопотреблении 3,5–4,5 тыс. м³/га, а рекордная урожайность, полученная на опытных участках площадью несколько десятков гектаров, составила 70–80 ц/га. Урожайность кукурузы (сладкой): зеленой массы – 120–130 т/га, початков – 25–32 т/га; томатов (для промышленной переработки) – 130–140 т/га в открытом грунте и до 500 т/га в теплицах; винограда – 450 ц/га [1–4].

Рассмотрим преимущества капельного орошения. Корневая система при капельном орошении развивается лучше, чем при любом другом способе полива, вблизи зоны увлажнения корни гуще, т. е. растение не тратит энергию на рост корней вглубь, стремясь к воде, а развивается в условиях ее постоянного наличия в верхнем плодородном слое и на оптимальной для каждого растения глубине. При переходе от других типов орошения к капельному процесс адаптации растения происходит достаточно быстро и безболезненно. Питание растения при капельном орошении наиболее эффективно. Стремительное и интенсивное поглощение питательных веществ становится возможным вследствие большой развитости корневой системы на увлажненном участке почвы.

Кроме того, отсутствие избыточного увлажнения, чередование сухих и влажных участков почвы, циркуляция воды по капиллярному принципу позволяют макропорам оставаться почти сухими, воздух из них вытесняется водой не полностью [1].

Агротехнические операции при капельном орошении могут проводиться постоянно, так как междурядья остаются всегда сухими, и сельскохозяйственная техника может беспрепятственно передвигаться по всему полю. Особенно это благоприятно сказывается на качестве почвы, которая не подвергается уплотнению. Борьба с сорняками и болезнями упрощается, так как химические вещества в большинстве своем подаются вместе с оросительной водой. Температура почвы при капельном орошении выше, чем при поверхностном поливе, что способствует получению раннего урожая растений.

Внесение удобрений, микроэлементов, гербицидов и других химических веществ является неотъемлемой частью капельного орошения. Прямое поступление удобрений непосредственно в тот участок почвы, где развивается корневая система, причем в строго рассчитанных нормах и в нужное время, увеличивает урожайность и обеспечивает более экономное (до 50 %) и эффективное их использование. Регулируя норму и периодичность подачи удобрений, можно поддерживать и контролировать их поступление к каждому растению в зависимости от изменяющихся потребностей сельскохозяйственных культур на всем протяжении их роста. Таким образом, капельное орошение – это не только способ увлажнения, но и способ внесения удобрений. Особенно это эффективно при внесении быстро мигрирующих удобрений, например, азота как основного удобрения в сельском хозяйстве. Многократная подкормка небольшими дозами способствует значительному увеличению урожайности [3].

Экологические преимущества заключаются в том, что при капельном орошении нет необходимости выполнять планировку поля под оросительную систему, т. е. снимать и удалять плодородный слой, закрепленный растительностью, часто оголяя неплодородные пылящие грунты. В горных и предгорных условиях предотвращается эрозия (размыв) почвы из-за больших естественных уклонов. Малые поливные нормы позволяют не только сохранить остродефицитные водные запасы, но и не допустить возможный вынос вредных веществ с дренажными стоками в поверхностные или подземные источники.

Уменьшается вероятность распространения болезней и сорняков, переносимых при обычном поливе поверхностной оросительной водой, а также развития неблагоприятных почвенных процессов, возникающих в анаэробных (при отсутствии воздуха) условиях в почве. Трудовые затраты на эксплуатацию систем капельного орошения значительно ниже, чем при поливе по бороздам: с помощью автоматизации управления системой капельного орошения три-четыре оператора могут управлять поливом в течение сезона на площади 150–200 га. Намного снижается потребность в использовании сельскохозяйственных машин за счет сокращения обработок почвы и внесения химикатов и удобрений с оросительной водой.

Капельное орошение имеет также и большое социальное значение. Многие небольшие поселки, кишлаки, в которых проживает, в том числе и нетрудоспособное население, плохо обеспечены водными ресурсами (зачастую имеется только один источник воды), которые могут оросить совсем незначительную площадь при поливе по бороздам. Использование капельного орошения может в два-три раза увеличить орошаемую площадь, а значит занятость и заработок людей, которые останутся дома и не поедут в другие места искать средства к существованию. Ведь наш народ умеет получать от земли все, что нужно для жизни. Это может послужить толчком к развитию фермерства.

Где лучше применять капельное орошение? В виду того, что капельное орошение дороже обычных способов полива, использовать его необходимо с максимальной отдачей, и только там, где без него не обойтись. Это, прежде всего, склоновые земли, на которых можно применять естественный напор; песчаные почвы; земли с уже существующим машинным орошением; земли с недостатком оросительной воды. Следует

учитывать также и стоимость выращиваемых сельскохозяйственных культур. Проектными институтами была разработана схема размещения капельного орошения в Республике Узбекистан. Так, равнинные и освоенные земли с достаточной обеспеченностью оросительной водой нужно переводить на капельное орошение в последнюю очередь. Другими словами, правильно выбрать земли – это уже половина успеха. К сожалению, у нас имеется негативный опыт размещения капельного орошения там, где в нем не было жизненной необходимости.

Из чего состоят конструкции системы капельного орошения? Для всех видов сельскохозяйственных культур система капельного орошения включает:

- насосную станцию, оснащенную обычными водяными насосами с подачей от 20 до 350 м³/ч и напором 25 атм, на склоновых землях может использоваться естественный напор от вышерасположенного источника;

- узел очистки воды с гидроподкормщиком, который включает фильтры: песчано-гравийные, сетчатые или гидроциклоны. Комбинация этих видов фильтров позволяет очищать оросительную воду из любых, даже очень загрязненных источников до требуемого качества. Фильтры можно оснащать автоматизированной системой промывки и собирать в фильтровальные станции производительностью до 500–600 м³/ч. Гидроподкормщик – устройство, встраиваемое в блок с фильтровальной станцией, с помощью которого осуществляется строго дозированная и своевременная подача минеральных удобрений через систему капельного орошения непосредственно к корням каждого растения;

- магистральные и распределительные трубопроводы – это система труб различного диаметра (от 40 до 300 мм), подающая воду от насоса к поливным трубопроводам;

- поливные трубопроводы – полиэтиленовые трубки, обычно от 12 до 35 мм, укладываемые вдоль рядов растений параллельно друг другу;

- капельницы – устройства для точечного выпуска воды из поливных трубопроводов, к которым они крепятся, чаще используются капельницы с расходом 2, 4, 6, 8 л/ч;

- водораспределительная и регулирующая аппаратура – это вентили, задвижки, клапаны с ручным или автоматическим приводом для регулирования очередности и продолжительности подачи воды на поливной участок.

Какова стоимость капельных систем? Следует отметить, что все элементы и конструкции уже изготавливаются на нашем предприятии и предприятиях Минсельводхоза, за исключением поливных трубок для пропашных культур, однако и эта проблема вполне решаемая.

Основной материал для систем капельного орошения – полиэтилен, и потребность в нем оценивается в 0,3–0,4 т/га для садов и виноградников и 0,5–0,6 т/га для пропашных культур, доля этого компонента составляет 70–80 % от стоимости всей конструкции капельного орошения. Из этих расчетов определяется стоимость оборудования капельного орошения (на 1 га): для садов – 0,7–1,0 тыс. долл., для виноградников – 1,2–1,5 тыс. долл. и для пропашных культур – 2,0–2,4 тыс. долл.

Способность капельной оросительной системы работать долгое время без ремонта зависит от надежности каждого узла. Все детали и элементы должны быть изготовлены на высоком техническом уровне и испытаны в заводских условиях. Так, СП «Санипласт» в процессе строительства и первые месяцы эксплуатации обучает местных специалистов правилам работы с капельным орошением и в дальнейшем оказывают содействие в обслуживании систем. Все необходимые для данной системы детали изготавливаются СП «Санипласт» и поставляются хозяйствам по заявкам в течение всего срока эксплуатации.

Имеется ли у нас опыт использования капельного орошения? Системы капельного орошения в Узбекистане начали создаваться в конце 70-х гг. прошлого столетия. Виноградники в хозяйстве им. В. Пославского в Заамине были одними из первых, где применялось капельное орошение, 250 га которого в течение многих лет позволяли выращивать высокие урожаи на крутых склонах. В Среднеазиатском научно-исследовательском

института ирригации и Самаркандском филиале научно-исследовательского института им. Р. Шредера проводили агротехнические и гидротехнические исследования, вследствие чего появились научно обоснованные рекомендации и нормативы по агротехнике и оросительным режимам. Капельное орошение внедрялось в хозяйствах практически всех областей Республики (площадью более 5,0 тыс. га), и максимальный эффект был получен именно в тех условиях, о которых говорилось выше – неудобья и дефицит воды. Но спад сельскохозяйственного производства негативно отразился и на капельном орошении, поскольку оно является технически и технологически сложной оросительной сетью, требующей достаточно высоких эксплуатационных затрат. В последние два-три года сельское хозяйство вновь обратило внимание на капельное орошение. По инициативе Президента Республики Узбекистан было построено три участка капельного орошения по 100 га каждый для выращивания хлопчатника. Несмотря на то, что в первые годы их использования не произошло значительного прироста урожайности по объективным и субъективным причинам, местные специалисты приобрели опыт эксплуатации сложной системы капельного орошения, а значит и получение высокого результата в ближайшем будущем гарантировано. Следует подчеркнуть, что капельное орошение это не только поливная система, но и новая система земледелия, в которой каждый элемент одинаково важен для конечного результата.

Наряду с капельным орошением существуют системы дождевания стоимостью на 20–40 % ниже стоимости капельного орошения, позволяющие орошать пастбища, травы, пшеницу, овощи и другие культуры. В хозяйствах некоторых областей планируют применять систему дождевания с целью орошения пшеницы (в Самаркандском вилояте) и пастбищ (в Сурхандарьинской области). Современная технология земледелия в ближайшем будущем выйдет на новый уровень.

Производственный опыт позволяет выдвинуть идею о предпочтительности развития модульных автономных капельных систем орошения. Эффективности модульных автономных капельных систем (МАКС) в известных научных публикациях никто не уделял особого внимания, даже специалисты известных лидирующих в мире стран и фирм по развитию капельных систем орошения. Что понимается под МАКС? Это – орошаемый участок, оборудованный капельной системой поливов. Подача воды обеспечивается глубинным насосом из вертикальной скважины. Для работы насоса используют нетрадиционные источники энергии: солнечную, ветровую и другие. Все циклы работ для получения продукции ограничиваются пределами орошаемого участка.

МАКС был спроектирован и введен в эксплуатацию учеными Ташкентского института ирригации и мелиорации (ТИИМ) в Средне-Чирчикском районе на площади 54,5 га садов и виноградников Министерства высшего и среднего специального образования и на 1 га в учебно-научном центре (УНЦ) ТИИМ (рисунки 1, 2).



Рисунок 1 – МАКС в Средне-Чирчикском районе

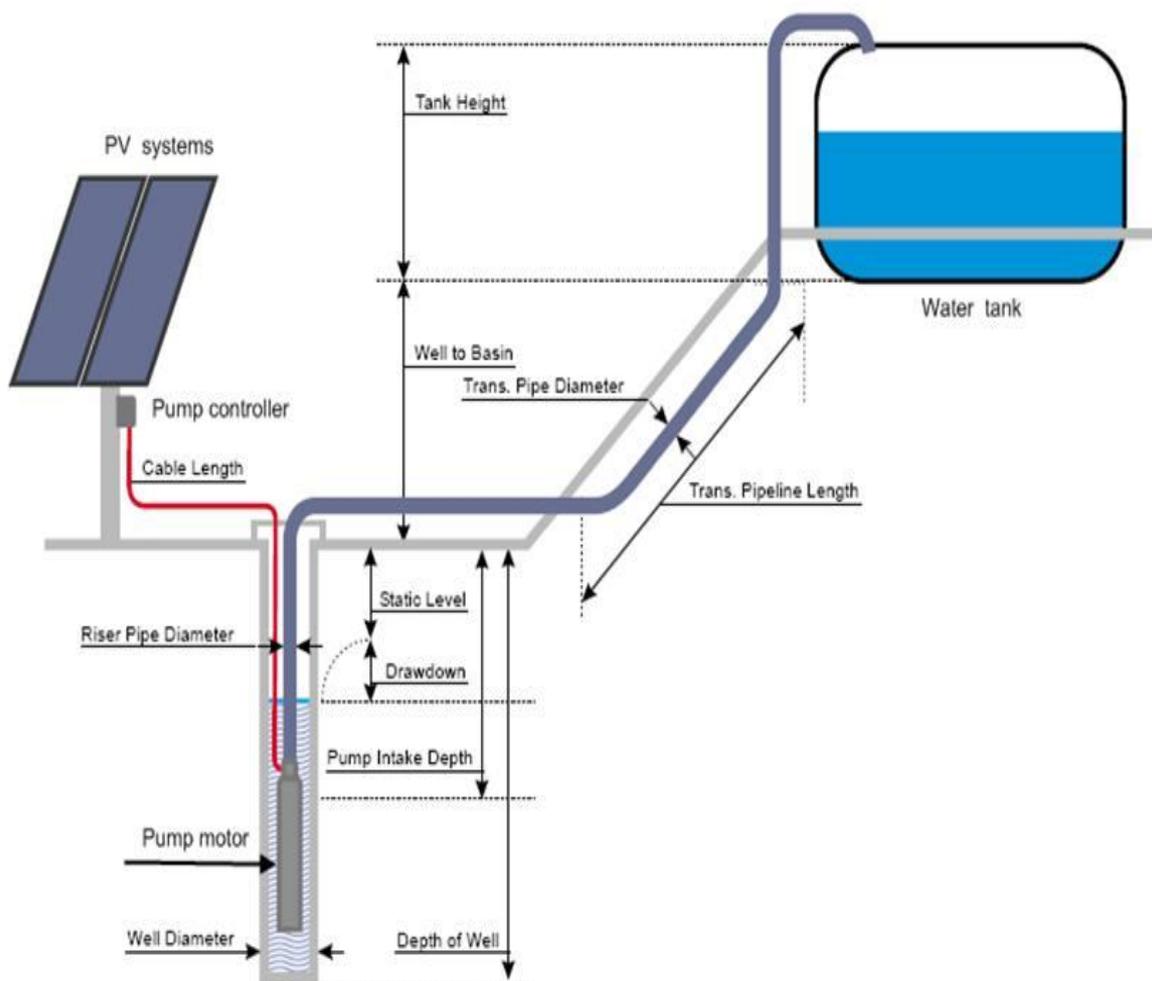


Рисунок 2 – МАКС в УНЦ ТИИМ

В заключение следует подчеркнуть, что в природно-климатических условиях Центральной Азии и современных условиях рыночных отношений Узбекистана, когда вода обретает реальную цену, не существует альтернативы таким водосберегающим технологиям, как капельное орошение и дождевание. И выиграет тот, кто занимается проблематикой эффективных методов орошения с перспективой на будущее. Ввиду того, что капельное орошение медленно, но верно устаревает, не стоит останавливаться на достигнутом, а следует искать более совершенные способы доставки влаги растениям.

Список использованных источников

1 Yaron, B. Patterns of salt distribution under trickle irrigation Ecological Studies: Physical aspect of soil water and salt in ecosystems / B. Yaron, J. Shalhevet и D. Shimshi. – 1972. – V. 4. – P. 389–394.

2 Hanson, B. Drip irrigation increases tomato yields in salt-affected soil of San Joaquin Valley [Electronic resource] / B. Hanson, D. May. – Mode of access: <http://ucce.ucdavis.edu/files/repositoryfiles/ca5704p132-70223.pdf>.

3 Rauta, C. Lupta pentru folosirea judicioasa a apei-irrigatia «picatura-cu-pucatura» Ferme si intreprinderi / C. Rauta, J. Sandu. – 1972. – B. 24(2). – 16–18.

4 Ayers, R. S. Water Quality for Agriculture U. N. Food and Agric. Org. Irrigation and Drainage Paper 29 / R. S. Ayers, D. W. Westcot. – 1976.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

«Повышение надежности противofильтрационных облицовок каналов и безопасности низконапорных гидротехнических сооружений»

УДК 627.8.034.9:624.131.63

Ю. М. Косиченко

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

ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ НИЗКОНАПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ

Целью статьи является обзор исследований и подведение итога научно-исследовательских работ, выполненных за последние 10 лет в отделах гидротехнических сооружений и гидравлики и безопасности ГТС ФГБНУ «РосНИИПМ». Рассмотрены методы оценки риска аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов в насыпи. По результатам расчета риска разрушения дамб на Донском и Пролетарском магистральных каналах установлено, что его показатели не превышают нормативного значения. В качестве рекомендуемых мероприятий по повышению надежности потенциально опасных участков магистральных каналов предложены противofильтрационная диафрагма и способ заделки очага фofильтрационных деформаций в дамбе канала. Для оценки эксплуатационной надежности магистральных и распределительных каналов разработаны вероятностные модели, основанные на теории вероятности и математической статистике, учитывающие последовательное, параллельное и комбинированное соединение основных элементов. Для пропуска паводковых расходов через грунтовые низконапорные плотины III–IV класса созданы новые конструкции резервных водосбросов, в которых используется защитное покрытие водосливного тракта из полимерной геомембраны, а также предложена методика их гидравлического расчета и дана расчетная оценка их надежности по методу Байеса. Для повышения КПД каналов разработаны высоконадежные конструкции противofильтрационных облицовок нового поколения из геосинтетических материалов (геомембран, геокомполитов, георешеток и геотекстилей). Представлены теоретические результаты решения по оценке их водопроницаемости и надежности в сравнении с традиционными типами облицовок.

Ключевые слова: риск аварийных ситуаций, потенциально опасные участки каналов, эксплуатационная надежность, резервные водосбросы, размываемая вставка, водосливной тракт, защитное покрытие, высоконадежные конструкции, противofильтрационные облицовки, геосинтетические материалы, водопроницаемость облицовок.

Основными направлениями деятельности отдела гидротехнических сооружений и гидравлики (ГТСиГ) и отдела безопасности ГТС ФГБНУ «РосНИИПМ» за последние 10 лет являлось обеспечение надежности и безопасности низконапорных гидротехнических сооружений и разработка высоконадежных конструкций противofильтрационных облицовок каналов. В соответствии с этими направлениями было проведено девять НИР по госбюджетной тематике Минсельхоза РФ и четыре работы по контрактам. Кроме того, с участием сотрудников отделов ГТСиГ и безопасности ГТС были разрабо-

таны декларации безопасности ГТС более чем на 30 объектах в Саратовской, Ростовской, Рязанской областях и других субъектах РФ.

Далее представлен обзор имеющихся в различных изданиях публикаций о проведенных исследованиях.

В научных работах [1, 2] рассматриваются методы оценки риска аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов в насыпи, апробированные на Донском магистральном канале (ДМК) и Пролетарском магистральном канале (ПМК).

Риск разрушения дамбы канала вследствие фильтрационных процессов предложено определять по формулам:

- для тела дамбы:

$$\lambda_{\tau} = \frac{\gamma_n^{\tau}}{K_{H_{\tau}}^{\text{гар}}} \cdot \lambda_H;$$

- для основания дамбы:

$$\lambda_o = \frac{\gamma_n^o}{K_{H_o}^{\text{гар}}} \cdot \lambda_H,$$

где γ_n^{τ} , γ_n^o – коэффициент надежности тела и основания дамбы;

$K_{H_{\tau}}^{\text{гар}} = \frac{J_{cr,m}^{\tau} - m_{J_{cr,m}^{\tau}}}{J_{est,m}^{\tau} + m_{J_{est,m}^{\tau}}}$, $K_{H_o}^{\text{гар}} = \frac{J_{cr,m}^o - m_{J_{cr,m}^o}}{J_{est,m}^o + m_{J_{est,m}^o}}$ – гарантированный коэффициент надежности

соответственно тела и основания дамбы;

$J_{cr,m}^{\tau}$, $J_{cr,m}^o$ – критический средний градиент для грунта тела и основания дамбы;

$m_{J_{cr,m}^{\tau}}$, $m_{J_{cr,m}^o}$ – суммарное максимальное отклонение критического среднего градиента напора тела и основания дамбы, $m_{J_{cr,m}^{\tau}} = \sigma_{J_{cr,m}^{\tau}} \cdot t_{\alpha}$, $m_{J_{cr,m}^o} = \sigma_{J_{cr,m}^o} \cdot t_{\alpha}$;

$\sigma_{J_{cr,m}^{\tau}}$, $\sigma_{J_{cr,m}^o}$ – среднеквадратические отклонения критического градиента тела и основания;

t_{α} – коэффициент Стьюдента;

$J_{est,m}^{\tau}$, $J_{est,m}^o$ – действующие средние градиенты грунта тела и основания дамбы;

$m_{J_{est,m}^{\tau}}$, $m_{J_{est,m}^o}$ – суммарное максимальное отклонение действующего среднего градиента тела и основания дамбы, $m_{J_{est,m}^{\tau}} = \sigma_{J_{est,m}^{\tau}} \cdot t_{\alpha}$, $m_{J_{est,m}^o} = \sigma_{J_{est,m}^o} \cdot t_{\alpha}$;

$\sigma_{J_{est,m}^{\tau}}$, $\sigma_{J_{est,m}^o}$ – среднеквадратические отклонения действующего градиента тела и основания;

λ_H – нормативный риск аварий.

Общий риск разрушения дамбы канала составит сумму рисков разрушения тела и основания дамбы канала:

$$\lambda = \lambda_{\tau} + \lambda_o,$$

где λ_{τ} , λ_o – риск разрушения соответственно тела и основания дамбы канала;

Результаты расчетов риска разрушения дамб ДМК и ПМК в насыпи для всех участков показали [2], что их максимальное значение составляет $\lambda_{\max} = (1,9-2,0) \cdot 10^{-3}$ 1/год, что не превышает нормативного значения ($\lambda_H = 5 \cdot 10^{-4}$ 1/год). Однако, не выполняется условие местной фильтрационной прочности грунта при выходе фильтрационного потока на приканальную территорию, что свидетельствует о возможности локальных разрушений грунта в виде суффозии или выпора.

В качестве рекомендуемых мероприятий по повышению надежности и безопасности потенциально опасных участков магистральных каналов предложена противофильтрационная диафрагма в дамбах канала (патент № 2539147) [3], выполненная в виде отдельных плит из отходов полиолефинов, и способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбе канала с использованием габионно-геомембранной конструкции (патент № 2562487) [4].

Для оценки эксплуатационной надежности магистральных и распределительных каналов оросительных систем разработаны вероятностные модели, основанные на применении методов теории надежности, теории вероятности и математической статистики [5, 6].

Основные структурные схемы соединения элементов канала могут быть представлены с последовательным, параллельным и комбинированным (последовательно-параллельным) соединением. Так, для магистральных каналов с транзитными участками характерна схема с последовательным соединением. Тогда вероятность безопасной работы канала в течение времени t будет равна произведению вероятностей безотказной работы его элементов:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы всего канала;

$P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ – вероятность безопасной работы элементов канала (отдельных участков, гидротехнических сооружений).

Для системы распределительных каналов, ответвляющихся от магистрального канала, вероятность безотказной работы, состоящей из неравнонадежных элементов, рассчитывается по формуле:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)],$$

где n – количество распределительных каналов и гидротехнических сооружений на них;

$P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента в течение времени t .

Для системы каналов и сооружений, включающей магистральный канал, ряд распределительных каналов и подпорно-регулирующих сооружений, вероятность безотказной работы определяется как для комбинированного соединения (последовательно-параллельного) по зависимости:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n [1 - P_j(t)] \right\},$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы элементов канала, расположенных последовательно;

$P_j(t)$ – вероятность безотказной работы элементов канала, расположенных параллельно.

Были сформулированы условия эксплуатационной надежности каналов [7], включающие гидравлические и эксплуатационные критерии их нормального функционирования по пропускной способности, допускаемым скоростям, коэффициенту полезного действия, показателю их технического состояния.

Важным вопросом безопасности низконапорных гидротехнических сооружений является обеспечение надежности работы водосбросных сооружений, входящих в состав речных гидроузлов. По данным мировой статистики аварий грунтовых гидротехнических сооружений, до 25 % от общего их количества происходило вследствие недостаточной пропускной способности водосбросных сооружений.

В связи с этим в зарубежном и отечественном гидротехническом строительстве получили применение резервные водосбросы, обеспечивающие пропуск паводка, превышающий расчетный расход [8].

Для пропуска паводковых расходов через грунтовые низконапорные гидротехнические сооружения IV-III класса разработаны конструкции быстровозводимого резервного водосброса (патент № 2498007) [9] и резервный водосброс с размываемой вставкой (патент № 2573328) [10]. В данных конструкциях используется защитное покрытие водосливного тракта из полимерной геомембраны в качестве одного из основных элементов.

Методика гидравлического расчета резервного водосброса с размываемой вставкой основана на применении формулы для водослива с широким порогом [11–13], согласно которой получена расчетная зависимость высоты размываемой вставки с учетом N -го количества секций водосливного тракта трапецеидального сечения:

$$H_{\text{вст.}i} = \left(\frac{Q_{\text{рез.в}}^{\text{общ}}}{m_i (e_i + m_o H'_{\text{вст.}i}) N \sqrt{2g}} \right)^{2/3},$$

где $Q_{\text{рез.в}}^{\text{общ}}$ – расчетный расход, пропускаемый через все секции резервного водосброса;

m_i – коэффициент расхода для водослива с широким порогом i -й секции резервного водосброса;

e_i – ширина по дну i -й секции резервного водосброса;

m_o – коэффициент заложения откосов трапецеидального сечения водосливной части;

$H'_{\text{вст.}i}$ – предварительная высота вставки i -й секции водосброса, равная напору на пороге водосливной части;

N – количество секций водосброса.

Расчет высоты вставки по данной зависимости производится методом последовательных приближений, где предварительно задается ширина каждой секции e_i и количество секций N .

Для количественной оценки надежности работы резервного водосброса с размываемой вставкой используется метод технической диагностики, основанный на методе Байеса [12].

Общий вид формулы Байеса для определения вероятностей диагнозов (состояний) резервного водосброса при проверке двух диагностических признаков K_1 и K_2 имеет вид:

$$P(D_i / K_1 K_2) = \frac{P(D_i) P(K_1 / D_i) P(K_2 / D_i)}{P(D_1) P(K_1 / D_1) P(K_2 / D_1) + P(D_2) P(K_1 / D_2) P(K_2 / D_2) + P(D_3) P(K_1 / D_3) P(K_2 / D_3) + P(D_4) P(K_1 / D_4) P(K_2 / D_4)},$$

где $P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза D_i ;

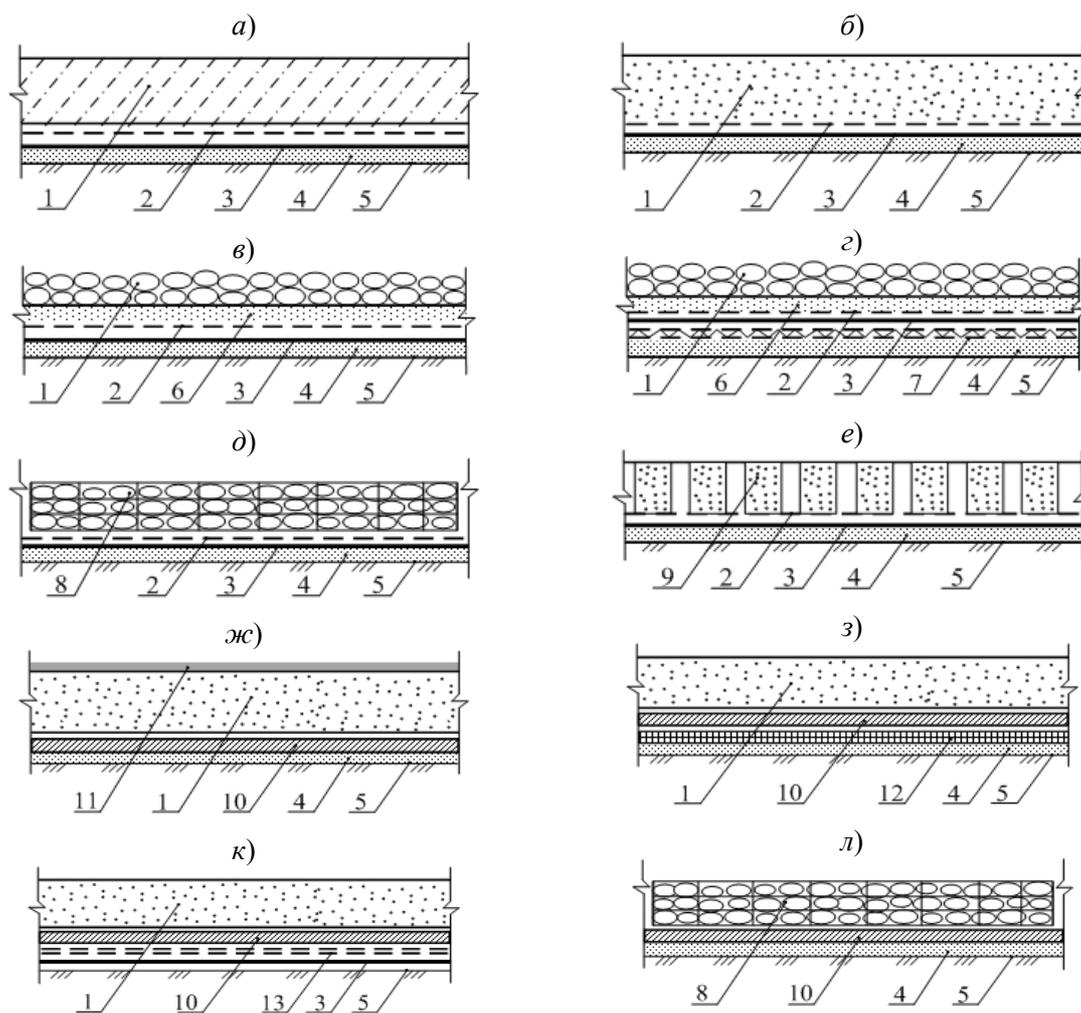
$P(K_i / D_i)$ – условная вероятность появления признака K_i у объектов в состоянии D_i .

Для анализа надежной работы резервного водосброса в качестве возможных рассматриваются четыре основных состояния (диагноза): D_1 – отказ сработки размываемой вставки; D_2 – отказ защитного покрытия водосливного порога; D_3 – другие виды отказов; D_4 – нормальное состояние резервного водосброса. В процессе наблюдений проверяются два признака: K_1 – средняя скорость переливающегося потока через грунтовую вставку превышает размывающую скорость грунта вставки; K_2 – прочность материала геомембраны при разрыве превышает напряжение в местах крепления.

По данным эксплуатационных организаций среднее значение КПД каналов

(магистральных и распределительных) в земляном русле и облицовке составляет 0,817–0,829, что на 7–11 % ниже требований СП 100.13330.2012 «Мелиоративные системы и сооружения» [14].

Учитывая низкое значение КПД и большие потери на фильтрацию из оросительных каналов, сотрудники отдела ГТСиГ ФГБНУ «РосНИИПМ» [15–17] разработали высоконадежные конструкции противофильтрационных облицовок каналов нового поколения с применением геосинтетических материалов (геомембран, геокомпозитов, георешеток и геотекстиля) (рисунок 1), практически полностью исключая потери на фильтрацию и обеспечивающие повышение КПД каналов оросительных систем до 0,97–0,98.



а – с геомембраной и защитным покрытием из бетона; *б* – с геомембраной и защитным покрытием из грунта; *в*, *г* – с геомембраной и защитным покрытием из каменной наброски; *д*, *е* – с геомембраной и защитным покрытием из габионов и георешетки; *ж* – с бентонитовым матом и полимерным закрепителем поверхности; *з* – с бентонитовым матом и армирующим слоем из геосетки; *к* – с бентонитовым матом и дренажным слоем; *л* – с бентонитовым матом и защитным покрытием из габионов; 1 – защитное покрытие; 2 – защитная прокладка из геотекстиля; 3 – противофильтрационный элемент из геомембраны; 4 – подстилающий слой из песка; 5 – уплотненное основание; 6 – защитный слой из песка; 7 – дренажный слой из геокомпозита; 8 – габионы, заполненные камнем; 9 – георешетка, заполненная гравием; 10 – противофильтрационный элемент из бентоматов; 11 – полимерный закрепитель грунта; 12 – геосетка; 13 – дренажный элемент из двух, трех слоев геотекстиля высокой плотности

Рисунок 1 – Конструкции противофильтрационных облицовок каналов и водоемов с использованием геосинтетических материалов

На ряд конструкций облицовок получены патенты на изобретения (№ 2460844, № 2495979) [18, 19].

Разработанные конструкции облицовок гарантируют высокий противofильтрационный эффект (осредненный коэффициент фильтрации облицовки составляет 10^{-8} – 10^{-10} см/с) и имеют значительный срок службы (от 50 до 100 лет). Кроме того, в отличие от других типов облицовок они придают конструкции наименьшую шероховатость поверхности с коэффициентом шероховатости 0,015–0,018, что обеспечивает высокую пропускную способность русел каналов.

Для оценки водопроницаемости облицовок с использованием геомембран было получено представленное в научных публикациях [20, 21] теоретическое решение задачи фильтрации через малое повреждение в виде прокола в геомембране с использованием метода конформных отображений.

Приближенные расчетные формулы фильтрационного расхода через отверстие (прокол) в геомембране при радиусе отверстия $r_o \rightarrow 0$ будут следующими:

$$q_o = \frac{2\pi K_1 r_o (h_o + \delta_o - h_1)}{\ln(4/\lambda_2)},$$

или с учетом преобразования:

$$q_o = \frac{2\pi K_1 r_o (h_o + \delta_o - h_1)}{\ln[4\text{cth}(\pi r_o / 2\delta_o)]},$$

где q_o – фильтрационный расход через отверстие в геомембране;

K_1, K_2 – коэффициент фильтрации защитного покрытия экрана из геомембраны и основания под экраном;

r_o – радиус отверстия в экране;

h_o – глубина воды в канале;

δ_o – толщина защитного покрытия облицовки;

h_1 – пьезометрический напор в отверстии экрана, $h_1 = \frac{\pi^2 \sigma (h_o + \delta_o) - 4H_k \ln(8\delta_o / \pi r_o)}{\pi^2 \sigma + 4 \ln(8\delta_o / \pi r_o)}$;

$\sigma = K_1 / K_2$;

H_k – капиллярный вакуум грунта основания;

$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{\pi r_o}{2R}$;

λ_1, λ_2 – модули эллиптического интеграла;

R – радиус влияния отверстия экрана на движение фильтрационного потока в активной зоне;

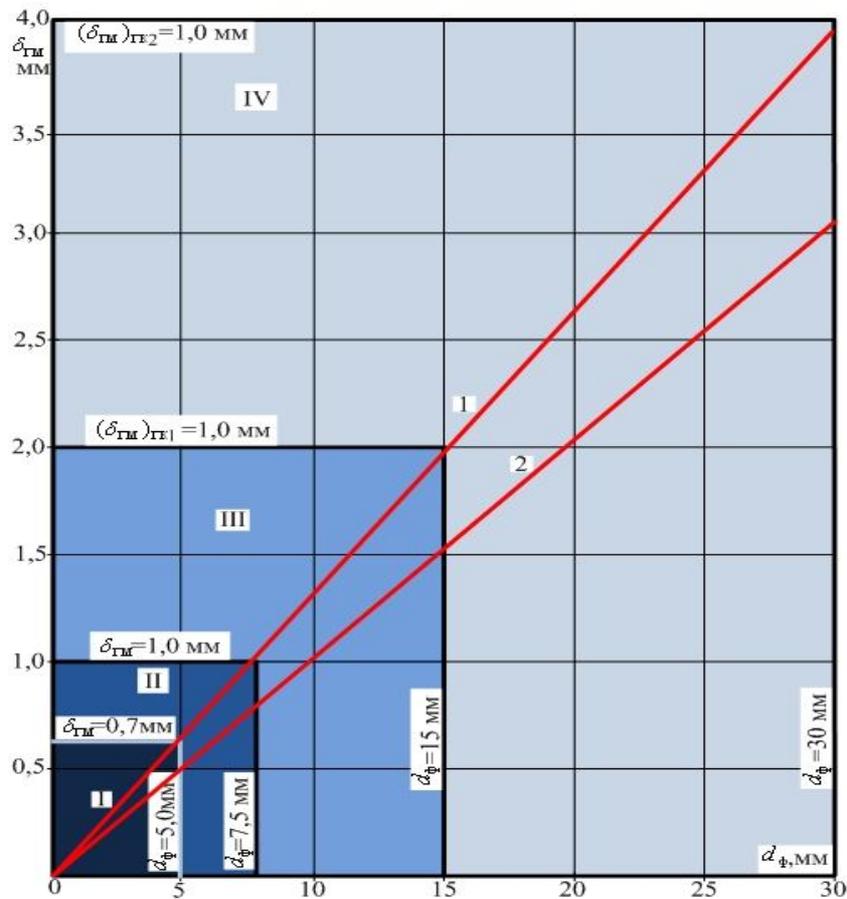
$\frac{K(\lambda_1)}{K(\lambda'_1)} = \frac{R}{\delta_o}$;

$K(\lambda_1), K(\lambda'_1)$ – полные эллиптические интегралы 1-го рода при модуле λ_1 и λ'_1 .

В работах также была приведена [22] расчетная оценка надежности конструкций противofильтрационных экранов из геокомпозитов, представляющих собой геомембрану с одним или двумя слоями защитных прокладок из геотекстиля типа дорнит. Такие экраны из геокомпозитов могут быть отнесены к высоконадежным конструкциям, поскольку они позволяют снизить повреждаемость противofильтрационного элемента в 8–10 раз за счет применения защитных прокладок сверху и снизу геомембраны при использовании геотекстиля дорнит плотностью 900 г/м².

Для выбора рациональных областей применения геокомпозитов построена номограмма (рисунок 2), которая получена по результатам проведенных расчетов, исходя

из условий обеспечения сплошности (неповреждаемости) геомембраны на основе полиэтилена ПЭВП или ПЭНП и условий допускаемого растягивающего напряжения в ней.



I – зона геомембран $\delta_{ГМ} \leq 0,7$ мм; II – зона геомембран $0,7 \leq \delta_{ГМ} \leq 1,0$ мм;
 III – зона геокомпозитов (геомембрана + 1 слой геотекстиля) $(\delta_{ГМ})_{ГК1} \leq 1,0$ мм; IV – зона геокомпозитов (геомембрана + 2 слоя геотекстиля) $(\delta_{ГМ})_{ГК2} \leq 1,0$ мм; 1 – график изменения толщины геомембраны из условия сплошности (неповреждаемости); 2 – график изменения толщины геомембраны из условия ее статической работы как мембраны

Рисунок 2 – Номограмма выбора типа геокомпозитов на основе геомембран

Анализ номограммы показывает, что зона I соответствует геомембране без защитных прокладок при толщине $\delta_{ГМ} \leq 0,7$ мм; зона II – геомембране без защитных прокладок при $0,7 \leq \delta_{ГМ} \leq 1,0$ мм; зона III – геокомпозиту, включающему геомембрану $\delta_{ГМ} = 1,0$ мм и один слой геотекстиля плотностью 450 г/м^2 ; зона IV – геокомпозиту, включающему геомембрану $\delta_{ГМ} = 1,0$ мм и два слоя геотекстиля плотностью 450 г/м^2 .

С целью количественной оценки надежности указанных конструкций экранов в сравнении с ранее применявшимся пленочным экраном толщиной $0,2\text{--}0,4$ мм проведены расчеты вероятности отказов (повреждений) противодиффузионного элемента по методу Байеса [22], их результаты приведены в таблице 1.

Проведенные расчеты вероятности появления диагнозов (состояний) различных конструкций экранов свидетельствует о том, что наиболее вероятным диагнозом D_1 является отказ с повреждением пленочного экрана (с вероятностью $0,723$), для диагнозов D_2 и D_3 – отказы при деформации основания и при старении полимерного материала пленочного экрана (соответственно с вероятностью $0,380$ и $0,101$), для диагноза D_4 – нормальное (безотказное) состояние геокомпозитных конструкций экрана с одним и двумя слоями геотекстиля (соответственно с вероятностью $0,8000$ и $0,9999$).

Таблица 1 – Результаты оценки эксплуатационной надежности различных конструкций противofильтрационных экранов с учетом их диагностических признаков

Тип экрана	Вероятность появления диагноза (состояния) $P(D_i)$			
	D_1	D_2	D_3	D_4
Пленочный, из ПЭ пленки толщиной 0,2–0,4 мм	0,723000	0,380000	0,101000	0,1580
Геомембранный без защитных прокладок при толщине геомембраны 1,0–2,5 мм	0,012500	0,009750	0,002840	0,6000
Геокompозитный с одним слоем геотекстиля при толщине геомембраны 1,0–2,5 мм	0,002660	0,000375	0,000282	0,8000
Геокompозитный с двумя слоями геотекстиля при толщине геомембраны 1,0–2,5 мм	0,000324	0,000045	0,000000	0,9999

В работе автора статьи [23] рассматривается развитие исследований в области применения новых материалов – геосинтетиков для противofильтрационных облицовок и экранов. Отмечается, что, не смотря на длительный период развития данных исследований и применение полимерных и геосинтетических материалов в мировой и отечественной практике, они еще недостаточно используются в России для облицовки каналов. При этом наиболее перспективными для массового внедрения в гидромелиоративном строительстве являются как геосинтетики, так и геокompозиты, отличающиеся более высокими физико-механическими свойствами по прочности, относительному удлинению и сопротивлением к прокалыванию.

Выводы

1 Представлен краткий обзор публикаций сотрудников отделов ГТСиГ и безопасности ГТС ФГБНУ «РосНИИПМ» в различных изданиях и анализ научно-исследовательских работ в области надежности и безопасности низконапорных гидротехнических сооружений и противofильтрационных облицовок каналов.

2 Проведенный анализ публикаций показывает перспективность направления исследований по надежности и безопасности наиболее многочисленных мелиоративных объектов – магистральных и распределительных каналов, особенно в сложных инженерно-геологических условиях (в насыпи, на косогоре, на карстово-суффозионных основаниях).

3 Другим новым направлением исследований являются вопросы обоснования применения резервных водосбросов, их рациональных конструкций и методов расчета.

4 Важнейшее и перспективное направление – применение высоконадежных конструкций противofильтрационных облицовок каналов с использованием нового поколения геосинтетических материалов – геомембран, геокompозитов, геотекстилей и др., практически полностью исключаящих потери на фильтрацию и обеспечивающих повышений КПД каналов до 0,97–0,98.

5 К числу перспективных направлений также можно отнести создание противofильтрационных материалов из полимерных отходов, которые по физико-механическим свойствам могут конкурировать с полимерными материалами из первичного сырья.

Список использованных источников

1 Косиченко, Ю. М. Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи и оценка риска аварийных ситуаций / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2012. – № 4. – С. 77–81.

2 Косиченко, Ю. М. Рекомендации по повышению безопасности эксплуатации магистральных каналов на потенциально опасных участках / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова. – Новочеркасск, 2013. – 28 с. – Деп. в ВИНТИ 28.02.2014, № 67-В2014.

3 Пат. № 2539147 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16. Противофильтрационная диафрагма низконапорных плотин и дамб из грунтовых материалов / Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В., Чернов М. А.; заявитель и патентообладатель Южный науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации. – № 2012115788/13; заявл. 08.04.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. – 9 с.

4 Пат. 2562487 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/12. Способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбе канала / Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В., Баев О. А.; заявитель и патентообладатель Южный науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации. – № 2013149777; заявл. 06.11.2013; опубл. 20.05.2015, Бюл. № 14. – 7 с.

5 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.

6 Косиченко, Ю. М. Вероятностно-статистическая модель эксплуатационной надежности распределительных каналов оросительных систем / Ю. М. Косиченко, М. Ю. Косиченко, Ю. И. Иовчу // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2011. – № 3. – С. 81–85.

7 Косиченко, Ю. М. Гидравлические и эксплуатационные критерии функционирования крупных каналов перераспределения стока / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2013. – № 5. – С. 62–66.

8 Косиченко, Ю. М. Применение резервных водосбросов в грунтовых плотинах для пропуска паводковых расходов [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко, Е. Д. Михайлов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 2(14). – 14 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=252&id=263>.

9 Пат. 2498007 Российская Федерация, МПК Е 02 В 7/06. Резервный водосброс грунтовой плотины / Косиченко Ю. М., Морогов К. В., Чернов М. А., Михайлов Е. Д.; заявитель и патентообладатель Российский науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2012114853/13; заявл. 13.04.12; опубл. 10.11.13, Бюл. № 31. – 10 с.

10 Пат. 2573328 Российская Федерация, МПК Е 02 В 7/06, Е 02 В 8/06. Резервный водосброс грунтового подпорного сооружения (варианты) / Косиченко Ю. М., Михайлов Е. Д., Баев О. А.; заявитель и патентообладатель Южный науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации. – № 2014100661/13; заявл. 09.01.14; опубл. 20.01.16, Бюл. № 20. – 13 с.

11 Косиченко, Ю. М. Методика расчета параметров резервного водосброса с размываемой вставкой [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко, Е. Д. Михайлов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 4(16). – 14 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=292&id=306>.

12 Косиченко, Ю. М. Оценка надежности работы резервного водосброса с размываемой вставкой / Ю. М. Косиченко, Е. Д. Михайлов // Вестник МГСУ. – 2015. – № 2. – С. 130–140.

13 Косиченко, Ю. М. Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации резервных водосбросных сооружений / Ю. М. Косиченко, А. И. Тищенко, Е. Д. Михайлов; РосНИИПМ. – Новочеркасск, 2016. – 54 с. – Деп. в ВИНТИ Рос. акад. наук 17.03.2016, № 44-В2016.

14 Косиченко, Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Ю. М. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 2. – С. 86–94.

15 Косиченко, Ю. М. Высоконадежные конструкции противofiltrационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 8. – С. 18–25.

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

17 Косиченко Ю. М. Рекомендации по применению геосинтетических материалов для противofiltrационных экранов каналов, водоемов и накопителей / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев; РосНИИПМ. – Новочеркасск, 2015. – 65 с. – Деп. В ВИНТИ 12.01.15, № 1-B2015.

18 Пат. № 2460844 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16. Способ создания противofiltrационного покрытия / Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Ищенко А. В., Чернов М. А.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2010132456/13; заявл. 02.08.10; опубл. 10.09.12, Бюл. № 25. – 6 с.

19 Пат. № 2495979 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16. Способ создания противofiltrационного покрытия каналов и водоемов с крутыми откосами / Косиченко Ю. М., Перелыгин А. И., Чернов М. А.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2012106790/13; заявл. 24.02.12; опубл. 20.10.13, Бюл. № 29. – 7 с.

20 Косиченко, Ю. М. Теоретическая оценка водопроницаемости противofiltrационной облицовки нарушенной сплошности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2014. – № 3(178). – С. 68–74.

21 Косиченко, Ю. М. Математическое и физическое моделирование фильтрации через малые повреждения противofiltrационных устройств из полимерных геомембран / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. – 2014. – № 274. – С. 60–73.

22 Косиченко, Ю. М. Расчетная оценка надежности конструкций противofiltrационных экранов из геокомпозитов / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия все-российского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. – 2015. – № 275. – С. 68–77.

23 Косиченко, Ю. М. Развитие исследования в области применения новых материалов для противofiltrационных целей / Ю. М. Косиченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015. – Вып. 2(58). – С. 21–27.

УДК 627.8.06

С. С. Орлова

Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙ И ПОВРЕЖДЕНИЙ ВОДОПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Цель исследования – изучение и анализ факторов, приводящих к повреждениям водоподпорных сооружений. Установлено, что основными причинами разрушения плотин являются проблемы с породами основания или недостаток пропускной способности водосбросных сооружений. В теле плотины возникают как сжимающие, так и местные растягивающие усилия, под действием которых появляются трещины в ядре (или экране). Трещины в зависимости от порождающих их причин бывают поперечные

и продольные, расположенные снаружи или внутри тела плотины. Наиболее опасны горизонтальные поперечные трещины, особенно сквозные. Трещинообразованию подвержены главным образом глинистые грунты с числом пластичности менее 15 гранулометрического состава. Основные причины разрушения плотин с переливом воды через гребень: неправильный выбор расчетного паводкового расхода, вследствие чего пропускная способность водосбросов и водоспусков оказывается недостаточной; неисправное состояние водопропускных сооружений в период паводка; авария на плотине, расположенной выше по течению. При строительстве плотин должна быть строго соблюдена технология ее качественного возведения, заданная техническими условиями, а аварии плотин от суффозии и образования трещин можно предупредить, если своевременно обнаружить и приостановить их развитие.

Ключевые слова: водоподпорные сооружения, плотины, грунты основания, трещины, аварии, повреждения, пропускная способность, паводковый расход, безопасность.

Анализ статистики аварий и повреждений водоподпорных сооружений показывает, что вероятность даже крупных аварий и разрушений любых плотин, в том числе и самых современных, не может быть полностью устранена. Поэтому следует применять современные методы анализа различной накопленной и постоянно обновляющейся информации о возможных причинах снижения уровня безопасности водоподпорных сооружений. На этой основе необходимо обеспечить оперативность и объективность процедуры контроля и оценки состояния плотин, находящихся в эксплуатации.

Сведение риска аварий к минимуму является задачей, решаемой как при проектировании и строительстве, так и при эксплуатации плотин. Основную трудность при оценке риска вызывают оперативный анализ и обобщение большого объема разнородной и разномасштабной информации, обладающей высокой долей неопределенности [1].

Необходимость широкого применения методов анализа качественной информации не принижает роль и значение методов анализа количественной, в том числе расчетной информации, которая используется при проектировании плотин [2]. При оценке уровня безопасности и рисков плотин, находящихся в эксплуатации, вместе с изменениями показателей состояния плотин, условий их использования и размеров ущербов от возможных аварий должны быть учтены изменения нормативных и проектных решений расчетной оценки состояния (вследствие изменения метода расчета, норм и правил, природных воздействий, свойств материалов и пород оснований).

Основные причины разрушения плотин – проблемы с породами основания или недостаток пропускной способности гидроузла. Первая проблема проявляется при первоначальном заполнении водохранилища. Вторая актуальна для некрупных плотин на прудах и малых водохранилищах [3].

Всестороннее изучение свойств грунтов основания и принятие мер по их укреплению, удалению легко размываемых прослоев и уменьшению градиентов напора соответствующими противофильтрационными устройствами способствует полному исключению возможности вымывания грунта из-под основания, таким образом, опасности разрушения плотины [1].

Возникновение суффозии в теле плотины является следствием низкого качества ее проектирования или возведения. Вымыв грунта ядра (или экрана) возможно предотвратить правильным назначением размеров указанных элементов, обеспечивающих не размывающие градиенты напора, а также надлежащим подбором состава и параметров переходных зон (фильтров); при этом весьма важным условием является качественное уплотнение грунтовых материалов, так как плохо уплотненные зоны создают пути сосредоточенной фильтрации и опасность суффозии.

Случаи суффозии часто имеют место в примыканиях плотин к крутым береговым склонам и бетонным сооружениям ввиду затруднительности уплотнения грунта

механизмами в зоне контакта. Эти зоны требуют дополнительного ручного уплотнения. Образование трещин в ядре (или экране) – наиболее опасная форма деформации плотин, так как вызывающие их факторы весьма разнообразны, мало изучены, следовательно, трудноуловимы. Поэтому для установления причин их возникновения и способов ремонта требуется проведение масштабных исследовательских работ.

Напряжения в теле плотины из грунтовых материалов, как известно, сжимающие, но с переменной интенсивностью, зависящей от формы поперечного сечения, очертания каньона, свойств грунтовых материалов и степени их уплотненности. Тем не менее, как показывают обследования многих высоких плотин, в них образуются трещины, свидетельствующие о возникновении местных растягивающих напряжений.

Натурные наблюдения за каменно-земляными, а также земляными плотинами показали, что трещины в зависимости от порождающих их причин бывают поперечные и продольные, расположенные снаружи или внутри тела плотины. Поперечные трещины могут быть вертикальными, наклонными и горизонтальными, а также сквозными и локальными. Вертикальные трещины, преимущественно наружные, образуются на гребне плотины и распространяются внутри тела на ограниченную глубину. Они возникают из-за неравномерной осадки тела и основания плотины.

Причинами образования вертикальных трещин могут быть: сопряжение плотины с не выравненными обрывистыми береговыми склонами, имеющими резкие переломы профиля; значительные уступы; наличие в основании пойменного участка плотины сжимаемых наносных отложений, дающих большие осадки против бортовых участков; некачественное выполнение насыпи тела плотины, приводящее к неравномерным осадкам различных ее участков. Сейсмические воздействия большой силы также могут способствовать образованию вертикальных трещин. Если вертикальные трещины проходят ниже уровня бьефа, то они представляют фильтрационную и суффозионную опасность и требуют соответствующих мер обезвреживания.

Наиболее опасны горизонтальные поперечные трещины, особенно сквозные. В результате большой осадки основания в центральной части плотины и ее «зависания» на крутых скальных склонах бортовых участков между верхней и нижней частями плотины существует вероятность образования горизонтальной поперечной сквозной трещины, через которую с большой разрушающей силой может прорваться вода и размывать плотину за несколько часов.

Менее опасны продольные трещины, обычно возникающие на гребне плотины вдоль ее оси. Они чаще всего образуются на контакте ядра с боковыми призмами (или переходными зонами) отдельными участками (иногда значительной длины) и имеют глубину до нескольких метров.

Продольные трещины возникают чаще в плотинах с грунтовым ядром главным образом из-за разной осадки ядра и боковых призм. Ввиду того, что грунтовая насыпь ядра и каменная наброска по плотности укладки обычно отличаются друг от друга, появление продольных трещин в высоких каменно-земляных плотинах почти неизбежно.

Поверхностные трещины обнаруживаются визуальными наблюдениями и легко обезвреживаются тампонированием (забивкой песчано-глинистым материалом, иногда с примесью силикатов), реже – цементацией под давлением. Внутренние трещины в теле плотины могут образоваться также на контакте ядра с заложеной в него бетонной или железобетонной конструкцией (стенкой – диафрагмой, зубом, галереей) ввиду весьма малой сжимаемости бетонной конструкции по сравнению с окружающей сжимаемой грунтовой средой.

Трещинообразованию подвержены главным образом глинистые грунты с числом пластичности менее 15 гранулометрического состава. Глины высокой пластичности (более 20) являются более трещиностойкими. Неблагоприятны рыхлые элювиальные грунты, в составе которых имеются частицы непрочных, легко выветриваемых пород. Таким образом, можно констатировать следующее:

- в зависимости от интенсивности суффозии и степени ее опасности «излечение» плотины может производиться либо путем инъекции в поврежденные участки глиноцементного, цементного, силикатного или химического растворов, либо устройством на верховом откосе нового противофильтрационного экрана. Наружные трещины могут быть излечены (после их стабилизации) путем заделки, т. е. заполнения щели водупорным грунтом или искусственными смесями с содержанием бентонита, иногда и силикатов;

- другой причиной разрушения плотины может послужить перелив воды через ее гребень вследствие ливневых дождей и недостаточной пропускной способности открытого берегового водосброса [4]. Основаниями для подобного разрушения плотин являются неправильный выбор расчетного паводкового расхода, вследствие чего пропускная способность водосбросов и водоспусков оказывается недостаточной, неисправное состояние водопропускных сооружений в период паводка, авария плотины, расположенной выше по течению [4];

- в подобных случаях подъем уровня воды в водохранилище перед плотиной происходит довольно быстро (до десятков сантиметров в час) и достигает гребня плотины в течение очень короткого промежутка времени (иногда менее чем за сутки). Все традиционно используемые способы защиты плотин, такие как устройство дополнительного водосбросного канала, наращивание высоты плотины, создание бетонированных быстротоков или водосливов для пропуска паводковых вод не являются эффективными по причине того, что их использование требует как больших материальных и финансовых затрат, так и значительного времени на их реализацию [1]. Например, для достижения бетоном прочности хотя бы 50 % необходимо несколько суток. Таким образом, последнее (временное) ограничение является определяющим, поскольку сводит эффективность известных способов решения поставленной задачи к нулю;

- при аварии на водоподпорных сооружениях одно из опаснейших последствий – прорыв напорного фронта и возникновение волны прорыва, распространяющейся в нижнем бьефе гидроузла, что в свою очередь может привести к большим экономическим потерям, негативным экологическим и социальным последствиям [5].

Выводы

1 Аварии плотин от суффозии можно предупредить, если ее своевременно обнаружить и приостановить ее развитие. Для этого при постройке плотины в нее должна быть заложена необходимая контрольно-измерительная аппаратура, сигнализирующая об образовании внутренних и поверхностных трещин, зон усиленной фильтрации и других нарушениях нормальной работы сооружения.

2 Образование трещин можно предупредить путем точной оценки компрессионных свойств грунтов в основании плотины, правильного выбора типа, конструкции плотины и грунтов для ее возведения, а также надлежащей подготовки основания.

3 Из всех трещин наиболее опасны внутренние трещины в ядре (или экране), поэтому при их обнаружении следует неотложно организовать тщательные наблюдения за развитием фильтрации и проявлением суффозии. При наличии суффозии может потребоваться полное или частичное опорожнение водохранилища на время ремонтных работ во избежание дальнейшего развития суффозии. Следует отметить, что часто происходит «самозалечивание» мелких трещин, возникающих на контакте ядра (или экрана) с фильтрами, благодаря кольматационной способности связных грунтов. При надлежащем подборе состава фильтров (переходных зон) обеспечивается кольматация контактных трещин.

4 Современную контрольно-измерительную аппаратуру и систему наблюдений за ее показаниями нельзя считать полностью удовлетворительными для обнаружения внутренних трещин. Требуется создание новых специальных приборов и модернизация уже существующих. Кроме того, весьма важно совершенствовать теоретические мето-

ды расчета условий возникновения трещин, а также расширять базу экспериментирования и крупномасштабного моделирования плотин в различных условиях их работы, побуждающих образование трещин.

5 При строительстве плотины должны строго соблюдаться технология ее качественного возведения, соответствующая всем техническим параметрам, и требования к наполнению водохранилища. В случае функционирования водохранилища в режиме сработки, пропуска паводков, льда, шуги и других условий, заданных инструкцией по эксплуатации, необходимы его опорожнение и повторное наполнение.

При соблюдении всех вышеперечисленных условий аварии плотин можно полностью предотвратить, а повреждения свести к минимуму, безопасному для целостности плотины.

Список использованных источников

1 Михеева, О. В. Мониторинг состояния водоподпорных сооружений Саратовской области на примере Лебедевского водохранилища Краснокутского района / О. В. Михеева, С. С. Орлова, Т. А. Панкова // *Фундаментальные и прикладные исследования: новое слово в науке: материалы междунар. науч.-практ. конф.*, г. Москва, 2 сентября 2013 г. – Москва: АНО Издательский дом «Научное обозрение», 2013. – С. 257–267.

2 Панкова, Т. А. К вопросу мониторинга безопасности гидротехнических сооружений Лебедевского водохранилища Краснокутского района Саратовской области / Т. А. Панкова, О. В. Михеева, С. С. Орлова // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. – 2013. – № 2(2). – С. 35–42.

3 Орлова, С. С. Анализ состояния прудов и малых водохранилищ в период эксплуатации / С. С. Орлова // *Научная жизнь*. – 2015. – № 4. – С. 47–54.

4 Панкова, Т. А. Оценка эксплуатационного состояния водосбросного сооружения на балке Курдюм Саратовского района у села Клещевка Саратовской области / Т. А. Панкова, С. С. Орлова // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ»*. – Новочеркасск, 2015. – Вып. 2(58). – С. 132–135.

5 Михеева, О. В. К вопросу о расчете ущерба в результате аварии на гидротехническом сооружении / О. В. Михеева, С. С. Орлова // *Аграрный научный журнал*. – 2014. – № 9. – С. 38–42.

УДК 621.67: 626.83

О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

Р. Р. Эргашев

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО УЗЛА КРУПНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Целью исследований является научное обоснование, систематизация и унификация номенклатуры применяемых критериальных значений, подлежащих контролю, измерению и учету на стадии эксплуатации и при оценке уровня безопасности насосных станций. В процессе эксплуатации крупных насосных станций возникает ряд проблем, решить которые возможно только путем экспериментальных исследований. В статье рассматриваются методы обслуживания и технической диагностики крупных вертикальных насосных агрегатов, обеспечивающие надежность систем, дается оценка качественных и количественных изменений их эксплуатационных режимов.

Использование новых конструкций насосно-силового оборудования и разработка новых режимов эксплуатации предусматривают совершенствование режима работы насосов, что дает значительную экономию.

Ключевые слова: насосные станции, безопасная эксплуатация, диагностический признак спектра вибрации, насосные агрегаты.

В Республике Узбекистан насчитывается большое количество насосных станций. В настоящее время в эксплуатации находятся 43 крупные насосные станции (НС), около 1400 средних и 30000 мелких НС и установок. Таким образом, в Республике сосредоточено более половины насосных мощностей всего Центрально-Азиатского региона. Расход перекачиваемой воды составляет более 6,5 тыс. м³/с, объем – более 60 млрд м³ в год, потребляется около 7,5 млрд кВт·ч электрической энергии и до 5,5 тыс. т дизельного топлива.

Наиболее крупное насосное оборудование установлено на НС Аму-Бухарского машинного канала (АБМК), Каршинского магистрального канала (КМК), каналов Джизакского и Аму-Занг.

Количество крупных станций является незначительным (3 % от общего), но с суммарной расчетной подачей, превышающей 2600 м³/с, и годовой водоподачей более 40 км³ они играют очень важную роль в водном хозяйстве Республики.

Насосное оборудование в Центральной Азии работает в сложных условиях: повышенное содержание твердых взвешенных частиц в перекачиваемых водах (6...15 г/л), высокая температура окружающего воздуха (35...50 °С), круглогодичный цикл работы (в зимний период заполняются водохранилища, проводятся промывные поливы и др.). Минерализация воды в системах является высокой (до 25 мг/л). Особенно негативное воздействие на насосное оборудование оказывают частые отключения агрегатов вследствие нестабильного электроснабжения, а также по гидравлическим и технологическим причинам.

В марте 2000 г. подпор на головной части НС-1 КМК доходил до 2,8...3,0 м, что при графике работы трех насосных агрегатов (НА) приводило к самым неблагоприятным гидравлическим режимам [1].

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. При анализе конкретных объектов установлено, что неблагоприятные условия их работы объясняются неудачными проектами или неграмотной эксплуатацией, но сравнительная оценка НС различных конструкций позволяет сделать вывод о закономерностях, обусловленных гидравлическими процессами.

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 водозаборов и подводящих каналов.

Это усугубляется тем, что НС работает по графику с широким диапазоном подачи, и многочисленные комбинации НА приводят к изменению структуры потока во всех элементах гидротехнического узла.

Рассмотрим некоторые технологические основы управления системами машинного водоподъема (СМВ) в аспекте безопасности.

Водозаборное сооружение – это головной объект СМВ, через который вода поступает из водоисточника (реки или водохранилища). Его назначение – обеспечивать забор воды из водоисточника в соответствии с графиком потребления и по возможности не допускать попадания в подводящий канал наносов плавающего мусора и шуги. Кроме того, оно должно давать возможность полностью или частично отключать подводящий канал во время ремонта, очистки или аварии.

В Республике Узбекистан для подвода воды к зданию НС применяются в основном открытые подводящие каналы, которые проложены в земляном русле или облицованы бетоном. Подводящий канал оканчивается аванкамерой, обеспечивающей плавный подход воды ко всем отверстиям водоприемных устройств здания станции.

Для подъема воды в здании НС установлено гидромеханическое, энергетическое и вспомогательное оборудование. К гидромеханическому оборудованию относятся затворы, направляющие аппараты и насосы, с помощью которых происходит забор воды из аванкамеры и ее подъем на заданную высоту, к энергетическому – электродвигатели, служащие приводом основных насосов.

Вспомогательное оборудование обеспечивает пуск, работу и остановку основного оборудования, а также нормальные условия эксплуатации НС.

Из конструктивных составляющих СМВ наиболее важными являются подводящий и отводящий каналы, аванкамера, станция и питающая электрическая сеть, выполняющие транспортировку, подъем и подачу воды.

Подводящий и отводящий каналы эксплуатируются при различных гидравлических режимах. К наиболее часто встречающимся режимам эксплуатации относятся равномерный режим, а также поддержание УВ нижнего и верхнего бьефа с перетекающими объемами. Эти режимы должны предотвращать заиляемость, размываемость каналов, перелив воды через бровку при внезапных остановках НА, поддерживать уровень горизонтов воды в нижнем и верхнем бьефах (УВНБ, УВВБ) НС, проектное живое сечение, обеспечивать бескавитационную работу и энергосберегающий режим работы НС.

УВ в подводящем канале зависит от изменения УВ в водоисточнике, расхода воды, поступающей в канал, геометрии и состояния канала. УВ в отводящем канале колеблется в зависимости от количества работающих агрегатов станции, геометрии и состояния канала.

При совместной работе объектов СМВ НС к подводящим и отводящим каналам предъявляется ряд требований: поддержание достаточно высокого УВНБ для обеспечения условий пуска НА и энергоэкономичных режимов; понижение уровня недопустимо по кавитационным условиям НА; УВВБ должен быть удовлетворительным для нормальной и безаварийной эксплуатации (в соответствии с графиком водоподачи).

С другой стороны, максимальная величина наполнения подводящего канала ограничивается условиями безаварийности, незаиляемости, испарения и фильтрации воды, а минимальная величина наполнения отводящего канала – условиями нормальной безаварийной эксплуатации сифона напорного трубопровода и потерями энергии на трение. Поэтому необходимо выбрать такие режимы работы подводящих и отводящих каналов, которые как можно больше соответствуют правилам безопасности, но с учетом их собственных ограничений.

На основе анализа работы НС разработаны требования к лимитирующим элементам гидротехнического узла НС.

Так, в течение ряда лет причиной низкой производительности одной из крупнейших НС Хамза-1 считалось некачественное изготовление насосно-энергетического оборудования, а причиной отказов в функционировании крайних агрегатов – их некачественный ремонт. В результате анализа статистических данных было установлено, что время простоев крайних агрегатов превосходит среднее по станции в 1,7...2,5 раза, а время аварийных ремонтов – в 2,9...3,8 раза. Такое положение объясняется исключительно неблагоприятными гидравлическими условиями подвода воды к крайним НА. Аналогичная картина наблюдается как на однотипных НС (Алатская, Каракульская, Яманджарская), так и на станциях других компоновок – с параллельными боковыми стенками у водоприемника (Кызылтепинская, Каршинская). На каскаде КМК на большем количестве капитально отремонтированных НА станции (около 70 %) работали крайние агрегаты. Были выявлены и другие причины распространенных экс-

плуатационных проблем, они связаны с гидравлическими процессами гидротехнического комплекса.

Эксплуатируемые в настоящее время водоподводящие сооружения рассчитаны только на ограниченные диапазоны режимов. Отсутствует классификация СУС и методы их расчета с учетом региональных и гидрологических особенностей. Сооружения не содержат элементов управления потоком.

Оценка технического состояния в первую очередь должна быть положена в основу оценки безопасности эксплуатации гидротехнического узла крупных НС.

Для насосов ГОСТ 6134-71 устанавливает следующие виды испытаний: предварительные заводские, приемочные, испытания установочной партии, приемосдаточные, периодические, типовые и определительные испытания на надежность.

При испытаниях в зависимости от их видов могут регистрироваться различные характеристики.

Напорная характеристика представляет собой зависимость напора от подачи насоса. Энергетическая характеристика – зависимость потребляемой мощности и КПД от подачи. Снятие этих характеристик должно проводиться одновременно на расчетной частоте вращения. При каждом режиме измеряют и записывают частоту вращения, подачу, давление на входе и выходе, крутящий момент или мощность, температуру жидкости.

Кавитационная характеристика представляет собой зависимость допускаемого кавитационного запаса от подачи насоса.

Периодическим испытаниям подвергаются крупные насосы серийного производства в соответствии с требованиями технической документации, но не менее одного насоса в два года. Периодические испытания должны включать: снятие напорной, энергетической и кавитационной характеристик, определение внешних утечек, проверку вибрации опор.

При испытаниях на надежность следует уточнить показатели надежности, сроки и объемы ремонтов, определить потребность в запасных частях с целью внесения этих данных в техническую документацию.

Реализация технических и организационных мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений (ГТС) невозможна без объективной оценки уровня их безопасности на основе сопоставления факторов, учтенных в ходе эксплуатации, ремонтов и реконструкции, с факторами безопасности, действующими на момент обследования НС. Под факторами безопасности понимаются количественные и качественные характеристики состояния сооружения и ожидаемого ущерба от аварии НС [1].

Необходим достаточно формализованный и оперативный способ оценки, позволяющий объединить в едином показателе влияние большого числа качественных и количественных факторов, имеющих разную значимость.

Данная проблема была рассмотрена Международной комиссией по большим плотинам (СИГБ) в рамках необходимости автоматизации системы натуральных наблюдений. Согласно рекомендациям СИГБ состояние ГТС оценивается 11 количественными и качественными факторами, объединенными в три группы, которые характеризуют:

- влияние окружающей среды;
- конструктивные особенности и состояние сооружения.

Для приведения указанных факторов к единому масштабу они ранжируются по дискретной шкале (от одного до шести). Для учета взаимовлияющих факторов одной группы их ранжированные оценки осредняются, а для учета взаимовлияния групп факторов указанные осредненные оценки перемножаются. Большие значения итоговых оценок свидетельствуют о более низком уровне безопасности. Приведение факторов к единому масштабу осуществляется нами на основе единой непрерывной шкалы, значения которой изменяются от нуля до пяти.

Количественная оценка факторов безопасности более высокого уровня (и в том числе оценка уровня безопасности) осуществляется с учетом взаимовлияния различных (приведенных к единому масштабу) факторов безопасности более низкого уровня. Такой учет выполняется в соответствии с иерархической структурой факторов на каждом уровне иерархии.

После завершения расчетов для всех уровней иерархии и определения уровня безопасности ГТС в целом следует:

- выполнить анализ вклада отдельных факторов и групп факторов;
- в случае необходимости внести корректировку в набор учитываемых факторов, их иерархию, ранжирование, оценку факторов низших уровней иерархии, выбор расчетных формул;
- повторить процедуру оценки уровня безопасности с использованием уточненных исходных данных и локальных характеристик безопасности;
- сформулировать (в случае необходимости) выводы о причинах низкого уровня безопасности, необходимые для разработки мер организационно-технического характера по предотвращению аварий и разрушения эксплуатируемого ГТС.

В случае определения общего значения фактора «оценка состояния эксплуатируемого ГТС» следует произвести оценку этих факторов на основе полученных для различных «сценариев» аварий или разрушения.

Внутри каждого поддиапазона шкалы, ранжирующей уровень безопасности, имеется несколько значений. Поэтому при использовании данной методики могут быть детализованы рекомендации инспекционных комиссий, вытекающие из их оценок состояния ГТС и его уровня безопасности.

В настоящее время в технике существуют два подхода к нормированию безопасности. Первый, который применяется и в гидротехнике, основан на разделении объектов на классы в зависимости от степени их ответственности.

К каждому классу предъявляются свои определенные требования безопасности, которые обеспечиваются посредством регламентации системы нормативных коэффициентов: по нагрузкам, материалам, ответственности, условиям работы, сочетаниям нагрузок и воздействий.

Во втором случае регламентируется риск как вероятность другого, связанного с аварией или же отказом объекта вследствие нежелательного, в том числе и катастрофического события.

Целесообразно оценивать не один, а два уровня нормативного риска, допускаемого на ГТС: верхнюю границу риска, которая определяется только классом объекта, и нижнюю, которая может быть достигнута для данного сооружения НС при выбранном классе за счет других коэффициентов.

Специалисты НИИИВП принимали участие в комплексных натурных и диагностических испытаниях крупнейших НС Республики Узбекистан: НС-1 КМК, Хамза-1 и Кую-Мазар АБМК, Аму-Занг-2. По результатам проведенных испытаний выявлено, что возможны следующие аварийные ситуации:

- образование в недоступной для осмотра подводной части напорного бассейна трещины или нарушение уплотнения деформационного шва;
- интенсивная утечка воды в образовавшееся отверстие с вымывом грунта из-под сооружения;
- в месте размыва грунтового основания обрушение донной плиты напорного бассейна и прорыв воды, требующий прекращения водоподачи по каскаду.

В зависимости от степени разрушений ликвидация последствий таких аварий может потребовать много времени и средств с прекращением водоподачи.

Выводы

1 В статье сформулированы принципы построения системы надзора, основанные на опыте оценки технического состояния НС. Как показывает анализ публикаций в пе-

риодической технической литературе, в пользу такого пути развития системы надзора за объектами повышенной опасности свидетельствует техническая политика в гидроэнергетике России, США, Голландии и других развитых стран.

Объективность и эффективность надзора будут максимальными при комплексных и сопоставимых для различных НС оценках. Этого можно достичь на основе обобщенного количественного показателя, отражающего как подобия, так и различия в конструкциях ГТС, насосов и условиях их эксплуатации. В связи с этим обследование НС должно носить официальный характер, для чего целесообразно принять единую методику и регламент экспертных обследований, инструментальных испытаний и представления результатов.

2 Современный этап развития машинного водоподъема характеризуется специалистами как период старения оборудования сооружений, в этой связи вполне обоснована система надзора за его безопасностью. Считается, что наиболее оперативной и эффективной формой такого надзора является система мониторинга технического состояния основного оборудования и сооружений НС.

Сущность мониторинга заключается в периодическом контроле общего уровня путем обнаружения отклонений в состоянии оборудования на основе критериев безопасности, которыми признаются количественные и качественные показатели предельного состояния, свидетельствующие о невозможности нормальной эксплуатации оборудования.

В данном случае пригоден принцип неизменяемости состояния, когда неизменяемость или малая изменяемость состояния и параметров сооружений и оборудования за некоторый промежуток времени признается как свидетельство его удовлетворительного состояния.

3 Появление независимой надзорной системы мониторинга технического состояния НС стимулирует развитие диагностики [2].

Список использованных источников

1 Некоторые правовые и экономические аспекты повышения надежности и безопасности эксплуатации оросительных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Х. Х. Исаков, Ф. А. Бекчанов, Р. Р. Эргашев // Водному сотрудничеству стран Центральной Азии – 20 лет: опыт прошлого и задачи будущего: тез. докл. Центрально-Азиатской междунар. науч.-практ. конф., г. Алматы, 20–21 сентября 2012 г. – Ташкент – Алматы, 2012. – С. 117–119.

2 Бекчанов, Ф. А. Разработка систем диагностирования насосных агрегатов иригационных систем / Ф. А. Бекчанов, Р. Р. Эргашев, О. Я. Гловацкий // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: материалы науч.-практ. конф. / ТИМИ. – Ташкент, 2013. – С. 7–10.

УДК 626/627

А. М. Кореновский, Д. В. Бакланова

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

ОЦЕНКА РИСКА АВАРИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ТАЙГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

Целью исследований являлась оценка риска аварии гидротехнических сооружений (ГТС) Тайганского водохранилища в Республике Крым на основании экспертного анализа уровня опасности аварии и уровня уязвимости сооружений по методике ГНЦ РФ ОАО «НИИ ВОДГЕО». Установлено, что уровень риска по значению вероятности аварии плотины характеризуется как условно приемлемый и составляет $3,1 \cdot 10^{-3}$ 1/год. Уровень

риска аварии донного водовыпуска – приемлемый (допустимый) и равен $1,0 \cdot 10^{-4}$ 1/год, что гораздо ниже допустимого для ГТС III класса (к которым относятся сооружения Тайганского водохранилища), равного $2,5 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Ключевые слова: риск, авария, гидроузел, гидротехнические сооружения, водохранилище, плотина, водовыпуск, отводящий канал.

В настоящее время около 1 млрд человек проживает на территориях, расположенных в зонах нижних бьефов гидроузлов водохранилищ, что, безусловно, вызывает повышенный интерес к проблемам безопасности населения и надежности ГТС. Кроме того, опасения вызывает количество плотин, эксплуатируемых на протяжении 40–50 лет и более, которые характеризуются низким уровнем надежности.

После возвращения Крыма в состав России в 2014 г. возникла необходимость определения уровня безопасности ГТС, находящихся на территории Республики, и восстановления стабильного, бесперебойного водоснабжения полуострова. Для решения данного вопроса сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» было проведено обследование одного из водохранилищ Крыма – Тайганского водохранилища, построенного за три года силами специально организованного треста «Тайганстрой» под руководством М. Б. Каменева и главного инженера И. С. Мордвина и введенного в эксплуатацию в 1938 г. В ту пору это было самое крупное водохранилище Крыма, его объем составлял 13,8 млн м³. Как отмечает в своей работе А. Н. Олиферов, плотина водохранилища (рисунок 1) строилась вручную, и из всех механизмов на строительстве находилось только два трактора [1].



Рисунок 1 – Плотина Тайганского водохранилища в Республике Крым (автор фото А. М. Кореновский)

Изначально водохранилище наполнялось водами р. Бююк-Карасу по подводящему каналу длиной 8,5 км, но в 1972 г. было построено Белогорское водохранилище объемом 23,3 млн м³, плотина которого высотой 25 м перегородила русло р. Бююк-Карасу, и Тайганское водохранилище стало наливным, т. е. наполняться из Белогорского водохранилища через перепускное сооружение (рисунок 2).

Совместно с Белогорским водохранилищем общая площадь мелиорированных земель, на которые подается вода, составляет 9648 га. Основные показатели Тайганского водохранилища приведены в таблице 1.

В состав гидроузла Тайганского водохранилища входят относящиеся к III классу ГТС:

- грунтовая плотина;
- донный трубчатый водовыпуск;
- отводящий канал.

Плотина Тайганского водохранилища имеет сложное очертание в плане, ее основные параметры приведены в таблице 2.



Рисунок 2 – Перепускное сооружение из Белогорского водохранилища в Тайганское (автор фото А. М. Кореновский)

Таблица 1 – Основные показатели Тайганского водохранилища

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
1 Отметка НПУ	м	209,0
2 Объем при НПУ	млн м ³	13,8
3 Полезный объем при НПУ	млн м ³	13,6
4 Площадь зеркала при НПУ	км ²	2,0
5 Максимальная глубина при НПУ	м	16,5
6 Отметка УМО	м	194,0
7 Длина водохранилища	м	2000,0
8 Ширина водохранилища	м	2280,0

Таблица 2 – Основные параметры плотины Тайганского водохранилища

Наименование показателя	Характеристика
1	2
Тип плотины	Грунтовая, глухая, проезжая
Класс	III
Основные параметры:	
- длина по гребню, м	761,0
- ширина по гребню, м	6,0
- максимальная высота, м	19,1
- максимальный напор, м	16,5 (при НПУ)
- отметка гребня, м	211,6
- ширина основания, м	117,0
Заложение откосов:	
- верхового:	
а) от основания до отм. 195,0 м	3,5
б) от отм. 195,0 м до отм. 209,0 м	3,0
в) от отм. 209,0 м до отм. 211,6 м	2,0
- низового:	
а) от основания до отм. 203,6 м	2,5
б) от отм. 203,6 м до отм. гребня 211,6 м	2,0
Материал тела и основания плотины	Глинистые грунты
Тело плотины	Насыпное
Крепление верхового откоса	Железобетонные плиты (местами каменная наброска и монолитный железобетон)
Дренажное устройство	Дренажная призма

Продолжение таблицы 2

1	2
Крепление низового откоса	Посев трав по слою растительного грунта толщиной 0,2 м
Тип и количество установленной КИА	6 водомерных реек, 14 скважин, 2 пьезометрических створа и 2 репера в правом и левом бортах плотины

Донный трубчатый водовыпуск выполнен из двух заключенных в бетонную обойму чугунных труб диаметром 0,8 м, которые проложены от входного оголовка до проекции гребня плотины в грунте ее основания, далее до водобойного колодца – в бетонной галерее диаметром 3,6 м.

Отводящий канал протяженностью 464 м, шириной по дну 2,2 м и заложением откосов 1 : 1 облицован монолитными железобетонными плитами (рисунок 3), на канале устроены два щелевых водослива с перепадами.



Рисунок 3 – Отводящий канал (автор фото А. М. Кореновский)

Первый серьезный инцидент, связанный с безопасностью ГТС Тайганского водохранилища, был зафиксирован 4 октября 2001 г. На участке плотины от ПК 5 + 45 до ПК 6 + 50 произошел оползень верхового откоса в зоне донного трубчатого водовыпуска, ось которого расположена на ПК 6 + 13.

Максимальная глубина просадки по линии разрыва составила от 0,8 до 1,8 м. По проекту, разработанному Управлением водного хозяйства Народного Комиссариата Земельных ресурсов Крымской АССР (в 1935 г.), предусмотрен глинобетонный зуб, скрепляющий основание плотины с ее телом. Однако, при проведении обследований сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» (в 2015 г.) с помощью георадара установлено его отсутствие. Кроме того, в теле и основании плотины выявлены многочисленные линзы воды, наиболее крупная из которых (длиной 5 м и высотой приблизительно 1 м) расположена на участке между пикетами ПК 5 + 45 и ПК 6 + 50. Тем не менее, при обследовании галереи, в которой проходят трубы водосброса, мокрых пятен и выходов фильтративных вод не зафиксировано.

В соответствии с конструктивными особенностями ГТС Тайганского водохранилища, а также в зависимости от условий их эксплуатации и природных факторов для оценки риска аварии можно прогнозировать три сценария развития гидродинамических аварий, ведущих к образованию прорана и прорыву напорного фронта, возникновению волны прорыва и затоплению территории, расположенной в нижнем бьефе.

В случае возникновения в результате ЧС на узле ГТС аварии можно предположить развитие следующих возможных сценариев:

- (сценарий 1) разрушение грунтовой плотины, сопровождающееся прорывом

напорного фронта, под влиянием внешних причин: террористического акта или сверхрасчетного землетрясения, а также внутренних причин: потери устойчивости плотины в результате нарушения фильтрационной прочности грунтов тела плотины, которые приведут к образованию прорана и волны прорыва. Волна прорыва распространится вдоль Джайваганской балки, затопив прилегающие территории, что может привести к материальному и социальному ущербу;

- (сценарий 2) сосредоточенная фильтрация в теле грунтовой плотины в контактных местах грунта с водовыпускным сооружением при градиентах напора выше критических значений (контурная фильтрация). Происходит развитие механической суффозии, нарушение фильтрационной прочности тела, вынос грунта, образование глубоких просадочных воронок и пустот и, как следствие, перелив воды из водохранилища через просадочные понижения гребня, образование проранов напорного фронта в зоне суффозии;

- (сценарий 3) увеличение кривой депрессии вследствие отказа работы дренажа, приводящее к потере устойчивости низового откоса плотины.

За наиболее опасный сценарий развития ЧС принят сценарий 1, за наиболее вероятный – сценарий 2.

Оценка риска аварии производится на основании экспертного анализа уровня опасности аварии и уровня уязвимости ГТС по методике ГНЦ РФ ОАО «НИИ ВОДГЕО» [2]. Для оценки уровня риска аварии вначале рассчитывается коэффициент риска r_a :

$$r_a = \lambda \cdot v,$$

где λ – коэффициент опасности аварии ($0 < \lambda < 1$);

v – коэффициент уязвимости аварии ГТС ($0 < v < 1$).

По коэффициенту риска аварии r_a оценивается вероятность возникновения аварии P_a (ГТС), 1/год:

$$P_a(\text{ГТС}) = 0,5 \operatorname{erfc} \left[\beta \frac{\ln(r_a / r_k)}{\ln(r_{\text{доп}} / r_k)} \right],$$

где $\operatorname{erfc} \left[\beta \frac{\ln(r_a / r_k)}{\ln(r_{\text{доп}} / r_k)} \right]$ – вероятностная функция.

β – коэффициент вариации, зависящий от класса ГТС (для III класса $\beta = 1,95$);

r_k – катастрофическое значение коэффициента риска ($r_k = 1$);

$r_{\text{доп}}$ – допустимое значение коэффициента риска, выше которого не обеспечивается нормальный уровень безопасности ГТС ($r_{\text{доп}} = 0,15$).

После чего определяется уровень риска аварии по таблице 3.

Таблица 3 – Классификация уровня риска по значению вероятности аварии ГТС

В 1/год

Класс сооружений	Приемлемый (допустимый) уровень риска	Условно приемлемый уровень риска	Повышенный уровень риска	Недопустимый уровень риска
I	Менее $5,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5} \div 7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3} \div 7 \cdot 10^{-2}$	Более $7 \cdot 10^{-2}$
II	Менее $5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4} \div 2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2} \div 0,12^{-2}$	Более 0,12
III	Менее $2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3} \div 4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2} \div 0,16^{-2}$	Более 0,16
IV	Менее $5,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} \div 0,18^{-2}$	Более 0,18

Интегральная оценка опасности аварии на плотине Тайганского водохранилища (сценарий 1) представлена в таблице 4.

Интегральный код показателей опасности в соответствии с данными таблицы 4

составляет 3103. Значение коэффициента опасности λ определяется согласно установленному коду по таблице 6 (Методические рекомендации по оценке риска аварий на гидротехнических сооружениях водного хозяйства и промышленности [2]). Получаем $\lambda = 0,5313$.

Таблица 4 – Интегральная оценка опасности аварии на плотине Тайганского водохранилища

Показатель опасности	Уровень опасности	Код	Отличительный признак
1	Большая опасность	3	Ввиду изменения нормативной сейсмичности района расположения плотины с 8 баллов (принято при проектировании) до 9 баллов возможны превышение расчетного сейсмического воздействия, разрушение плотины и прорыв напорного фронта
2	Малая опасность	1	В проекте имеются незначительные отклонения от современных нормативных требований
3	Опасность отсутствует	0	Полное соответствие проектным требованиям по всем оцениваемым факторам
4	Большая опасность	3	Масштаб возможной ЧС – региональный, материальный ущерб – свыше 5 млн руб., но не более 500 млн руб. Зона распространения ЧС не выходит за пределы территории субъекта РФ

Интегральная оценка уязвимости плотины представлена в таблице 5. В соответствии с данными таблицы 5 интегральный код показателей уязвимости составляет 1011. Значение коэффициента уязвимости ν определяется согласно коду по таблице 12 (Методические рекомендации по оценке риска аварий на гидротехнических сооружениях водного хозяйства и промышленности [2]). Получаем $\nu = 0,2833$.

Таким образом, коэффициент риска аварии плотины Тайганского водохранилища равен:

$$r_a = \lambda \cdot \nu = 0,5313 \cdot 0,2833 = 0,151.$$

Тогда вероятность возникновения аварии плотины P_a (ГТС), 1/год составит:

$$P_a \text{ (ГТС)} = 0,5 \operatorname{erfc} \left[\beta \frac{\ln(0,151)}{\ln(0,15)} \right] = 0,5 \operatorname{erfc} [1,95 \cdot 0,996] = 0,5 \cdot 0,0061 = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год.}$$

Таблица 5 – Интегральная оценка уязвимости плотины Тайганского водохранилища

Показатель уязвимости	Уровень уязвимости	Код	Отличительный признак
1	2	3	4
1	Малая уязвимость	1	Наличие локальных повреждений элементов конструкций и сооружений, которые могут быть устранены в ходе текущих (плановых) ремонтных работ; отсутствие превышения ПДЗ контролируемых параметров состояния
2	Уязвимость отсутствует	0	Отсутствие каких-либо нарушений состояния окружающей среды в зоне влияния ГТС
3	Малая уязвимость	1	Незначительные отступления от требований к безопасной эксплуатации, не накладывающие ограничений на эксплуатацию ГТС как при нормальном, так и при экстренном режимах

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
4	Малая уязвимость	1	Незначительные отступления от предъявляемых требований, для устранения которых не требуется разработка и проведение специальных мероприятий по обеспечению готовности объекта и эксплуатирующей организации к действиям по предотвращению и ликвидации последствий возможной ЧС (аварии)

Аналогичным образом была выполнена интегральная оценка опасности аварии и уязвимости донного водовыпуска Тайганского водохранилища (сценарий 2).

Значение коэффициента опасности λ составило 0,3125, значение коэффициента уязвимости ν – 0,2833. Таким образом, коэффициент риска аварии донного водовыпуска Тайганского водохранилища равен:

$$r_a = \lambda \cdot \nu = 0,3125 \cdot 0,2833 = 0,089.$$

Тогда вероятность возникновения аварии плотины P_a (ГТС), 1/год, составит:

$$P_a \text{ (ГТС)} = 0,5 \operatorname{erfc} \left[\beta \frac{\ln(0,089)}{\ln(0,15)} \right] = 0,5 \operatorname{erfc} [1,95 \cdot 1,275] = 0,5 \cdot 0,0002 = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Анализируя результаты оценки риска, можно сделать вывод о том, что уровень безопасности плотины Тайганского водохранилища – пониженный ($0,15 < r_a < 0,3$). Уровень риска по значению вероятности аварии плотины составляет $3,1 \cdot 10^{-3}$ 1/год, что (согласно таблице 3) меньше, чем $4 \cdot 10^{-2}$ 1/год, т. е. уровень риска аварии плотины является условно приемлемым.

Уровень безопасности донного водовыпуска Тайганского водохранилища – нормальный ($r_a = 0,089 < 0,15$), а уровень риска по значению вероятности аварии составляет $1,0 \cdot 10^{-4}$ 1/год, что (согласно таблице 3) меньше, чем $2,5 \cdot 10^{-3}$ (для III класса), т. е. уровень риска аварии донного водовыпуска является приемлемым (допустимым).

Список использованных источников

1 Олиферов, А. Н. Реки и озера Крыма / А. Н. Олиферов, З. В. Тимченко. – Симферополь: Доля, 2005. – 216 с.

2 Методические рекомендации по оценке риска аварий на гидротехнических сооружениях водного хозяйства и промышленности. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ДАР/ВОДГЕО, 2009. – 64 с.

УДК 626.823.91.004.57:678.7

А. Ю. Гарбуз

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

К ВОПРОСУ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ТРЕЩИН ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ОБЛИЦОВАННЫХ КАНАЛОВ

В статье рассмотрены вопросы гидроизоляции малых повреждений (трещин) и продления жизненного цикла бетонных и железобетонных облицовок длительно работающих оросительных каналов путем применения современных строительных материалов. В кратком виде представлена технология восстановления бетонных облицовок, включающая перечень обязательных мероприятий. Проиллюстрированы бетонные облицовки Нижне-Манычского канала и Багаевской оросительной сети, характери-

зующиеся значительными повреждениями. Описывается наиболее распространенный частный случай защиты бетонных поверхностей действующего оросительного канала «жидкой резиной» и технология реконструкции, восстановления и ремонта бетонных конструкций путем нагнетания инъекционных материалов в трещины, швы, пустоты.

Ключевые слова: облицовки, оросительные каналы, противофильтрационные мероприятия, жидкие полимеры, водопроницаемость.

В настоящее время вопросы долговечности бетонных и железобетонных элементов гидротехнических сооружений и, особенно на оросительных системах являются важнейшей проблемой гидромелиоративного строительства. Как правило, на длительно функционирующих облицованных оросительных каналах имеется большое количество трещин и разрушенных швов, через которые происходят значительные утечки воды, т. е. облицовки становятся водопроницаемыми [1, 2]. Для того чтобы исключить дальнейшее разрушение бетонных облицовок и уменьшить потери воды из каналов оросительных систем, необходима разработка технологий создания противофильтрационных покрытий из материалов, обеспечивающих надежную защиту, водонепроницаемость и долговечность.

Благодаря использованию современных строительных материалов на основе полимеров (согласно классификации геосинтетических и композитных, применяемых для противофильтрационных и дренажных целей [3]) становится возможным минимизировать потери воды на фильтрацию за счет надежности, гибкости и долговечности таких покрытий, достигающей 70–150 лет, при сравнительной их экономичности, а также повысить КПД каналов практически до 1,0 (за исключением потерь только на испарение и сбросы).

При выборе защитных покрытий на оросительных каналах решающее значение имеет обоснование наиболее эффективных и экономичных конструкций применительно к конкретной трассе канала с учетом грунтовых, гидрогеологических и климатических условий.

На поверхности бетонных облицовок встречаются длинные продольные и поперечные трещины. Продольные трещины, как правило, появляются в нижней половине плит монолитной облицовки в среднем на высоте 1/3 откоса канала. В глубоких каналах продольные трещины образуются и в зоне уреза воды. Для восстановления и предотвращения дальнейшего появления различных дефектов проводится текущий ремонт участков каналов.

Технология восстановления бетонных облицовок длительно работающих каналов включает проведение комплекса мероприятий [4] и следующие обязательные операции:

- механическую зачистку бетонной поверхности облицованного канала;
- обеспыливание и обезжиривание поверхности бетона;
- нанесение клеящего полимерного состава;
- восстановление повреждений укладкой «нового» бетона;
- нанесение на поверхность полимерного композиционного материала.

При этом в случае наличия небольших повреждений, представленных в виде раковин, трещин, неровностей, возможно нанесение композиционных полимеров без предварительной заделки повреждений бетоном [5].

Применение обычных цементно-песчаных растворов для заделки повреждений бетонных поверхностей, как показала практика [4], недостаточно эффективно по следующим причинам: такие растворы не обладают высокой степенью водонепроницаемости и стойкостью к агрессивным воздействиям, растворы характеризуются длительными сроками твердения.

Различные обследования облицовок каналов многих специалистов позволили выявить характерные повреждения покрытий, установить причины их возникновения, предусмотреть проведение некоторых мероприятий по их устранению и предупреждению (рисунок 1) [5].



Рисунок 1 – Вид ложа и откосов Нижне-Манычского канала

По всей протяженности канала наблюдаются просадки и оползание плит. По дну и на откосах канала зафиксировано прорастание водной растительности через бетонную облицовку. На плитах НПК, выполняющих роль защитного покрытия, имеются трещины, сколы по контуру, оголение арматуры.

Для облицованных русел каналов Бг-Р-7 (рисунок 2) характерны нарушения, связанные с деформациями плит облицовки под воздействием водного потока, разрушение швов и поверхности бетона, а также выбоины и сколы из-за длительной эксплуатации канала [5]. Нарушения и деформации обуславливают высокие значения коэффициента шероховатости (до значений $n=0,0223\div 0,0299$) и низкий показатель КПД (0,82–0,85) этих каналов. Это связано с малой толщиной используемого противofильтрационного элемента и устаревшей конструкцией покрытия.

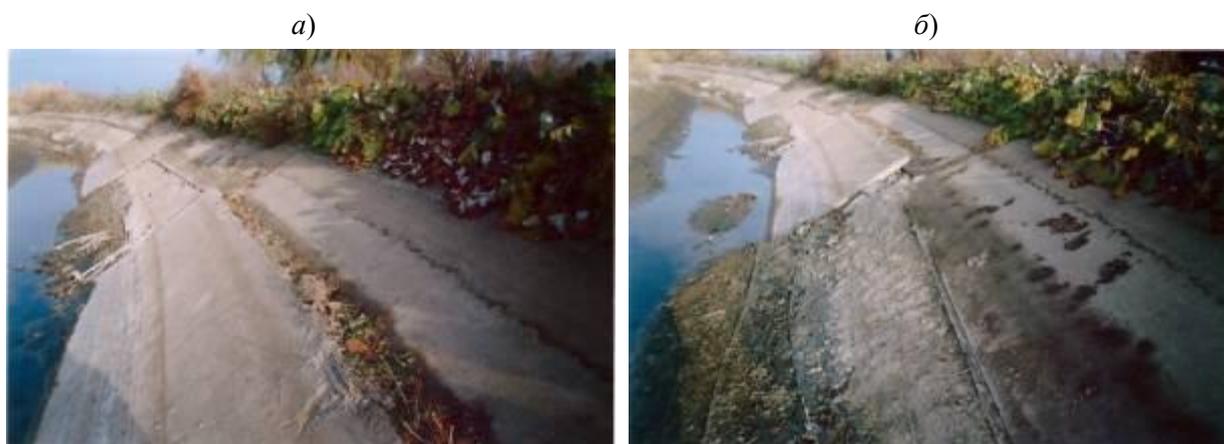


Рисунок 2 – Повреждения бетонной облицовки и деформационных швов участка канала Бг-Р-7

Большая часть каналов выполнена с применением устаревших полиэтиленовых пленок, что при отсутствии своевременной реконструкции приводит к значительным потерям воды через повреждения защитного слоя. Полная замена облицовочных плит каналов является слишком затратной и требует специальной техники для демонтажа и укладки новых. Однако для ремонта этих повреждений разработан ряд отечественных полимерных материалов, которые способны проникать в самые различные виды трещин и закупоривать их, герметизировать швы, а также уменьшать шероховатость бетонной поверхности облицовки.

Применение полимерных композиций является одним из перспективных направлений защиты бетонных конструкций облицовок от агрессивного воздействия, а также

их ремонта и противофильтрационной защиты. Широкое распространение получают полимерные материалы проникающего действия, так как они имеют повышенную химическую и абразивную стойкость [6].

Описать все существующие защитные полимерные материалы практически невозможно, так как с каждым годом их количество увеличивается. На сегодняшний день уже имеются некоторые технические решения в виде конструкций противофильтрационных экранов с использованием композиционных стабилизаторов (на примере полимерной эмульсии «М 10 + 50») для закрепления грунтовых поверхностей [7]. Такие конструкции покрытий целесообразно применять для защиты от оползания откосов мелиоративных каналов, выполненных в земляном русле.

Рассмотрим наиболее распространенный частный случай: защита бетонных поверхностей действующего оросительного канала «жидкой резиной».

Наиболее известным отечественным композиционным материалом является «жидкая резина» [8], отличающаяся высокой эластичностью и предельной прочностью, что позволяет предотвратить ее отслаивание от поверхности в результате неблагоприятных воздействий давления воды, циклических изменений температуры, резких ударов и вибрации. Данный материал представляет собой монолитную бесшовную мембрану, которая плотно прилегает и входит в сцепление по всей площади поверхности бетона, напыляемое покрытие выдерживает ультрафиолетовое излучение и высокие температуры, а также имеет физическую память при растяжении и способно восстанавливать свои исходные размеры.

Полимерный материал «жидкая резина» подразделяется на три вида:

- наливная, изготавливается и формируется на месте укладки;
- окрасочная, выполняется нанесением пленкообразующих и пастообразных материалов;
- напыляемая, наносится на поверхность методом напыления с использованием специального оборудования (рисунок 3).



а) отечественное оборудование для жидкой резины RS (Rubber Spray);

б) напыление жидкой резины на оросительном канале

Рисунок 3 – Наносимая на поверхность методом напыления «жидкая резина» с использованием специального отечественного оборудования

Жидкая резина отличается от рулонных материалов эластичностью (коэффициент предельного удлинения больше 1000 %) и высоким пределом прочности, это свойство предотвращает возможность отслаивания материала от поверхности вследствие циклических изменений температуры, давления воды, вибрации и резких ударов. После набора механической прочности материала мембрана не становится хрупкой и ломкой, напротив, со временем она становится только тверже, сохраняя при этом эластичность. Материал обладает сопротивлением к гидростатическому напору (23,5 атм при толщине 1,5–2,0 мм). Жидкая резина является современной альтернативой всем рулонным мембранным покрытиям, наносимым горячим методом [5].

Другим перспективным и высокоэффективным методом ремонта и восстановления бетонных поверхностей является технология инъектирования, при ее использовании не требуются капитальные работы и, соответственно, связанные с ними временные, трудовые и материальные затраты. В первую очередь это касается восстановления проектных значений бетонных поверхностей: устранение прямой фильтрации, влаги и активных протечек, гидроизоляция «холодных» швов, устройство горизонтальной отсечной гидроизоляции, устройство противofильтрационных завес и т. п.

Главным преимуществом технологий инъектирования является возможность изменять эксплуатационно-технические характеристики бетонной поверхности, преобразовывая физико-химические показатели внутренней структуры конструкции.

Реконструкция, восстановление и ремонт бетонных сооружений по данной технологии, то есть путем нагнетания инъекционных материалов в трещины, швы, пустоты и поры осуществляются через предварительно установленные пакеры (инъекторы), показанные на рисунке 4 [9]. Полимерные материалы не только восстанавливают целостность, но и склеивают части конструкции, способствуя нормальной передаче внутренних усилий в ней самой.



Рисунок 4 – Общий вид предварительно установленных инъекторов для нагнетания инъекционных материалов в трещину железобетонной конструкции

На рисунке 4 видно как происходит заполнение трещин, швов, пустот и пор полимерными материалами. Распространяясь в теле конструкции, они делают бетон надежнее, прочно скрепляя и герметизируя даже самые тонкие трещины.

Данная технология зарекомендовала себя как эффективный метод восстановления эксплуатационных характеристик бетонных конструкций, обеспечения водонепроницаемости, а также ремонта различных видов трещин. При выборе материала для инъектирования следует объективно учитывать большое количество технических и эксплуатационных требований к конкретному объекту. При правильно выбранных полимерных материалах для инъектирования и соблюдении технологий их нанесения на бетонные поверхности каналов, они способны значительно увеличить долговечность конструкций облицовки, а также снизить затраты на их ремонт.

Таким образом, для обеспечения водонепроницаемости бетонных и железобетонных облицовок длительно работающих каналов, имеющих незначительные повреждения в виде трещин и раковин, а также для продления их жизненного цикла [10] необходимо нанесение на поверхность бетона жидких композиционных материалов.

Выводы

1 Применение композиционных материалов для ремонта бетонных облицовок позволяет не только обеспечить водонепроницаемость, но и увеличить модуль упругости и характеристики прочности бетона. Укрепленные таким способом бетонные облицовки будут обладать не только высокой прочностью, но и морозостойкостью и водостойкостью.

2 Композиционные материалы, применяющиеся для ремонта бетонных сооружений и ликвидации зон фильтрации, отличаются от других технологий высокой скоростью набора механической прочности, а также достижением больших значений механического сцепления композиции с поверхностью бетона. Себестоимость работ при использовании этих материалов для водонепроницаемости бетонных поверхностей в сравнении с традиционными методами значительно ниже.

Список использованных источников

1 Алтунин, Г. С. Ремонтно-восстановительные работы на оросительных и осушительных сетях и сооружениях: информационный обзор / Г. С. Алтунин, С. К. Вишневецкая. – М., 2000. – 247 с.

2 Косиченко, Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 2(06). – 9 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=100&id=108>.

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

4 Ищенко, А. В. Повышение эффективности и надежности противofiltrационных облицовок оросительных каналов: монография / А. В. Ищенко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2006. – С. 179–185.

5 Козлов, В. В. Гидроизоляционные материалы: науч. изд. / В. В. Козлов, В. П. Камсков. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 240 с.

6 Косиченко, Ю. М. Надежность каналов и водоемов с облицовкой из пленочных материалов и геомембран / Ю. М. Косиченко, М. А. Чернов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 37–40.

7 Баев, О. А. Противofiltrационные покрытия с применением бентонитовых матов для накопителей жидких отходов [Электронный ресурс] / О. А. Баев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 3(11). – 10 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=188&id=199>.

8 Гарбуз, А. Ю. Обеспечение водонепроницаемости облицовок оросительных каналов за счет применения жидких полимеров / А. Ю. Гарбуз // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 56. – Ч. 1. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – С. 21–29.

9 Александрян, Э. П. Восстановление и усиление бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений методом инъектирования полимеррастворов / Э. П. Александрян // Экспресс-информация. – ЦНТИ, 1993. – № 14. – 22 с.

10 Бандурин, М. А. Совершенствование методов продления жизненного цикла технического состояния длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Инженерный вестник Дона. – Электрон. журн. – 2013. – № 1. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1510>.

УДК 626.823.91

О. А. Баев

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

В. А. Яковлев

Общество с ограниченной ответственностью «БентИзол», Курган, Российская Федерация

ГАРАНТИРОВАННАЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННАЯ ЗАЩИТА И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГЕОКОМПОЗИТОВ В РОССИИ

В статье рассмотрены вопросы применения отечественных геокомпозитных материалов на объектах водохозяйственного и природоохранного назначения Российской Федерации. Обозначены основные недостатки и преимущества противofильтрационных покрытий, выполняемых из полимерных геомембран и геокомпозитных материалов, представлены сравнительные показатели трех основных типов экранов (из суглинка, геомембраны и геокомпозитов). На основании имеющихся количественных данных о повреждаемости геомембран приведены примеры дефектов, которые наиболее часто возникают в полимерных экранах. Выявлены некоторые ограничения по применению полимерных геомембран. Рассмотрен опыт гидроизоляции различных объектов отечественными геокомпозитными материалами «БентИзол».

Ключевые слова: противofильтрационная защита, фильтрация, геокомпозитные материалы, бентонитовые маты, геомембраны.

В настоящее время на рынке Российской Федерации представлен большой ассортимент противofильтрационных геокомпозитных материалов (геокомпозитов) отечественных и зарубежных производителей, которые нашли наиболее широкое применение в Европе [1]. Особенно значительный опыт их использования накоплен в таких странах, как Германия, США, Польша, Франция, которые еще с 80-х гг. XX в. начали разрабатывать и в последующем применять геокомпозитные технологии для решения различных проблем, возникающих главным образом при строительстве и эксплуатации накопителей отходов [1, 2].

Многие зарубежные компании вышли на российский рынок со своими геокомпозитными материалами, которые успешно внедряются при строительстве объектов водохозяйственного (каналов, водоемов, резервуаров и др.) и природоохранного (накопителей и полигонов захоронения отходов) комплексов, чего до сегодняшнего дня нельзя было с уверенностью сказать об отечественных производителях геокомпозитов.

Немного лучше обстоит дело с противofильтрационными полимерными геомембранами (в том числе отечественного производства), которые намного раньше нашли широкое применение в конструкциях противofильтрационных покрытий (ПФП) каналов, водоемов и накопителей.

Основными предъявляемыми к геомембранам и методам их испытаний техническими требованиями, которые в настоящее время регламентируются национальным стандартом Российской Федерации [3], являются отсутствие трещин, складок, разрывов и отверстий в геомембранах, то есть их полная герметичность, однако достичь этого при строительстве противofильтрационного экрана из геомембраны практически невозможно [4].

Исходя из вышеизложенного, а также имеющегося опыта строительства ПФП и проведенных исследований [5], можно сделать однозначный вывод о том, что устройство экранов из геомембраны на особо важных сооружениях (например, накопителей опасных отходов) не позволяет обеспечить полной герметичности.

Приведем примеры дефектов, которые наиболее часто возникают на ПФП

из геомембраны [6]: проколы от острых и крупных включений, воздействий водной растительности; повреждения и вмятины (от камней) при устройстве защитного слоя; повреждения строительной техникой (зубьями экскаватора или отвалом бульдозера); провары (прожоги) при соединении отдельных полотнищ; дефекты, появляющиеся вследствие больших перепадов температуры окружающей среды. Кроме того, все полимерные геомембраны подвержены температурным деформациям, то есть при нагревании они удлиняются, а при охлаждении – укорачиваются (например, сокращение линейных размеров полиэтиленовой пленки при разности температур около 50 °С составляет до 1 м на каждые 100 пог. м [4]).

Как показали полевые исследования, выполненные американскими учеными J. P. Giroud и R. Vonarparte, даже самые незначительные повреждения полимерной геомембраны могут оказать существенное влияние на водопроницаемость противодиффузионного экрана [5]. Согласно J. P. Giroud, типичными для геомембран являются повреждения размером около 0,1 см², наибольшее число которых было обнаружено на площади 0,4 га (таблица 1) [5].

Таблица 1 – Виды повреждений полимерных геомембран и их размеры по данным J. P. Giroud [5]

Размер повреждения, см ²	Вид и количество повреждений в геомембране				
	от камней	от строительной техники	дефекты на сварных швах	порезы	от действий рабочих
< 0,5	33	-	115	5	-
0,5–2,0	1720	41	105	36	195
2,0–10,0	848	117	30	18	36
> 10,0	90	496	15	-	-
Кол-во, шт.	2691	654	265	59	231

По данным, приведенным в таблице 1, можно определить фильтрационный расход через повреждения в противодиффузионном экране из геомембраны, используя уточненные теоретические зависимости Ю. М. Косиченко и О. А. Баева [7].

На основе результатов проведенных исследований и представленных данных можно сделать вывод о том, что полимерные геомембраны без применения защитных прокладок из геотекстиля не способны обеспечить гарантированную противодиффузионную защиту (полную герметичность, неповреждаемость и водонепроницаемость ПФП). Особенно это касается накопителей бытовых и промышленных отходов, где возможны различные повреждения от складываемого и уплотняемого материала.

С другой стороны, немаловажным является и тот факт, что полимерные геомембраны, в отличие от некоторых видов геокомпозитов, возможно применять без устройства защитных покрытий (при соответствующем обосновании), что является их существенным преимуществом [8]. Так, для снижения шероховатости грунтовой поверхности и повышения пропускной способности полимерные геомембраны могут использоваться на оросительных каналах без защитных слоев. Наглядным примером служит зарубежный опыт строительства поверхностных (открытых) экранов из геомембран на оросительных каналах, что и было сделано в 2005 г. в Индонезии на ирригационном канале Удаяна.

Противодиффузионная защита на водохозяйственных объектах может также обеспечиваться благодаря использованию и других современных противодиффузионных материалов – жидких полимерных композиций [9], которые пока не нашли широкого применения и требуют детального изучения и должного обоснования.

Согласно обобщенной и усовершенствованной классификации геосинтетических материалов [10], для обеспечения гарантированной противодиффузионной защиты сооружений водохозяйственного и особенно природоохранного назначения (накопителей отходов) необходимо применение двух- и трехкомпонентных материалов, соединенных

в заводских условиях в единый геокомпозит. Такие материалы открывают не только возможности для разработки новых конструкций ПФП, но и могут использоваться практически в любых климатических условиях [4]. Совокупные расходы на изготовление изоляции на основе бентонита и ее монтаж на объектах несколько ниже, особенно если в проекте предусматривается система контроля ПФП из полимерного материала [6].

В таблице 2 приведены сравнительные показатели трех основных типов ПФП: из минерального грунта (суглинка, выполненного по типу «глиняный замок»), полимерной геомембраны и геокомпозитов (на примере бентонитовых матов) [11].

Таблица 2 – Сравнительные показатели ПФП

Показатель сравнения	Минеральная изоляция	Геомембрана	Геокомпозитный бентонитовый мат
Показатель водопроницаемости, см/с	10^{-7}	10^{-9}	10^{-11}
Срок службы покрытия	До 15 лет	До 50 лет	75–100 лет
Устойчивость при деформациях сооружения	Высокая	Низкая	Высокая
Степень гидроизоляционной защиты	Высокая, до 5 лет эксплуатации	Высокая, при обязательном применении слоя глины не менее 0,3 м или 2-х слоев геотекстиля	Высокая, с возможностью «самовосстанавливаться» при повреждениях
Трудоемкость	Высокая	Высокая	Низкая
Температура монтажа	От плюс 5 до плюс 45 °С	От минус 0 до плюс 40 °С	От минус 45 до плюс 45 °С

Наряду с существенными преимуществами, геокомпозиты на основе бентонита имеют некоторые ограничения по применению на накопителях отходов [12]. Это связано с тем, что Na-бентонит в сильнокислой и сильнощелочной среде практически не гидратирует, и в целом экран не будет выполнять свои функции, поэтому использование таких геокомпозитов должно быть тщательно обосновано.

Говоря о применении геокомпозитов на основе бентонита в России, следует отметить, что рынок этих материалов начал активно формироваться в начале XXI в. в основном за счет продукции импортных компаний-производителей («Naue», «Cagri», «Cetco», «Terram» и др.). Однако за последние семь лет импорт данных материалов значительно сократился, т. к. начался активный рост внутреннего рынка, а сложившаяся политическая и экономическая обстановка в мире поспособствовала большему обращению к отечественному производителю [6].

Так, например, на Донском магистральном канале (ДМК) в Ростовской области в условиях повышенной влажности (инфильтрация грунтовых вод в канал) в 2013 г. была проведена реконструкция одного из участков канала, заключающаяся в устройстве противофильтрационного экрана на площади 1,6 га [13, 14]. По результатам проведенных обследований (в 2015 г.) учеными ФГБНУ «РосНИИПМ» под руководством проф. Ю. М. Косиченко было выявлено, что выполненный противофильтрационный экран успешно справляется с поставленными задачами, не наблюдаются ранее присутствующие негативные явления: оплывы откосов, выход на поверхность грунтовых вод вблизи канала, заболачивание прилегающих территорий. Единственным недостатком, обнаруженным на ПФП, было отсутствие защитного слоя на небольших участках геокомпозитного полотна, что в последующем привело к вымыву бентонита в нижележащие горизонты.

Далее рассмотрим опыт гидроизоляции различных объектов отечественными геокомпозитными материалами «БентИзол», которые представляют собой сочетание противофильтрационного элемента (бентонита) с покрывающими и армирующими по-

лотнищами из геотекстиля или геомембраны. Так, при строительстве рекреационного водоема в г. Казани для снижения потерь воды на фильтрацию было выполнено ПФП из геокомпозитных материалов «БентИзол» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Строительство рекреационного водоема в г. Казани с экраном из геокомпозитов «БентИзол» (автор фото В. А. Яковлев)

Для целей рыбоводства в г. Екатеринбурге была использована комбинированная конструкция ПФП с бентонитовыми матами из геотекстиля и полотнищами геомембраны, которая включает устройство на крутых откосах защитного покрытия из георешетки с последующим заполнением ее щебнем (рисунок 2).



Рисунок 2 – Комбинированный противофильтрационный экран в г. Екатеринбурге для нужд рыбоводства (автор фото В. А. Яковлев)

В 2015 г. при очередной реконструкции ДМК в Ростовской области на участке протяженностью 500 м нашли применение бентонитовые маты «БентИзол» (рисунок 3), которые укалывались в сложных инженерных условиях (при обильно насыщенном водой грунтовом основании).



Рисунок 3 – Реконструкция участка Донского магистрального канала геокомпозитами «БентИзол» (автор фото В. А. Яковлев)

Кроме того, считаем необходимым отметить успешный опыт выполнения противофильтрационного экрана из геокомпозитных бентонитовых матов при строительстве шламоамбара в Якутии при температуре минус 35 °С.

Таким образом, с уверенностью можно сказать, что геокомпозитные материалы (в том числе и отечественного производства) на основе бентонита являются качественной и гарантированной альтернативой не только грунтовым ПФП, но и экранам из полимерных геомембран, которые зачастую не применимы. При этом геокомпозиты могут использоваться как единственный многокомпонентный элемент, выполняя несколько функций одновременно – гидроизоляцию, защиту от механических повреждений, армирование и дренирование.

Список использованных источников

1 Прямицкий, А. В. Европейский опыт использования геосинтетических материалов в строительстве хранилищ отходов / А. В. Прямицкий, Ю. Шлее // Гидротехника XXI век. – 2010. – № 1. – С. 52–55.

2 Баев О. А. Зарубежный и отечественный опыт применения бентонитовых матов в противofильтрационных экранах оросительных каналов и накопителей / О. А. Баев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 54. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – С. 6–14.

3 ГОСТ Р 56586-2015. Геомембраны гидроизоляционные полиэтиленовые рулонные. Технические условия. – Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 14 с.

4 Яковлев, В. А. Проблемы устройства противofильтрационных экранов на мерзлых и вечномёрзлых грунтах / В. А. Яковлев, О. Н. Степанов // Бурение и нефть. – 2016. – № 4. – С. 54–59.

5 Giroud, J. P. Equations for Calculating the Rate of Liquid Migration Through Composite Liners Due to Geomembrane Defects / J. P. Giroud // Geosynthetics international. – 1977. – № 4. – P. 335–348.

6 Яковлев, В. А. Бентонитовые маты BentIzol / В. А. Яковлев // Транспортная стратегия – XXI век. – 2015. – № 9. – С. 72–73.

7 Косиченко, Ю. М. Теоретическая оценка водопроницаемости противofильтрационной облицовки нарушенной сплошности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион / Серия: Технические науки. – 2014. – № 3(178). – С. 68–74.

8 Ляпина, О. Ю. Геомембраны от инноваций – до стандарта / О. Ю. Ляпина // Сфера. Нефть и газ. – 2015. – № 4(48). – С. 102–105.

9 Гарбуз, А. Ю. Обеспечение водонепроницаемости облицовок оросительных каналов за счет применения жидких полимеров / А. Ю. Гарбуз // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 56. – Ч. 1. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – С. 21–29.

10 Косиченко, Ю. М. Классификация геосинтетических материалов и их применение для противofильтрационных 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.

11 Баев, О. А. Противofильтрационные покрытия с применением бентонитовых матов для накопителей жидких отходов [Электронный ресурс] / О. А. Баев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 3(11). – 10 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=188&id=199>.

12 Завьялов, С. В. Геосинтетика на основе бентонита / С. В. Завьялов // Гидротехника. – 2014. – № 2(35). – С. 52–55.

13 Перельгин, А. И. Об эксплуатации крупных каналов в условиях реконструкции / А. И. Перельгин, А. В. Белов // Гидротехника. – 2014. – № 2(35). – С. 50–51.

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

УДК 626.823.54

А. И. Тищенко, Е. Д. Михайлов

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

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КРЕПЛЕНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗЕРВНОГО ВОДОСБРОСА

Целью исследований являлось получение теоретических зависимостей по определению прочности и устойчивости основных конструктивных элементов резервного водосброса с грунтовой вставкой. Для достижения поставленной цели применены статические законы классической механики. При помощи уравнений статики установлены усилия, которые может выдержать анкер на срез и выдергивание. Определение нормальных и касательных напряжений осуществлялось в соответствии с СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции». По результатам статических расчетов можно найти минимальный предельный диаметр анкерного стержня, что подтверждает необходимость применения полученных зависимостей в оценке экономической эффективности при строительстве резервных водосбросов.

Ключевые слова: резервный водосброс, произвольная система сил, уравнения статики, касательное и нормальное напряжения, расчетное сопротивление.

Для обеспечения надежности конструкции резервного водосброса важную роль играет крепление геомембраны и геотекстиля, уложенных на верховой откос порога резервного водосброса с помощью системы анкеров и железобетонных плит, обеспечивающих дополнительную устойчивость полотна. При статическом положении системы сил, приложенных к твердому телу произвольно, необходимо и достаточно составить три уравнения равновесия [1, 2]. Схема сил, приложенных в точке O для определения устойчивости плиты к скольжению по наклонной плоскости и опрокидыванию вокруг точки O , приведена на рисунке 1. В этом случае уравнения равновесия имеют вид:

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum m_0(F_i) = 0, \quad (1)$$

где $\sum F_x = 0$ и $\sum F_y = 0$ – соответственно суммарные силы, действующие на анкер по горизонтальному OX и вертикальному OY направлениям, кН;

$\sum m_0(F_i)$ – сумма моментов от всех сил, действующих на анкер относительно точки O , кН·м.

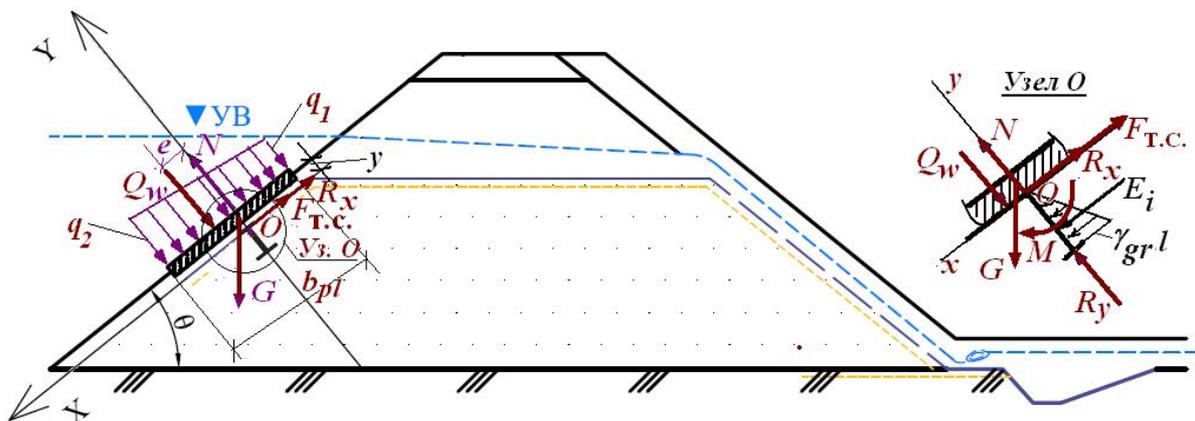


Рисунок 1 – Схема устойчивости системы на сдвиг и опрокидывание

Уравнение устойчивости системы на сдвиг по оси X $\sum F_{ix}$, кН, имеет следующий вид:

$$\sum F_{ix} = G_{pl} \sin \theta - F_{T.C.} - R_x + E_i = 0, \quad (2)$$

где G_{pl} – вес железобетонной плиты на верховом откосе, кН;

θ – угол заложения верхового откоса плотины, град;

$F_{T.C.}$ – сила трения скольжения между плитой и поверхностью геомембраны, кН;

R_x – горизонтальное усилие, действующее на анкер, кН;

E_i – сила давления грунта, действующая на анкер, кН.

Для расчета выделяем полосу шириной в 1 пог. м вдоль верхового откоса (рисунок 1). Сила трения скольжения $\sum F_{iy}$, кН, определяется с помощью второго уравнения системы уравнений (1) для схемы действия сил над точкой O :

$$\sum F_{iy} = N - G_{pl} \cos \theta - Q_w = 0, \quad (3)$$

откуда находим:

$$N = G_{pl} \cos \theta + Q_w, \quad (4)$$

где N – нормальная реакция к поверхности опоры, кН;

Q_w – гидростатическое давление воды на самую нижнюю плиту, кН.

$$F_{T.C.} = nN = n(G_{pl} \cos \theta + Q_w). \quad (5)$$

где n – коэффициент трения скольжения (коэффициент шероховатости) между железобетонной плитой и геомембраной.

Сила давления грунта E_i , кН/м, на один анкер длиной l определяется по следующей формуле:

$$E_i = 0,5 \gamma_{gr} l^2, \quad (6)$$

где γ_{gr} – удельный вес грунта, кН/м³;

l – длина анкера, м.

Из уравнения (2) определяем реакцию анкера (горизонтальное усилие, действующее на анкер):

$$R_x = G_{pl} \sin \theta - F_{T.C.} + E_i = G_{pl} \sin \theta - n(G_{pl} \cos \theta + Q_w) + 0,5 \gamma_{gr} l^2. \quad (7)$$

В формуле (7) давление воды на плиту Q_w , кН, определяется следующим образом:

$$Q_w = 0,5(q_1 + q_2) b_{pl} b = 0,5 \gamma_w b_{pl} b (h^2 + H^2) \cos \theta, \quad (8)$$

где q_1 – давление воды в начале плиты, кН/м;

q_2 – давление воды в конце плиты, кН/м;

b_{pl} – ширина плиты, м;

b – полоса шириной в 1 пог. м вдоль верхового откоса, м;

γ_w – удельный вес воды, кН/м³;

h – глубина воды над началом плиты крепления, м;

H – глубина воды над концом плиты крепления, м;

θ – угол заложения верхового откоса плотины, град.

Сила давления грунта, действующая на систему анкеров E , кН/м, определяется по формуле:

$$E = n_{an} E_i, \quad (9)$$

где n_{an} – количество анкеров на площади в 1 м², шт.;

E_i – сила давления грунта на один анкер в соответствии с формулой (6), кН/м.

Уравнение устойчивости системы на всплытие по оси Y $\sum F_y$, кН, имеет следующий вид:

$$\sum F_y = P + \sum G + F_{тр.у} - W_\phi - N', \quad (10)$$

где P – вертикальная составляющая силы гидростатического давления на водонепроницаемую часть верхового откоса, кН;

$\sum G$ – общий вес элементов конструкции, кН;

$F_{тр.у}$ – сила сцепления анкера с грунтом, препятствующая выдергиванию системы анкеров, кН;

W_ϕ – сила фильтрационного давления на участок верхового откоса, кН;

N' – продольное усилие в анкере, кН.

Для определения касательного напряжения $\tau_{bd,m}$, МПа, по оси Y (оценки сцепления) между анкером и грунтом воспользуемся формулой:

$$\tau_{bd,m} = \frac{N'}{\pi d l_{an}}, \quad (11)$$

где π – математическая константа, равная отношению длины окружности к длине ее диаметра, $\pi \approx 3,14$;

d – диаметр стержня анкера, м;

l_{an} – длина анкеровки, м.

Находим длину анкеровки l_{an} , м, учитывая, что минимальная длина анкера $l_{an,min} = 0,2-0,25$ м [3, 4]:

$$l_{an} = \left(\omega_{an} \frac{R_s}{R_{gr}} + \Delta\lambda_{an} \right) d \geq (15-20)d, \quad (12)$$

где $\omega_{an} = 0,8$ – коэффициент условий работы анкера;

R_s – расчетное сопротивление на сжатие стержня анкера, кН/см²;

R_{gr} – расчетное сопротивление грунта на сжатие, кН/см²;

$\Delta\lambda_{an} = 8$ – коэффициент запаса.

Сила сцепления анкера с грунтом $F_{тр.у}$, кН, препятствующая выдергиванию системы анкеров, определяется по формуле:

$$F_{тр.у} = n_{an.y} E_{тр.у.1}, \quad (13)$$

где $n_{an.y}$ – количество анкеров, обеспечивающих устойчивость системы на выдергивание, шт.;

$E_{тр.у.1}$ – сила трения, препятствующая выдергиванию одного анкера, кН.

Сила трения, препятствующая выдергиванию одного анкера $E_{тр.у.1}$, кН, определяется по следующей формуле:

$$E_{тр.у.1} = S_{an} E \operatorname{tg} \phi, \quad (14)$$

где S_{an} – площадь поверхности анкера, на которую действует сила сцепления, м²;

E – активное горизонтальное давление грунта, кН/м;

ϕ – угол внутреннего трения грунта, град.

На рисунке 2 представлена схема устойчивости системы на всплытие.

Площадь анкера по периметру S_{an} , м², определяется по следующей формуле:

$$S_{an} = \pi d_{an} l_{an}, \quad (15)$$

где d_{an} – диаметр стержня анкера, м.

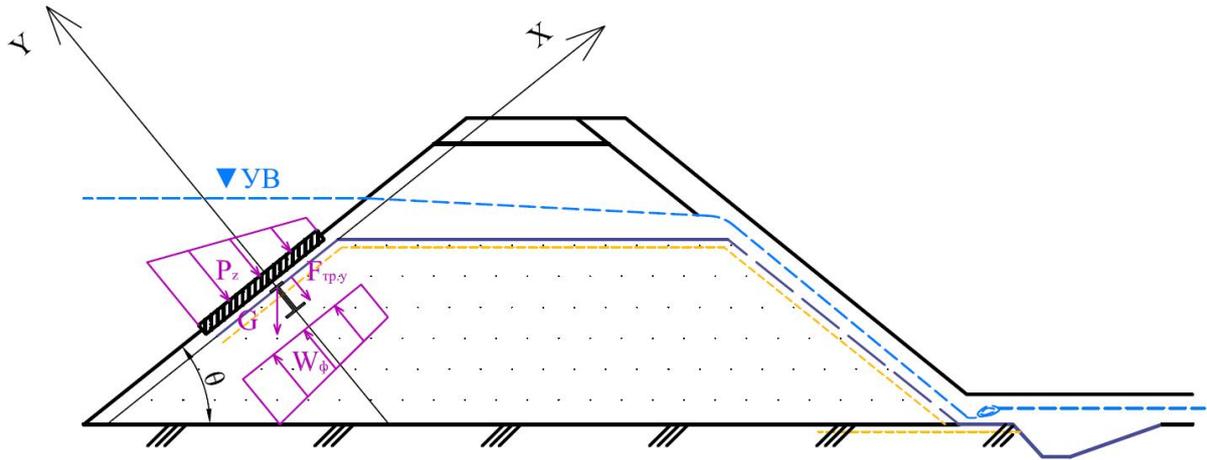


Рисунок 2 – Схема устойчивости системы на всплытие

Вес системы анкеров G_{an} , кН, определяется по следующей формуле:

$$G_{an} = n_{an} G_{an.y.1}, \quad (16)$$

где n_{an} – количество анкеров, шт.;

$G_{an.y.1}$ – вес одного анкера, кН.

Проекция на ось OY :

$$G_{an.y.1} = G_{an} \cos \theta. \quad (17)$$

$$G_{an.y.1} = \frac{\pi d_{an}^2}{4} l_{an} \rho_{an} \cos \theta, \quad (18)$$

где ρ_{an} – плотность материала анкера, кН/м³;

θ – угол наклона верхнего откоса порога резервного водосброса, град.

Вес железобетонных плит G_{pl} , кН, определяется по следующей формуле:

$$G_{pl} = n_{pl} G_{pl.y.1}. \quad (19)$$

где n_{pl} – количество плит, шт.;

$G_{pl.y.1}$ – вес одной плиты, кН.

Проекция на ось OY :

$$G_{pl.y.1} = G_{pl} \cos \theta, \quad (20)$$

$$G_{pl} = b_{pl} l_{pl} \rho_{pl} h_{pl}, \quad (21)$$

где b_{pl} – ширина железобетонной плиты, м;

l_{pl} – длина железобетонной плиты, м;

ρ_{pl} – плотность материала железобетонной плиты, кН/м³;

h_{pl} – толщина железобетонной плиты, м.

Вес геомембраны с учетом угла наклона G_{geom} , кН, определяется по следующей формуле:

$$G_{geom} = b_{geom} l_{geom} \rho_{geom} h_{geom} \cos \theta, \quad (22)$$

где b_{geom} – ширина геомембраны, м;

l_{geom} – длина геомембраны, м;

ρ_{geom} – плотность материала геомембраны, кН/м³;

h_{geom} – толщина геомембраны, м.

Вес геотекстиля (дорнита) с учетом угла наклона G_{geot} , кН, определяется по следующей формуле:

$$G_{geot} = b_{geot} l_{geot} \rho_{geot} h_{geot} \cos \theta, \quad (23)$$

где b_{geot} – ширина геотекстиля, м;

l_{geot} – длина геотекстиля, м;

ρ_{geot} – плотность материала геотекстиля, кН/м³;

h_{geot} – толщина геотекстиля, м.

Общий вес $\sum G$, кН, определяется по следующей формуле:

$$\sum G = G_{an.y} + G_{pl.y} + G_{geot} + G_{geom}. \quad (24)$$

Вертикальная составляющая силы гидростатического давления на водонепроницаемую часть верхового откоса порога резервного водосброса P , кН, (без учета толщины железобетонных плит, геомембраны и геотекстиля) определяется по зависимости:

$$P = \rho_w b_w l_w (h_w - (h_{pl} + h_{geom} + h_{geot})), \quad (25)$$

где ρ_w – плотность воды, кН/м³;

b_w – ширина участка водного потока, м;

l_w – длина участка водного потока, м;

h_w – глубина над участком водного потока в верхнем бьефе, м.

Силу фильтрационного давления на участок верхового откоса порога резервного водосбросного сооружения W_ϕ , кН, можно определить по следующей формуле:

$$W_\phi = \frac{1}{2} \rho_w b_\phi l_\phi z, \quad (26)$$

где b_ϕ – ширина участка фильтрационного потока, м;

l_ϕ – длина участка фильтрационного потока, м;

z – геометрический перепад равный разности отметок воды в верхнем и нижнем бьефах, м.

Железобетонные плиты и система анкеров должны обеспечить устойчивость геомембраны и геотекстиля на поверхности порога резервного водосброса.

Полученные теоретические зависимости (7), (21), (24)–(26) пригодны к определению основных характеристик устойчивости элементов бокового водосброса с грунтовой вставкой, однако необходима их проверка на практике.

Список использованных источников

1 Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М.: Высш. шк., 1986. – 416 с.

2 Инженерные конструкции: учеб. пособие для студентов вузов / В. А. Волосухин [и др.]; под. ред. В. А. Волосухина. – Новочеркасск, 2007. – 555 с.

3 Инженерные конструкции: учеб. для гидромелиор. спец. вузов / Р. И. Берген [и др.]; под. ред. Р. И. Бергена. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 415 с.

4 СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – М.: Минрегион России, 2010. – 178 с.

УДК 626/627

Д. Т. Палуанов

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент,
Республика Узбекистан

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ОСНОВАНИЯ НИЗКОНАПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В данной статье приводится расчет основания низконапорной плотины, имеющего в своем составе водонасыщенные грунты – пльвунуны, которые влияют на безопасность эксплуатации сооружения в целом. По полученным теоретическим зависимостям установлены критерии безопасности пльвунуна, с помощью которых можно произвести качественную оценку его движения в основании плотины под действием сил тяжести и гидродинамического давления фильтрационного потока воды.

Ключевые слова: модель, критерии безопасности, основание, низконапорные гидротехнические сооружения, грунт, пльвун, плотина.

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам строительства низконапорных гидротехнических сооружений, которые играют важную роль в гидротехнической практике, в том числе в рациональном использовании воды различными отраслями экономики страны, особенно в целях орошения сельскохозяйственных культур, водоснабжения и гидроэнергетики.

Вместе с этим существует достаточно большое количество ограничений при возведении низконапорных гидротехнических сооружений, связанных с отсутствием нормативно-технической и проектной документации для их строительства в сложных инженерно-геологических условиях, в частности при строительстве гидротехнических сооружений на пльвунунах, образовавшихся в результате разжижения грунтов за счет внешних сил. В этом случае следует учитывать движение пльвунуна и установить предельно допустимую нагрузку на него.

Известно, что правильный расчет нагрузки на основание гидротехнического сооружения при наличии в его составе пльвунунов является достаточно сложным процессом. Кроме того, из-за отсутствия мониторинговых исследований, должного технического обслуживания в настоящее время наблюдается снижение уровня безопасности многих отечественных сооружений.

В качестве примера можно привести аварию, произошедшую на водовыпускном сооружении Междуреченского водохранилища Республики Узбекистан. Плотина Междуреченского гидроузла – бетонная, высота сооружения – 8 м. Как показали результаты проведенных исследований, проектирование и строительство основания водовыпускного сооружения данного гидроузла проводились с выполнением условий КМК [1], но, несмотря на это, имела место авария, которая стала причиной его разрушения. Территория строительства сооружений характеризовалась сложными инженерно-геологическими условиями и ранее считалась непригодной для возведения подобных объектов.

Обследование разрушенного сооружения проводили ученые и компетентные в данной сфере специалисты, которые обозначили следующие возможные причины аварии гидроузла: недостаточная прочность бетона, появление механической суффозии, необоснованный выбор места строительства и закладки фундамента, низкая несущая способность грунта основания и др. Но по результатам проведенной экспертизы было выявлено, что разрушение произошло вследствие возникновения пльвунуна в основании сооружения.

Установлено, что пльвун обладает способностью к текучести. Поэтому опираясь на результаты проведенной экспертизы, автором сформулирована гипотеза причины

произошедшей аварии на плотине Междуреченского гидроузла, согласно которой равнодействующая сила тяжести и сила гидродинамического давления фильтрационного потока способствовали движению плывуна, в результате чего образовался выпор грунта из-под основания сооружения.

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим движение плывуна в основании низконапорного гидротехнического сооружения за счет его силы тяжести и гидродинамического давления фильтрационного потока воды.

Фактически движение плывуна зависит не только от геометрических характеристик сооружения, но и от таких факторов, как движущая сила плывуна со стороны верхнего бьефа P (кН), собственный вес сооружения G (кН), сила сопротивления плывуна со стороны нижнего бьефа F (кН), сила реакции водонепроницаемой части основания Ω (кН), кинематическая вязкость плывуна ν (м²/с), плотность воды ρ_v (кН/м³), плотность плывуна ρ_r (кН/м³) и удельный вес грунта между телом сооружения и плывуном γ (кН/м³).

Предполагается, что начальный объем плывуна V (м³) будет равен:

$$V = l_0 h b,$$

где l_0 – начальная длина, м;

h – толщина плывуна, м;

b – ширина, м.

Напор воды со стороны верхнего бьефа сооружений принимается H_1 (м), а напор воды со стороны нижнего бьефа – H_2 (м). Под действием силы тяжести сооружений и гидродинамического давления фильтрационного потока воды происходит перемещение плывуна в горизонтальном направлении в слое G_1 , где k – коэффициент фильтрации (м/сут) (рисунок 1).

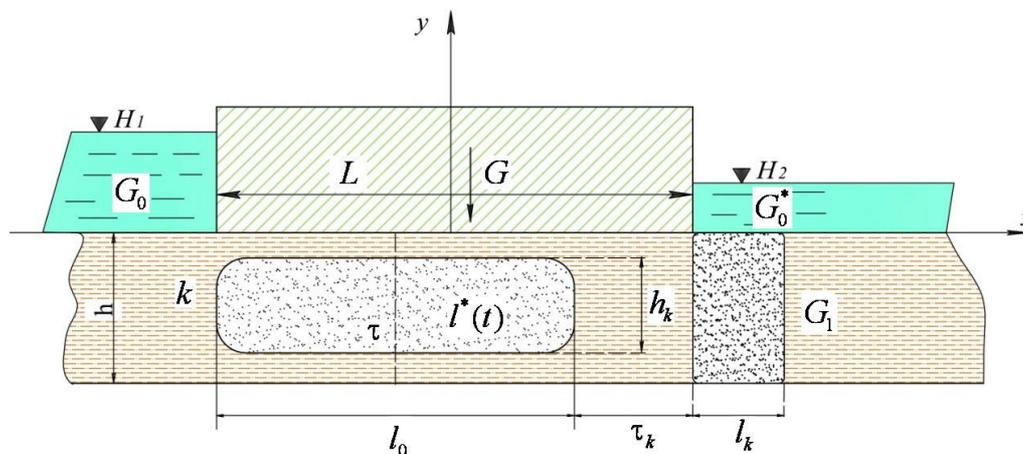


Рисунок 1 – Модель для расчета основания сооружений

Предполагается, что водонасыщенный грунт в области G_1 является упругой средой, и с помощью решения задачи о штампе [2] определяются: напряженное состояние плывуна, компоненты тензора напряжения и тензора деформации, а также перемещения каждой частицы плывуна. Расчеты показывают, что нормальное напряжение P_{yy} (Па) намного больше, чем напряжение по оси x – P_{xx} (Па) и касательное напряжение в плоскости x, y – P_{xy} (Па):

$$P_{yy} \gg \{P_{xx}, P_{xy}\}.$$

Проведенные числовые расчеты показывают, что плывун длиной $l(t)$ (м) под воздействием давления воды и сопротивления расположенного впереди слоя сжи-

мается, и возникает ползущее движение пльвуна, который перемещается в сторону нижнего бьефа. Когда движущаяся масса водонасыщенного грунта достигает границы водонепроницаемой части флотбета сооружения, происходит выпор грунта из-под основания сооружения.

Рассмотрим простейшую модель сжатия и переноса слоя водонасыщенного грунта из-под основания сооружения. В задаче о штампе определены перемещения частиц пльвуна. В связи с этим будем рассматривать движение несжимаемой водонасыщенной грунтовой массы (пльвуна) в области G_1 с длиной слоя $l(t)$.

Учитывая параметры сооружения и его основания, записываем силы, действующие на пльвун в следующем виде [3]:

- движущая сила $P = bh\rho_B(H_1 - H_2)g$;
- вес сооружения $G = f_{тр} P_{yy} bL - (L - l(t))\rho_r b h g$;
- сила сопротивления $F = \rho_r l_k h_k g b$;
- сила реакции водонепроницаемой части основания $\Omega = \tau_{xy} bL$.

Для равновесия пльвуна все силы, действующие на него, должны быть равными нулю. Поэтому, учитывая силы инерции, составим уравнение движения для центра пльвуна толщиной h , шириной b и длиной $l(t) = l_0 + l'(t)$:

$$\frac{1}{2} \rho_r l(t) b h \frac{d^2 l(t)}{dt^2} = bh\rho_B(H_1 - H_2)g - f_{тр} P_{yy} bL - (L - l(t))\rho_r b h g - \rho_r l_k h_k g b - \tau_{xy} bL. \quad (1)$$

Полностью пльвун не сжимается, в левой части уравнения (1) можно принять $l(t) \approx l_0$, и тогда уравнение имеет вид:

$$\frac{l(t)}{2} \frac{d^2 l(t)}{dt^2} = g \left[l(t) + \frac{\rho_B}{\rho_r} (H_1 - H_2) + f_{тр} \frac{P_{yy} L}{\rho_r g h} - \left(L - l_k h_k \frac{\rho_B}{\rho_r} \right) - \frac{\tau_{xy} L}{\rho_r g h} \right]. \quad (2)$$

Для облегчения решения задачи введем безразмерные величины:

$$\tau, \hat{l}(t), l(t) = l_0 \hat{l}(t), t = \sqrt{\frac{l_0}{g}} \tau, l_0 = h \hat{l}_0, l_k = l_0 \hat{l}_k, h_k = l_0 \hat{h}_k, H_1 = l_0 \hat{H}_1, H_2 = l_0 \hat{H}_2.$$

Теперь уравнение (2) следующее:

$$\frac{d^2 \hat{l}(t)}{d\tau^2} = \frac{\rho_B}{\rho_r} \hat{H}_1 + f_{тр} \frac{P_{yy} L}{\rho_r g l_0 b} + \hat{h} \hat{l}(\tau) - \left(\hat{L} + \hat{h}_2 \frac{\rho_B}{\rho_r} + \hat{l}_k \frac{\hat{h}_k}{\hat{h}} \right) + \hat{l}(\tau). \quad (3)$$

Первую часть уравнения (3) обозначаем D_1 , а левую – D_2 , то есть:

$$D_1 = \frac{\rho_B}{\rho_r} \hat{H}_1 + \frac{f_{тр} P_{yy} L}{\rho_r g l_0 b}; \quad D_2 = \frac{L}{l_0} + \hat{l}_k \hat{h}_k \frac{\rho_B}{\rho_r} \frac{1}{\hat{l}_0}. \quad (4)$$

Последнюю часть в уравнении (2) обозначаем как:

$$\hat{a}_0 = \left(1 - \frac{\tau_{xy} \hat{L}}{\rho_r g h} \right). \quad (5)$$

Полученное уравнение (5) является определяющим фактором, так называемым критерием безопасности пльвуна.

После введения обозначений уравнение (3) примет вид:

$$\frac{d^2 \hat{l}(t)}{d\tau^2} = \hat{a}_0 \hat{l}(t) + (D_1 - D_2). \quad (6)$$

Для решения уравнения (6) используем следующие начальные условия:

$$\left. \frac{d\hat{l}}{d\tau} \right|_{\tau=0} = 0, \quad \hat{l}(0) = 1, \quad (7)$$

а также уравнение скорости движения центра плывуна:

$$\frac{d^2 l(t)}{d\tau^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dl}{d\tau} \right) = \frac{dl(\tau)}{d\tau} = \frac{dl}{dl} \frac{dl}{d\tau} = l \frac{dl}{dl} = \frac{1}{2} \frac{d(l)^2}{dl}. \quad (8)$$

Проведем преобразование уравнения, введя новую функцию l , и получим равенство:

$$l(\tau) = \frac{dl(\tau)}{d\tau}. \quad (9)$$

Тогда уравнение (8) представим как:

$$\frac{d^2 l(\tau)}{d\tau^2} = \frac{1}{2} \frac{d(l(\tau)^2)}{dl(\tau)}.$$

Уравнение (6) примет вид:

$$\frac{1}{2} \frac{dl^2}{dl} = 2a_0 l + 2(D_1 - D_2), \quad (10)$$

разделяя по переменным, получим уравнение:

$$d(l)^2 = [2a_0 l(\tau) + 2(D_1 - D_2)] dl, \\ (l)^2 = 2a_0 l^2(\tau) + 4(D_1 - D_2)l(\tau) - 4(D_1 - D_2)a_0 l_0 - 2a_0 l_0^2.$$

Полученное уравнение можно записать:

$$l(\tau) = \pm \sqrt{a_0} \sqrt{l^2(\tau) + 2(D_1^* - D_2^*)l(\tau) - l_0^2 - 2(D_1^* - D_2^*)l_0}. \quad (11)$$

Так как скорость центра подвижного плывуна равна $l(\tau) = \frac{dl(\tau)}{d\tau}$, введем безразмерные параметры:

$$D_1^* = \frac{D_1}{a_0}, \quad D_2^* = \frac{D_2}{a_0}. \quad (12)$$

Уравнение (11) представим в виде:

$$l(\tau) = \frac{dl(\tau)}{d\tau} = \pm \sqrt{(l(\tau) - l_0)[l(\tau) + l_0 + 2(D_1^* - D_2^*)]} = \\ = \pm \sqrt{(l(\tau) + (D_1^* - D_2^*)) \sqrt{2a_0 - l_0(D_1^* - D_2^*)}}. \quad (13)$$

Введем переменную

$$\eta(\tau) = \hat{l}(\tau) + (D_1^* - D_2^*).$$

Тогда $\eta(0) = \hat{l}_0 + (D_1^* - D_2^*)$.

Теперь уравнение (13) выглядит как:

$$d\hat{l}(\tau) = \pm \sqrt{\eta(\tau)^2 - \eta_0^2} d\tau \sqrt{2a_0}. \quad (14)$$

Для интегрирования полученных уравнений проведем разделение переменных:

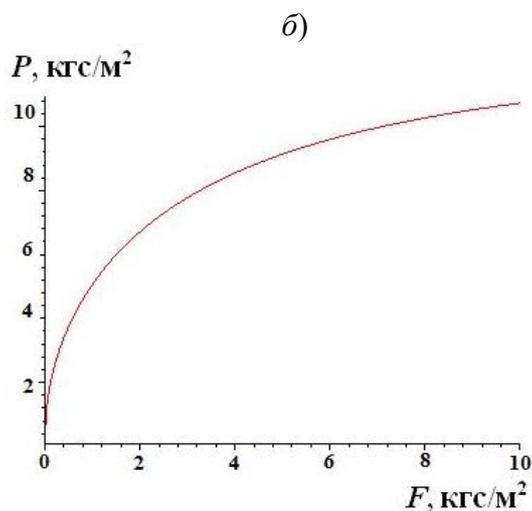
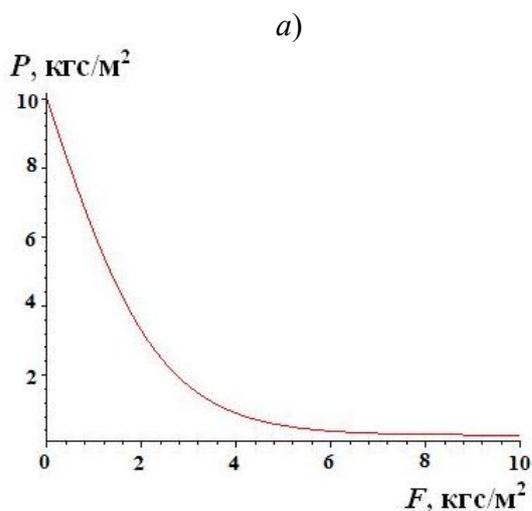
$$d\tau = \pm \sqrt{2} \sqrt{a_0} \frac{d\eta(\tau)}{\eta(\tau)^2 - \eta_0^2}. \quad (15)$$

Решение уравнения (5) с учетом уравнения (15) позволило установить следующее:

- если $a_0 > 0$, то $\rho_r gh > \tau_{xy}$, тогда $\eta(\tau) > \eta_0^2$ и $\hat{l}(\tau) > \hat{l}_0$, в этом случае наблюдается поступательное движение плывуна в сторону нижнего бьефа, что в последующем приведет к выпору грунта основания сооружения (рисунок 2).

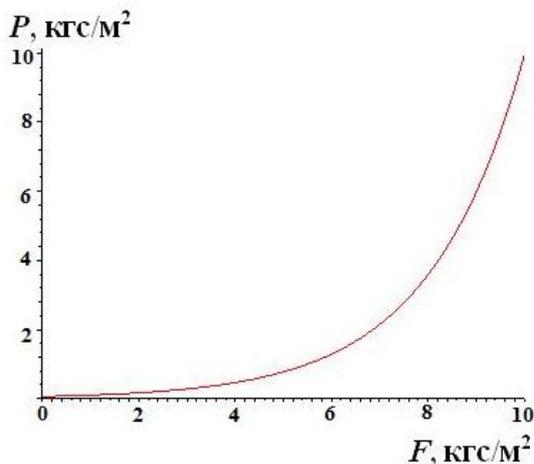
Анализ рисунка 2 показывает, что с увеличением уровня воды в верхнем бьефе возрастает сила фильтрационного давления, и это обстоятельство может привести к выпору грунта основания сооружения. Движение плывуна в течение времени не останавливается, и это означает, что необходимо принимать дополнительные меры по обеспечению устойчивости основания сооружения;

- если $a_0 < 0$, то $\rho_r gh < \tau_{xy}$, тогда $\eta_{(\tau)}^2 < \eta_0^2$ и $\hat{l}(\tau) < \hat{l}_0$, $\eta_0^2 - \eta_{(\tau)}^2 > 0$, в этом случае наблюдается устойчивое перемещение плывуна в основании сооружений (рисунок 3).



Анализируя рисунок 3, можно сделать вывод о том, что такой случай в гидротехническом строительстве вообще не встречается, так как силы, действующие со стороны нижнего бьефа, не будут больше сил, действующих со стороны верхнего бьефа. Однако в данном случае обеспечивается устойчивость основания сооружения;

- если $a_0 = 0$, то $\rho_r gh = \tau_{xy}$, тогда $\eta_{(\tau)}^2 = \eta_0^2$ и $\hat{l}(\tau) = \hat{l}_0$, в данном случае вес сооружения и гидродинамическое давление воды приведет к равновесному состоянию плывуна в основании сооружения (рисунок 4).



Как показано на рисунке 4, равновесие движущих сил и сил сопротивления обеспечивает устойчивость основания сооружения во времени, однако данный случай также не встречается в гидротехнике.

Вывод. По результатам проведенных теоретических исследований установлены критерии безопасности плывуна, с помощью которых можно произвести качественную оценку его движения в основании плотины под действием сил тяжести и гидродинамического давления фильтрационного потока воды.

Список использованных источников

- 1 КМК 2.02.02-98. Основания гидротехнических сооружений. – Ташкент, 1998. – 126 с.
- 2 Седов, Л. И. Механика сплошной среды / Л. И. Седов. – В 2 т. – М.: Наука, 1976. – Т. 2. – 574 с.
- 3 Палуанов, Д. Т. Установление критериев безопасности основания гидротехнических сооружений / Д. Т. Палуанов // Сборник научных трудов конференции, посвященной 85-летию САНИИРИ. – Ташкент, 2010. – С. 178–183.

УДК 627.831:532.5-1/-9

А. И. Тищенко, Е. Д. Михайлов

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА ПРИ РАЗМЫВЕ ПЕСЧАНОЙ ВСТАВКИ РЕЗЕРВНОГО ВОДОСБРОСА

Цель работы – исследовать транспортирующую способность потока при размыве песчаной вставки резервного водосброса. Для решения данной задачи были использованы общепринятые методы гидравлических расчетов. При этом в работе описан механизм размыва грунта вставки при воздействии поверхностного потока. В статье представлены экспериментальные данные расходов наносов, полученные в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений и строительной механики НИМИ им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО ДГАУ. С помощью теории планирования эксперимента получена полуэмпирическая зависимость для определения транспортирующей способности потока при размыве песчаной вставки резервного водосброса.

Ключевые слова: резервный водосброс, транспортирующая способность потока, песчаная вставка, гидротехнические сооружения, грунтовая плотина.

Исследования водосбросов с переливом через гребень грунтовых плотин были впервые начаты в 50-е гг. прошлого столетия в НИУ МГСУ П. И. Гордиенко и продолжены Ю. П. Правдивцем и другими исследователями [1, 2].

Как отмечается в работе Г. К. Дерюгина [3], актуальность безопасности низконапорных гидроузлов подтверждается тем, что около 44 % грунтовых плотин разрушилось из-за недостаточной пропускной способности водосбросных сооружений. Это связано с заилением прудов и водохранилищ, вследствие чего происходит уменьшение их регулирующей емкости и увеличение сбросных расходов воды при паводках [4–6]. Интерес к исследованию данного вопроса связан с идеей обеспечения необходимой пропускной способностью низконапорные гидроузлы. Для решения такой задачи рекомендуется включать в их состав резервные водосбросы с размываемой грунтовой вставкой в дополнение к основным водосбросным сооружениям [7].

Резервный водосброс представляет собой водосливной порог, на который сверху уложены защитное покрытие из геомембраны и размываемая грунтовая вставка. Принцип работы резервного водосброса заключается в том, что когда основной водосброс не справляется с пропуском паводка расчетной обеспеченности, то происходит аккумуляция воды в водоеме и в определенный момент времени, когда уровень воды достигнет форсированного подпорного уровня (ФПУ), произойдет перелив через гребень вставки водного потока и ее размыв [8, 9].

Целью данной работы являлось определение основных гидравлических характеристик при размыве грунтовой вставки водосброса. Основная задача при исследовании любого процесса размыва состоит в нахождении зависимости по определению транс-

портирующей способности потока, которая обуславливается не только гидравлическими характеристиками потока, но и количеством, составом, размером, формой частиц и другими свойствами грунта. Учет всех этих факторов представляет значительные трудности, чем и объясняется наличие большого числа формул по определению транспортирующей способности потока, из которых наиболее известными и применимыми являются формулы М. А. Великанова, Е. А. Замарина, А. Н. Гостунского, А. Г. Хачатряна, В. А. Шаумяна, Б. И. Студеничникова, С. Х. Абальянца, В. В. Пославского, Г. С. Чекулаева, И. И. Леви, К. И. Россинского, В. Н. Гончарова, К. Г. Липатова, О. Г. Хорста, П. В. Михеева и др. Большинство из этих формул получено в основном для условий оросительных каналов. Поэтому при решении вопроса о размыве грунтовой вставки в теле грунтовой плотины применять эти формулы следует с осторожностью.

Для достижения поставленной цели были проведены лабораторные исследования в гидротехнической лаборатории кафедры гидротехнических сооружений и строительной механики НИМИ им. А. К. Картунова ФГБОУ ВО ДГАУ на фильтрационном лотке. Модель резервного водосброса выполнена в масштабе 1:25 натурной величины и представляет собой порог высотой 40 см, на который уложена черная полиэтиленовая пленка и размываемая песчаная вставка высотой 20 см.

Размываемая вставка выполнена из песчаного грунта (рисунок 1). Процесс размыва фотографировался через стеклянную стенку лотка с нанесенной на нее масштабной сеткой, что позволило затем установить мгновенные профили размываемой вставки в определенные моменты времени. Также на модели с помощью игольчатого уровнемера измерялся уровень воды в верхнем бьефе, и определялся объемным способом средний расход за некоторый промежуток времени.



Рисунок 1 – Модель размываемой вставки

В процессе исследований было проведено четыре серии опытов. Размер модели в поперечном сечении: ширина по гребню – 32 см, высота – 60 см, заложение верхового откоса – 1 : 3, а низового – 1 : 2. Экспериментальные данные для определения транспортирующей способности потока при размыве песчаной вставки резервного водосброса приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные для определения транспортирующей способности потока при размыве песчаной вставки резервного водосброса

№ серии опытов	Диаметр частиц грунта d , мм	Средний диаметр частиц грунта d_{50} , мм	Гидравлическая крупность частиц грунта w , м/с	Плотность грунта ρ_{gr} , кН/м ³
1	Сухой речной песок			
	0,50–1,00	0,75	0,077	14,4–16,3
2	Увлажненный речной песок			
	0,50–1,00	0,75	0,077	15,9–19,2
3	Сухой речной песок			
	0,25–3,00	1,62	0,171	15,9–16,3
4	Увлажненный речной песок			
	0,25–3,00	1,62	0,171	19,2–25,4

При проведении лабораторных исследований резервного водосброса следовало решить вопрос выбора размера модели, чтобы она соответствовала принятым критериям подобия натурального объекта. Так как при исследовании транспортирующей способности потока главную роль выполняют силы тяжести, то основным требованием при моделировании является соответствие критерия Фруда Fr [10–12]:

$$Fr_M = Fr_H = idem, \quad (1)$$

где Fr_M – критерий Фруда модели;

Fr_H – критерий Фруда натурального объекта.

Общая картина процесса размыва во всех опытах была одинакова. В аспекте решения поставленной задачи необходимо отметить следующее. Размыв начинается сразу же с началом перелива. В первые несколько секунд, когда толщина переливающегося слоя потока воды предельно мала, процесс размыва происходит путем постепенного переотложения вымытых частиц грунта и носит дискретный характер. Примерно с пятой секунды осуществляется интенсивный размыв модели почти равномерно по всей длине вставки. Транспорт частиц грунта на этой фазе происходит во взвешенном состоянии, с выносом в нижний бьеф без оседания у подножья откоса водосливного порога, где наблюдается турбулентный режим движения потока. Из этого следует, что транспортирующая способность потока в данном случае обладает расходной характеристикой движения наносов во взвешенном состоянии.

В речной гидравлике существует много формул для расчета транспорта взвешенных наносов. Необходимо выбрать из них наиболее приемлемую для условий размыва плотин. Для этого были выполнены расчеты по следующим, на наш взгляд, наиболее применимым для данного случая формулам.

Формула К. И. Россинского [13]:

$$q_s = \frac{0,00475}{w \cdot h} \cdot v^3 \cdot q, \quad (2)$$

где q_s – удельный расход твердого стока, кг/(с·м);

w – средневзвешенная гидравлическая крупность частиц грунта, м/с;

h – глубина потока, м;

v – средняя скорость потока, м/с;

q – удельный расход воды, м³/(с·м).

Формула И. И. Леви [14]:

$$q_s = \frac{0,006 \cdot d_{50}^{1,66}}{w^4} \cdot \frac{v^4}{h^{1,6}} \cdot q, \quad (3)$$

где d_{50} – средний диаметр частиц грунта, м.

Для транспорта твердого стока за расчетное было принято сечение в месте расположения критической глубины переливающегося потока воды (рисунок 2).

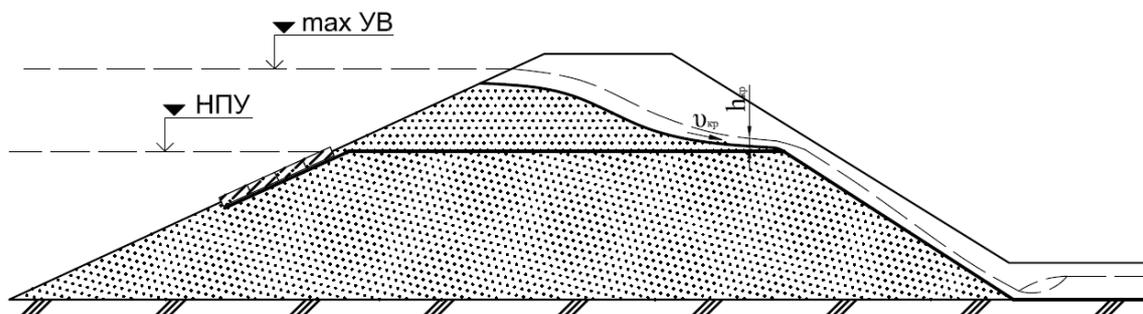


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения транспортирующей способности потока при размыве песчаной вставки

Это позволило сравнить расчетные данные, полученные по формулам (2) и (3) с опытными значениями расхода наносов $q_s^{оп}$, кг/(с·м), который определялся величиной деформации профиля модели плотины по следующей зависимости:

$$q_s^{оп} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \cdot \rho_{gr}, \quad (4)$$

где ΔS – величина размыва за промежуток времени $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ площади песчаного грунта в поперечном сечении, определяемая по фотоснимкам мгновенных профилей размываемой плотины в моменты времени t_n и t_{n-1} , м²;

ρ_{gr} – плотность грунта модели размываемой вставки, кН/м³.

Глубина в расчетном сечении h , м, приравнивалась к критической глубине h_{cr} , м, и определялась по формуле:

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}}, \quad (5)$$

где α – коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скоростей ($\alpha = 1,1$);

Q – расход за время Δt через модель размываемой вставки, м³/с;

g – ускорение сил тяжести ($g = 9,81$ м/с²), м/с²;

b – ширина фильтрационного лотка, м.

Средняя за время Δt скорость в расчетном сечении v , м/с, вычислялась по формуле:

$$v = v_{cr} = \frac{q}{h_{cr}}, \quad (6)$$

где v_{cr} – критическая скорость в расчетном сечении, м/с;

$q = \frac{Q}{b}$ – удельный расход жидкости в рассматриваемом сечении, м³/(с·м).

Частицы начинают двигаться в тот момент времени, когда средняя скорость потока v , м/с, становится больше размывающей скорости v_p , м/с, которую можно получить в зависимости от неразмывающей скорости v_0 , м/с, по зависимости Г. В. Железнякова (рисунок 3) [15].

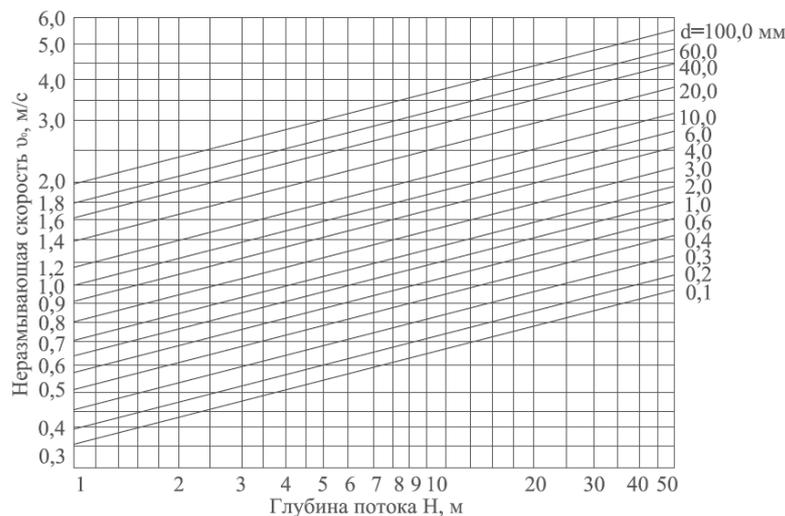


Рисунок 3 – График для определения неразмывающей скорости v_0 несвязных грунтов гладких русел

В таблице 2 представлены экспериментальные и расчетные значения расходов наносов по 1-й серии опытов в различные моменты времени размыва песчаной вставки. По остальным сериям опытов определение величин расходов наносов было выполнено аналогично. Расхождение между экспериментальными и расчетными значениями расходов наносов не превышало 10 %.

Таблица 2 – Экспериментальные и расчетные значения расходов наносов

Экспериментальные данные							Значение q_s по формулам, кг/(с·м)	
t, c	$Q, m^3/c$	$q, m^3/(c \cdot m)$	$\Delta S, m^2$	h_{cr}, m	$v_{cr}, m/c$	$q_s, кг/(c \cdot m)$	К. И. Россинского	И. И. Леви
0–75	1,04	0,35	1,84	0,058	5,99	35,41	55,55	27,63
75–150	1,12	0,37	2,00	0,061	6,14	38,39	61,20	30,29
150–225	1,14	0,38	2,09	0,062	6,17	40,11	62,66	30,98
225–300	1,17	0,39	2,19	0,063	6,23	41,97	64,87	32,02
300–375	1,22	0,41	2,45	0,064	6,32	47,11	68,67	33,80
375–450	1,24	0,41	2,61	0,065	6,35	50,16	70,20	34,51
450–525	1,32	0,44	2,86	0,068	6,49	54,88	76,54	37,47
525–600	1,43	0,48	3,29	0,072	6,66	63,07	84,89	41,34
600–675	1,60	0,53	3,72	0,077	6,91	71,34	98,19	47,47
675–750	2,00	0,67	4,12	0,090	7,45	79,10	133,09	63,37
750–825	2,00	0,67	4,60	0,090	7,45	88,23	133,09	63,37
825–900	2,01	0,67	4,60	0,090	7,45	88,23	133,29	63,46
900–975	2,03	0,68	4,75	0,090	7,48	91,23	135,51	64,46
975–1025	2,04	0,68	4,75	0,091	7,50	91,23	136,34	64,84

Для получения расчетной формулы по определению транспортирующей способности потока q_s^{op} , кг/(с·м), воспользуемся методами размерности и подобия [16], составив функциональную зависимость от факторов, участвующих в этом процессе:

$$q_s^{op} = f(\rho_{gr}, g, d_{gr}, \rho_w, w, d_{gr50}, t_{op}, h_{cr}), \quad (7)$$

где d_{gr} – диаметр частиц грунта вставки, м;

ρ_w – плотность воды, кН/м³;

t_{op} – время продолжительности опыта, с.

Присвоим переменным правой части показатели степени:

$$q_s^{op} = f(\rho_{gr}^a, g^b, d_{gr}^c, \rho_w^d, w^e, d_{gr50}^f, t_{op}^g, h_{cr}^h). \quad (8)$$

Подставив вместо символов в формулу (8) размерности, получим:

$$\frac{M}{T \cdot L} = f\left[\left(\frac{M}{L^3}\right)^a, \left(\frac{L}{T^2}\right)^b, (L)^c, \left(\frac{M}{L^3}\right)^d, \left(\frac{L}{T}\right)^e, (L)^f, (T)^g, (L)^h\right]. \quad (9)$$

Чтобы данное уравнение было однородным относительно размерностей, должны выполняться следующие соотношения между показателями степени:

$$M: 1 = a + d;$$

$$L: -1 = -3a + b + c - 3d + e + f + h;$$

$$T: -1 = -2b - e + g.$$

Эти три уравнения с восемью неизвестными упростим, исключив a , e и c . Тогда $a = 1 - d$, $e = 1 - 2b + g$ и $c = 1 + b - g - f - h$.

Подставив эти соотношения показателей в формулу (8), получим:

$$q_s^{op} = f \left[(\rho_{gr})^{1-d}, (g)^b, (d_{gr})^{1+b-g-f-h}, (\rho_w)^d, (w)^{1-2b+g}, (d_{gr50})^f, (t_{op})^g, (h_{cr})^h \right], \quad (10)$$

откуда следует:

$$\frac{q_s^{op}}{d_{gr} \rho_{gr} w} = f \left[\left(\frac{\rho_{gr}}{\rho_w} \right)^d, \left(\frac{g d_{gr}}{w^2} \right)^b, \left(\frac{w t_{op}}{d_{gr}} \right)^g, \left(\frac{d_{gr50}}{d_{gr}} \right)^f, \left(\frac{h_{cr}}{d_{gr}} \right)^h \right]. \quad (11)$$

Введем следующие обозначения:

$$R = \frac{q_s^{op}}{d_{gr} \rho_{gr} w}; X = \left(\frac{\rho_{gr}}{\rho_w} \right)^d; Y = \left(\frac{g d_{gr}}{w^2} \right)^b; Z = \left(\frac{w t_{op}}{d_{gr}} \right)^g; H = \left(\frac{d_{gr50}}{d_{gr}} \right)^f; Q = \left(\frac{h_{cr}}{d_{gr}} \right)^h. \quad (12)$$

Таким образом, зависимость (12) представляет собой произведение отдельных функций независимых переменных:

$$R = \varphi_1(X) \varphi_2(Y) \varphi_3(Z) \varphi_4(H) \varphi_5(Q), \quad (13)$$

где R – конечный результат;

X – коэффициент условий работы грунта, является функцией типа грунта;

Y – критерий бурности взвесенесущего потока, Fr^{-1} ;

Z – критерий Струхала, Sh^{-1} ;

H – относительная характеристика грунта по фракционному содержанию;

Q – относительная величина критической глубины.

Зависимость (13) относится к общему соотношению второго класса [17], допускающему применение факторных экспериментов. С учетом того, что основная функциональная зависимость относится к классу, определяемому соотношением (13), создается условие проведения такого сбалансированного эксперимента, в котором переменные X , Y , Z , H и Q берутся на соответствующих уровнях, и к решению задач применяется греко-латинский квадрат. Составляя логарифмические уравнения для строки, содержащей (Z_1) по n уровням, можно получить:

$$\lg \varphi_3(Z_1) = \frac{\sum \lg R_{Z_1}}{n} - \text{const}, \quad (14)$$

а для Z_n :

$$\lg \varphi_3(Z_n) = \frac{\sum \lg R_{Z_n}}{n} - \text{const}. \quad (15)$$

Из формул (14) и (15) вытекает, что с помощью кривых или таблиц можно получить следующие функции:

$$R_X = k \varphi_1(X); R_Y = k' \varphi_2(Y); R_Z = k'' \varphi_3(Z); R_H = k''' \varphi_4(H); R_Q = k'''' \varphi_5(Q), \quad (16)$$

где R_X , R_Y , R_Z , R_H , R_Q – антилогарифмы от $\sum \lg \frac{R_X}{n}$, $\sum \lg \frac{R_Y}{n}$, $\sum \lg \frac{R_Z}{n}$, $\sum \lg \frac{R_H}{n}$, $\sum \lg \frac{R_Q}{n}$;

k, k', k'', k''', k'''' – постоянные, входящие в формулу (16), составленные из значений X , Y , Z , H и Q , исключаемых при использовании греко-латинского квадрата;

$\varphi_1(X)$, $\varphi_2(Y)$, $\varphi_3(Z)$, $\varphi_4(H)$, $\varphi_5(Q)$ – функции переменных X , Y , Z , H и Q .

Решив уравнение (16) относительно $\varphi_1(X)$, $\varphi_2(Y)$, $\varphi_3(Z)$, $\varphi_4(H)$, $\varphi_5(Q)$ и подставив их в формулу (13), получим:

$$R = K(R_X)(R_Y)(R_Z)(R_H)(R_Q), \quad (17)$$

где $K = (k, k', k'', k''', k''')^{-1}$.

В связи с тем, что функция (13) включает в себя пять независимых переменных, которые в факторном плане берутся на пяти уровнях, греко-латинский квадрат приобретает следующий вид (рисунок 4).

Уровень переменной Y

	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	
Уровень переменной X	X ₅	Z ₁ H ₁ Q ₁	Z ₂ H ₂ Q ₂	Z ₃ H ₃ Q ₃	Z ₄ H ₄ Q ₄	Z ₅ H ₅ Q ₅
	X ₄	Z ₂ H ₂ Q ₂	Z ₃ H ₃ Q ₃	Z ₄ H ₄ Q ₄	Z ₅ H ₅ Q ₅	Z ₁ H ₁ Q ₁
	X ₃	Z ₃ H ₃ Q ₃	Z ₄ H ₄ Q ₄	Z ₅ H ₅ Q ₅	Z ₁ H ₁ Q ₁	Z ₂ H ₂ Q ₂
	X ₂	Z ₄ H ₄ Q ₄	Z ₅ H ₅ Q ₅	Z ₁ H ₁ Q ₁	Z ₂ H ₂ Q ₂	Z ₃ H ₃ Q ₃
	X ₁	Z ₅ H ₅ Q ₅	Z ₁ H ₁ Q ₁	Z ₂ H ₂ Q ₂	Z ₃ H ₃ Q ₃	Z ₄ H ₄ Q ₄

Рисунок 4 – Греко-латинский квадрат с пятью независимыми переменными

В данном случае регрессионная модель будет иметь следующий вид:

$$R = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4H + b_5Q + b_6XY + b_7XZ + b_8XH + b_9XQ + b_{10}YZ + b_{11}YH + b_{12}YQ + b_{13}ZH + b_{14}ZQ + b_{15}HQ. \quad (18)$$

Построить данную регрессионную модель – это значит найти параметры b_i функции (18). На основе материалов экспериментальных исследований было установлено, что переменные, составляющие транспортирующую способность потока имеют пределы: $\rho_{gr} = 15,9 - 25,4$ кН/м³; $t_{op} = 15 - 235$ с; $w = 0,077 - 0,171$ м/с; $d_{gr} = 0,0005 - 0,003$ м; $d_{gr50} = 0,00075 - 0,00162$ м; $q_s^{op} = 0,35 - 1,124$ кН/(с·м); $\rho_w = 10$ кН/м³; $g = 9,81$ м/с²; $h_{cr} = 0,24 - 0,38$ м. Для проведения экспериментальных исследований был выбран план с квадратом 5×5 , имеющий структуру, приведенную в таблице 3.

Таблица 3 – План эксперимента на пяти уровнях варьирования переменных формулы (16)

Критерий бурности потока Y	0,172	0,145	0,118	0,091	0,064
Коэффициент условий работы грунта X	Кинетичность потока ZHQ				
1,59	$9,64 \cdot 10^6$	$5,24 \cdot 10^6$	$2,43 \cdot 10^6$	$0,85 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$
1,83	$5,24 \cdot 10^6$	$2,43 \cdot 10^6$	$0,85 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	$9,64 \cdot 10^6$
2,06	$2,43 \cdot 10^6$	$0,85 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	$9,64 \cdot 10^6$	$5,24 \cdot 10^6$
2,30	$0,85 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	$9,64 \cdot 10^6$	$5,24 \cdot 10^6$	$2,43 \cdot 10^6$
2,54	$0,16 \cdot 10^6$	$9,64 \cdot 10^6$	$5,24 \cdot 10^6$	$2,43 \cdot 10^6$	$0,85 \cdot 10^6$

После проведения экспериментов при указанных 25 комбинациях условий, по опытным данным был составлен квадрат (рисунок 5), содержащий значения зависимой переменной, которой является относительная транспортирующая способность потока.

573,77	94,34	51,47	35,35	26,92
891,80	146,63	80,00	54,95	41,85
1208,20	198,65	108,38	74,44	56,69
1524,59	250,67	136,76	93,94	71,54
1842,62	302,96	165,29	113,54	86,46

Рисунок 5 – Квадрат зависимой переменной $R = \frac{q_s^{op}}{d_{gr} \rho_{gr} w}$

Для определения относительной транспортирующей способности потока в зависимости от факторов, вошедших в формулу (13), необходимо по данным полученного

квадрата зависимой переменной $R = \frac{q_s^{op}}{d_{gr} \rho_{gr} w}$ вычислить средний логарифм, а затем оп-
 ределить антилогарифм по схеме, приведенной на рисунке 6.



Рисунок 6 – Схема вычисления R в функции от X, Y, Z, H и Q формулы (13)

По полученным данным, представленным на рисунке 6, построены графики, изображающие результаты эксперимента (рисунок 7). Коэффициенты к формулам на графиках определены с помощью метода наименьших квадратов по методике Л. З. Румшицкого [18]. По графику зависимости $R_{ZHQ} = \varphi(ZHQ \cdot 10^4)$ свободный коэффициент прямой линии был установлен равным 1,49 (прямая горизонтальна). Подставив в равенство (17) уравнения с графиков рисунка 7, получим окончательное уравнение результата исследований в функции от безразмерных комплексов R_X , R_Y и R_{ZHQ} :

$$R = 1,49 \left(\frac{1,25X - 1,25}{0,01} \right) \left(\frac{6,3Y}{1 + 0,48Y^{0,333}} + 0,03 \right)^{3,4} \quad (19)$$

С учетом условия (12) при подстановке в формулу (19) $R = \frac{q_s^{op}}{d_{gr} \rho_{gr} w}$, $X = \frac{\rho_{gr}}{\rho_w}$,

$Y = \frac{g d_{gr}}{w^2}$ и $ZHQ = 1,49$ получим зависимость для определения транспортирующей способности потока:

$$q_s^{op} = 186,25 \rho_{gr} d_{gr} w \left(\frac{\rho_{gr} - \rho_w}{\rho_w} \right) \left(\frac{6,3 g d_{gr}}{w^2 + 0,48 (g d_{gr})^{0,333}} + 0,03 \right)^{3,4} \quad (20)$$

Для проверки применимости формулы (20) использованы следующие исходные данные: $\rho_{gr} = 22,3 \text{ кН/м}^3$; $w = 0,21 \text{ м/с}$; $d_{gr} = 0,00162 \text{ м}$; $\rho_w = 10 \text{ кН/м}^3$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Подставляя их в формулу (20) получим:

$$q_s^{op} = 186,25 \cdot 22,3 \cdot 0,00162 \cdot 0,21 \left(\frac{22,3 - 10}{10} \right) \left(\frac{6,3 \cdot 9,81 \cdot 0,00162}{0,21^2 + 0,48 \cdot (9,81 \cdot 0,00162)^{0,333}} + 0,03 \right)^{3,4} =$$

$$= 0,376 \frac{\text{кН}}{\text{с} \cdot \text{м}} = 37,6 \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}}.$$

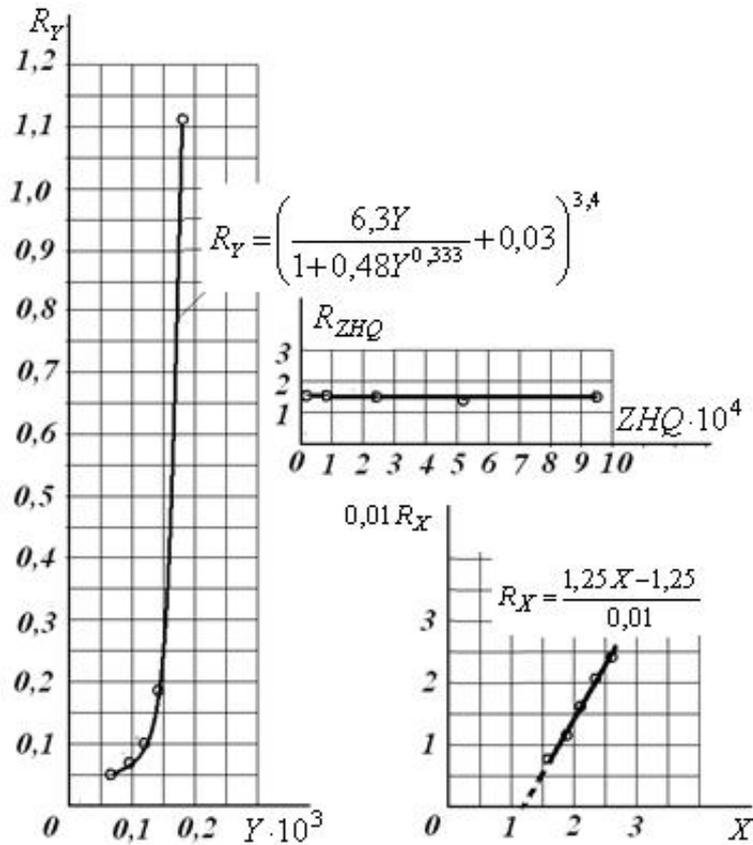


Рисунок 7 – Графики зависимостей результатов в функции от исследуемых параметров

Расчетное значение транспортирующей способности, полученное по формуле (20) с применением принятых исходных данных, показало близкую сходимость с величиной, определенной по формуле И. И. Леви. Расхождение между величинами составило 0,42 %, что меньше допускаемого значения на 10 %.

Выводы

1 Размыв грунта вставки будет происходить при превышении поверхностных скоростей потока над размывающими скоростями.

2 Теория планирования эксперимента с применением размерностно-регрессионного метода позволила получить полуэмпирическую зависимость (20) для определения транспортирующей способности потока при размыве песчаной вставки резервного водосброса.

Список использованных источников

1 Гордиенко, П. И. Пути удешевления паводковых водосбросов гидроузлов / П. И. Гордиенко // Гидротехническое строительство. – 1958. – № 8. – С. 36–44.

2 Правдивец, Ю. П. Пропуск паводковых вод через недостроенные плотины из местных материалов / Ю. П. Правдивец // Энергетическое строительство. – 1977. – № 4. – С. 22–25.

3 Дерюгин, Г. К. Разрушение плотин в связи с пропуском сбросных расходов /

Г. К. Дерюгин, О. С. Наумов // Гидротехническое строительство. – 1997. – № 2. – С. 30–33.

4 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – М.: Росинформагротех, 2005. – 388 с.

5 Косиченко, Ю. М. Расчетная оценка надежности грунтовой плотины малого водохранилища с использованием диагностических показателей по данным наблюдений / Ю. М. Косиченко, Е. А. Савенкова // Природообустройство. – 2012. – № 5. – С. 41–45.

6 Косиченко, Ю. М. Оценка надежности работы резервного водосброса с размываемой вставкой / Ю. М. Косиченко, Е. Д. Михайлов // Вестник МГСУ. – 2015. – № 2. – С. 130–140.

7 Косиченко, Ю. М. Применение резервных водосбросов в грунтовых плотинах для пропуска паводковых вод [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко, Е. Д. Михайлов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 2(08). – 16 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/2011/02/18>.

8 Михайлов, Е. Д. Гидравлическая оценка эффективности сработки грунтовой вставки резервного водосброса / Е. Д. Михайлов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура: науч.-техн. журн. / СГАСУ. – Самара, 2016. – Вып. № 1(22). – С. 27–33.

9 Косиченко, Ю. М. Методика расчета параметров резервного водосброса с размываемой вставкой на основе гидравлических формул [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко, Е. Д. Михайлов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 4(16). – 13 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/2014/11/17>.

10 Зегжда, А. П. Теория подобия и методика расчета гидротехнических моделей / А. П. Зегжда. – М.: Госстройиздат, 1938. – 164 с.

11 Леви, И. И. Моделирование гидравлических явлений / И. И. Леви. – Л.: Энергия, 1967. – 254 с.

12 Овчаренко, И. Х. Моделирование гидравлических явлений на гидротехнических сооружениях: учеб. пособие / И. Х. Овчаренко, А. И. Тищенко. – Новочеркасск, 1982. – 110 с.

13 Лапшенков, В. С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов / В. С. Лапшенков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 240 с.

14 Леви, И. И. Динамика русловых потоков / И. И. Леви. – 2-е изд., доп. – М.: Госэнергоиздат, 1957. – 204 с.

15 Железняков, Г. В. Пропускная способность русел каналов и рек / Г. В. Железняков. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 312 с.

16 Инженерные конструкции: учеб. пособие для студентов вузов / В. А. Волосухин [и др.]; под. ред. В. А. Волосухина. – Ч. II. – Новочеркасск, 2007. – 555 с.

17 Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 384 с.

18 Румшицкий, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшицкий. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.95:631.452

Н. М. Макарова

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ В АГРОЛАНДШАФТАХ

Одной из экологических проблем в системе управления плодородием почв в агроландшафтах является загрязнение почв, поверхностных и грунтовых вод навозом и навозными стоками, поступающими с территорий животноводческих ферм и комплексов. Целью наших исследований явилось изучение загрязненных территорий, поиск проблем и их решений с помощью лесных мелиораций. Определяли качественные характеристики почв и ботанический состав травянистых растений, которые произрастают на балочных склонах, загрязненных отходами производства продукции животноводства. Результаты опыта показали, что создание лесных полос, усиленных валами, влияет на плодородие почв в агроландшафтах на прифермских территориях и способствует улучшению ботанических характеристик травянистых сообществ.

Ключевые слова: экологические проблемы агроландшафта, загрязнение почв, биоразнообразие, управление агроландшафтом, ботанические характеристики кормовых трав.

Одной из экологических проблем в агроландшафтах является загрязнение почв, поверхностных и грунтовых вод навозом и навозными стоками, поступающими с территорий животноводческих ферм и комплексов. Особенно остро такая проблема стоит на склоновых землях территорий, прилегающих к фермам. Расположенные в приборочной части овражно-балочных систем неутилизированные отходы животноводческих ферм образуют потоки биогенных элементов, которые при снеготаянии и ливнях беспрепятственно поступают на нижележащие участки склона и, соответственно, загрязняют их. По санитарным нормам вокруг животноводческих ферм, комплексов, пастбищ должны создаваться лесные полосы и насаждения санитарно-защитных зон.

Целью исследований явилось изучение загрязненных биогенными элементами территорий в балках, поиск проблем и решений их с помощью лесных мелиораций.

Многолетние опыты проводили в учебном хозяйстве «Донское» Донского государственного аграрного университета Октябрьского района Ростовской области на загрязненных участках почв балки Харули. На склонах балки распространены неразвитые дерновые, местами загрязненные почвы с мощностью гумусового горизонта до 0,3 м, на которых развиты сообщества многолетних и однолетних трав. Склоны и днище балки используются под сенокосы и пастбища. На днище балки сформирована псевдопойма с четко выраженным руслом биогенов. На опытном участке склон южной экспозиции выпуклого поперечного профиля с уклонами от 0,06 до 0,28 (местами до 0,65) или террасовидным уклоном (до 0,04). Непосредственно за бровкой балки были размещены овцеферма, свиноферма, молочный комплекс, скотомогильник, кладбище, селитебная территория учхоза, свалка твердых бытовых отходов и др. На сегодняшний день из трех ферм реконструирована и функционирует только молочная. Вблизи ферм созданы прифермские лесные полосы и насаждение санитарно-защитной зоны.

Одним из программных вопросов было определение средозащитной роли прифермских лесных насаждений на балочных склонах при регулировании потоков био-

генных элементов. Для решения этого вопроса закладывались экологические профили перпендикулярно оси балки. Три профиля пересекали прифермские лесные полосы, четвертый служил контролем и был заложен на открытом участке склона. В вариантах опыта осуществляли отбор образцов почв и травянистых растений, произрастающих на балочных склонах. Почвенные образцы отбирали на глубине 0–20 см и анализировали в эколого-аналитической лаборатории. Образцы травянистых ценозов по вариантам опыта отбирали метрочками в 10-кратной последовательности. В образцах определялись качественные характеристики растений, ботанический состав, их кормовая ценность и урожайность [1–3].

В результате исследований установлено, что характерными изменениями отличались показатели двух экологических профилей: экопрофиля 1, который пересекал лесную полосу, усиленную валом, и экопрофиля 2 (контроль), пересекающего участок склона в месте, где должна быть лесная полоса.

В весенний период наблюдалось повсеместное значительное загрязнение биогенными элементами почв. Так, по нашим данным, в верхнем (0–20 см) слое почв балочного склона содержится повышенное количество нитратов, фосфора и калия, микроорганизмов, яиц гельминтов [4]. Возле ферм содержание в почве нитратов (NO_3^-) составляло 175,9 мг/кг, аммония (NH_4^+) – 207,6 мг/кг, калия (K_2O) – 160 мг/кг. При исследовании остальных участков по вариантам опыта выяснили, что нитраты накапливались перед стокозадерживающими сооружениями в прифермских лесных полосах и на нижележащих участках склона в понижениях микрорельефа. Динамика нитратного азота, фосфора и калия связана с трансформированием этих элементов с местным стоком и расходом на питание растительности. Протяженность зоны распространения напрямую зависела от степени утилизации их в лесном насаждении [4].

Неразвитые почвы балочного склона под лесными полосами содержали гумуса 6,7 %, а вниз по склону количество гумуса менялось и четко прослеживалось влияние лесной полосы до расстояния 5 H (H – высота лесной полосы): на расстоянии 1 H – 9,0 %, 3 H – 5,0 %, 5 H – 8,5 % и 10 H – 5,7 %. На контроле количество гумуса по вариантам опыта было меньше: район, где должна располагаться лесная полоса, – 5,0 %, 1 H – 5,1 %, 3 H – 4,8 %, 5 H – 5,2 %, 10 H – 3,3 %. Кроме того, на контроле такие почвы отличались пестротой показателей рН от 6,3 до 8,1, что связано с регулярным накоплением навозных стоков в понижениях микрорельефа. На экопрофиле 1 под пологом лесной полосы реакция почвы слабокислая (5,1). Засоления почв на опытном участке не выявлено.

Динамика влажности слоя почв 0–0,4 м по вариантам опыта следующая. Максимальную влажность почв в варианте с лесной полосой (экопрофиль 1) и весной (19,8 %), и осенью (16,6 %) наблюдали на приборочных участках склонов, что свидетельствует о мелиоративном влиянии лесной полосы. При продвижении вниз по склону влажность почв уменьшалась, а на днище балки наблюдались максимальные значения весной (18,5 %) и осенью (18,6 %). На контрольном экопрофиле 2 влажность почв слоя 0–0,4 м на приборочном участке была значительно ниже, чем на экопрофиле 1 (весной – 12,7 % и осенью – 13,8 %), а по всему профилю колебалась в зависимости от крутизны склона, характеристики фитоценозов и антропогенных факторов, увеличиваясь к днищу балки до 13,8 % весной и 22,3 % осенью.

Динамика влажности почв на глубине 0–1,0 м следующая: на экопрофиле 1 в районе лесной полосы наблюдали повышенное содержание влаги весной (17,1 %) и осенью (13,8 %), а на экопрофиле 2 существенных изменений не было (весной – 12,3 % и осенью – 13,5 %). На днище балки в районе экопрофиля 1 влажность почвы составляла весной 20,1 % и осенью 15,5 %, а в районе экопрофиля 2 влажность почвы достигала весной 14,9 % и осенью 18,7 %.

При изучении травянистой растительности выявлено влияние влажности почв на урожайность трав. Средняя за два года урожайность сена на склонах балки Харули представлена на рисунке 1.

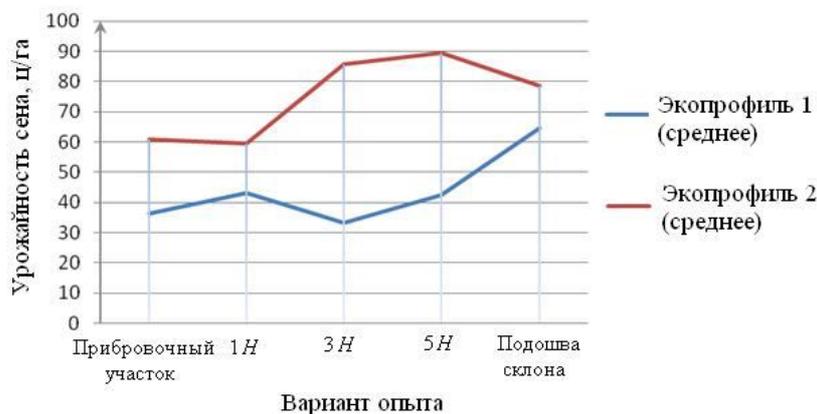


Рисунок 1 – Урожайность трав на экопрофилях по вариантам опыта (в среднем за два года)

Из данных рисунка 1 видно, что урожайность трав под воздействием лесных полос изменяется от 33,2 до 43,1 ц/га, к днищу урожайность возрастает, что связано с увеличением влажности почв. Максимальные значения урожайности (89,5 ц/га) наблюдали на контрольном экопрофиле 2, где биогенные элементы вымывались по всей его протяженности. В целом же на данном экопрофиле значения урожайности были выше по сравнению с экопрофилем 1 на 21,7–157,8 %.

На рисунке 2 представлена встречаемость ботанических групп и семейств на контрольном экологическом профиле (экопрофиле 2).

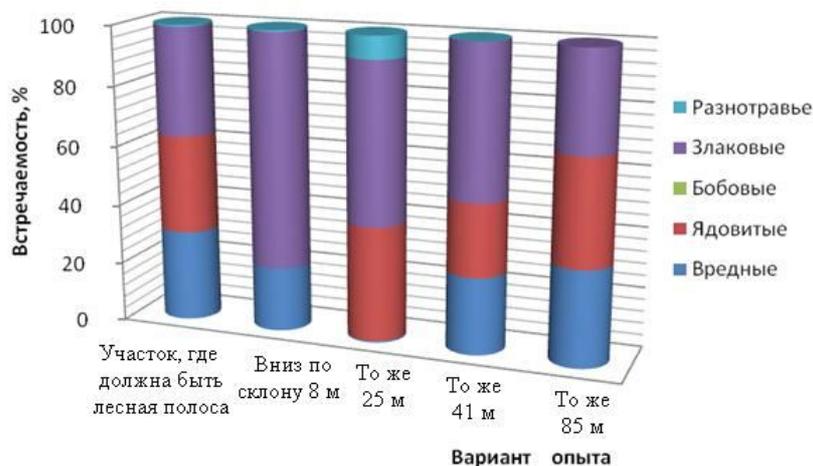


Рисунок 2 – Встречаемость ботанических групп и семейств на контрольном экологическом профиле (экопрофиле 2)

Из данных рисунка 2 видно, что в составе сена по всему профилю преобладают злаковые растения (от 31,6 % на расстоянии вниз по склону 85 м до 75,8 % на расстоянии 8 м), в небольших количествах (7,2 %) встречается разнотравье, от 23,6 до 36,7 % занимают ядовитые, от 0,5 до 30,8 % – вредные растения, бобовые отсутствуют. Поэтому, несмотря на высокую урожайность сена, кормовой ценности травы на участках открытого контрольного экопрофиля 2 не представляют.

На рисунке 3 представлена встречаемость ботанических групп и семейств на экологическом профиле 1, пересекающем лесную полосу и вал. Из данных рисунка 3 видно, что в составе сена по всему профилю преобладают злаковые растения (от 70,5 % на расстоянии вниз по склону 5 Н до 90,0 % на расстоянии вниз по склону 10 Н), в не-

больших количествах (9,1 %) встречаются бобовые, от 6,9 до 21,8 % занимает разнотравье, вредные и ядовитые растения отсутствуют.

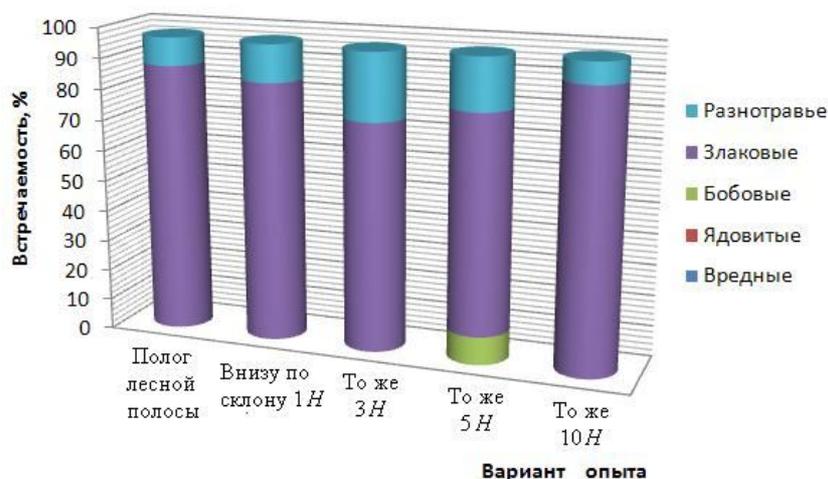


Рисунок 3 – Встречаемость ботанических групп и семейств на экологическом профиле с лесной полосой, усиленной валом (экопрофиле 1), по вариантам опыта

Выводы и рекомендации

1 Размещение животноводческих ферм на эрозионно опасных территориях приводит к загрязнению окружающей среды.

2 Загрязнение почв биогенными элементами влияет на урожайность трав, приводит к изменению ботанического состава травянистой растительности, снижению их кормовой ценности.

3 Лесные полосы, усиленные валами, улучшают ботаническую характеристику травянистых растений на протяжении 1–10 Н.

Список использованных источников

1 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

2 Дударь, А. К. Ядовитые и вредные растения лугов, сенокосов и пастбищ / А. К. Дударь. – 1-е изд. – М.: Россельхозиздат, 1971. – 96 с.

3 Флора Нижнего Дона: определитель: в 2 ч. / под ред. Г. М. Зозулина, В. В. Федяевой. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1984–1985.

4 Макарова, Н. М. Лесомелиоративное регулирование потоков биогенных элементов на водосборах малых рек Нижнего Дона: монография / Н. М. Макарова; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Темп, 2008. – 154 с.

УДК 631.433.3:631.6

Л. А. Воеводина

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

ПОКАЗАТЕЛЬ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

Целью исследований являлось установление значимости показателя почвенного дыхания для почвенно-мелиоративных исследований и рассмотрение особенностей определения почвенного дыхания в полевых условиях с помощью газоизмерительных трубок.

Ключевые слова: почвенное дыхание, газоизмерительная трубка, биологическая активность почвы, влажность почвы, температура почвы.

Раздел физики почв, изучающий газовую фазу, входит в программы многих почвенных, почвенно-мелиоративных, экологических, геофизических, биосферных и других исследований [1]. Показатели почвенного дыхания широко используют как для оценки продуктивности экосистем, так и для анализа активности почвенного микробиоценоза [2, 3]. Почвенное дыхание – один из ключевых компонентов цикла углерода наземных экосистем, определяемый метаболической активностью почвенной микрофлоры, корневых систем растений (включая микоризы) и почвенной фауны [4, 5].

Изучение почвенного воздуха осуществляется в настоящее время в двух наиболее важных экологических аспектах. Первый, традиционный для физики почв связан с оценкой водно-воздушного режима, степени аэрированности почвы и влияния состава газовой фазы на рост и развитие растительных культур. Второй касается исследования экологической газовой функции почвы, являющейся важнейшим резервуаром, источником и стоком газообразных веществ по отношению к атмосфере. Этот аспект приобретает особую значимость в связи с глобальными экологическими проблемами современности – загрязнением окружающей среды и парниковым эффектом [1].

Макрокомпонентами почвенного воздуха принято называть газы, содержание которых превышает условный порог концентраций в 100 ppm (0,01 % от объема газовой фазы). Состав почвенного воздуха существенно отличается от атмосферного в силу специфических биогенных процессов поглощения-выделения газов внутри почвы, а также инерционности газообмена с атмосферой. Основное отличие состоит в увеличении доли CO₂, выделяющегося в почве при жизнедеятельности микроорганизмов и корней растений, а также в снижении концентрации кислорода, расходуемого на дыхание организмов и окисление ряда химических соединений. В аэрированных почвах содержание CO₂ обычно находится в диапазоне 0,05–1,00 %, а кислорода – 20–21 % от объема пор аэрации. Объем пор аэрации ε_a определяется по разности между общей порозностью ε и объемной влажностью почвы θ , выраженными в долях от объема почвы:

$$\varepsilon_a = \varepsilon - \theta = 1 - \rho / \rho_s - \rho W,$$

где ρ , ρ_s – плотности почвы и ее твердой фазы;

W – массовая влажность, долей от массы сухой почвы.

Считается, что для оптимальных условий роста большинства растений содержание пор аэрации должно быть не менее 20–25 % ($\varepsilon_a > 0,20$).

Избыточное увлажнение приводит к сокращению пористости аэрации, застою почвенного воздуха из-за нарушения газообмена с атмосферой и развитию анаэробных процессов. В таких почвах содержание кислорода падает до 15–19 %, а доля углекислого газа возрастает до 3–4 % и более.

Кроме того, в составе макрокомпонентов почвенного воздуха начинают появляться продукты восстановительных реакций – редуцированные газы – CH₄, H₂S, N₂O и др. Для многих культур снижение концентрации O₂ до 15–18 % и превышение содержания CO₂ 3 % приводят к кислородному голоданию и токсикозу корневых систем. В переувлажненных землях (болотные почвы, марши, рисовники) концентрации углеродсодержащих газов (CO₂, CH₄) могут варьировать от нескольких единиц до десятков объемных процентов, а уровень кислорода – снижаться до 4–6 % и менее.

В целом для анализа содержания макрокомпонентов почвенного воздуха достаточно использовать приборы среднего класса точности (0,01–0,10 %). Обычно в почвоведении для этого применяются газовые хроматографы, снабженные двумя типами детекторов – пламенно-ионизационным и катарометром, например ЛХМ, «Хром-5», ХПМ [6]. В последнее время в практику исследований с этой целью стали внедряться портативные газоанализаторы комбинированного типа, в которых углеродсодержащие газы определяются с помощью ИФК-спектроскопии, а кислород – посредством электрохимического датчика. Промышленность РФ выпускает серию таких приборов под общим

названием ПГА (портативный газоанализатор). Для исследования макрокомпонентов почвенного воздуха наиболее подходящими являются приборы ПГА-12 (CO₂, O₂) или ПГА-7 (CO₂, CH₄, O₂). Для отбора проб этими приборами целесообразно использовать стационарные камеры накопительного типа, устанавливаемые в почве на определенных глубинах в зависимости от цели исследования.

Одним из способов определения дыхания почвы в полевых условиях с целью оценки биологической активности является способ, представленный в «Руководстве по оценке качества почв» и используемый в США [7] (рисунки 1, 2). Суть его заключается в установке на поверхность почвы камеры в виде цилиндра диаметром 15 см, закрываемого сверху крышкой с резиновыми пробками. Через пробки с помощью иглы осуществляют забор воздуха, накопившегося в этом изолированном пространстве над почвой. Забор воздуха происходит через газоизмерительную трубку, определяющую содержание углекислого газа с точностью до 0,1 % CO₂. Одновременно измеряют температуру почвы и влажность.



Рисунок 1 – Определение дыхания почвы с помощью газоизмерительных трубок [7] (авторы фото Т. В. Parkin, J. W. Doran, E. Franco-Vizcaino)



Рисунок 2 – Газоизмерительные трубки для измерения содержания углекислого углерода (автор фото Safety Supply America, Inc.)

По значениям, полученным в ходе этого измерения, проводят расчет поступления углекислого газа из почвы по формуле:

$$ПД = k_d \cdot \frac{(t+273)}{273} \cdot (\%CO_2 - 0,035) \cdot 2,56 \cdot H,$$

где ПД – почвенное дыхание, г CO₂-C/(м²·сут);

k_d – коэффициент давления: если высота над уровнем моря меньше 1000 м, $k_d = 1$; если высота над уровнем моря больше 1000 м, $k_d = P/1,18$,

P – атмосферное давление, мм рт. ст.;

t – температура почвы, °С;

%CO₂ – показания по газоизмерительной трубке, %;

0,035 – среднее содержание CO₂ в атмосферном воздухе, %;

H – внутренняя высота кольца, см.

Наибольшая микробиологическая активность наблюдается, когда влажность почвы близка к наименьшей влагоемкости. Если почва сухая, микробиологическая активность будет минимальной, так же, как и при насыщении почвы влагой, когда дыхание ингибируется. В случае сухой почвы следует увлажнить почву и провести измерение дыхания спустя 16–24 ч. Если почва насыщена водой, проведение теста по опреде-

лению дыхания следует отложить до высыхания почвы до наименьшей влагоемкости.

Классификация почвенной активности по показателю почвенного дыхания представлена в таблице 1 [7].

Таблица 1 – Классификация почвенного дыхания и почвенных условий при оптимальных условиях температуры и влажности почвы для земель сельскохозяйственного назначения

Стандартизированное почвенное дыхание СПД, г CO ₂ -C/(м ² ·сут)	Класс почвенной активности	Почвенные условия
0	Активность отсутствует	В почве нет биологической активности, почва практически стерильна
< 1,1	Очень низкая	В почве имеется большой недостаток доступного органического вещества, она характеризуется слабой биологической активностью
1,1–1,8	Низкая	В почве имеется недостаток доступного органического вещества, она характеризуется низкой биологической активностью
1,8–3,6	Средняя	Почва близка к оптимальному состоянию биологической активности
3,6–7,2	Оптимальная	Почва находится в идеальном состоянии и имеет достаточное количество органического вещества и активную популяцию микроорганизмов
> 7,2	Необычно высокая	В почве очень высокий уровень микробной активности и высокие уровни доступного органического вещества, возможно, от внесения больших количеств свежего органического вещества или навоза (органических удобрений)

При расчете данных таблицы 1 было принято, что все дыхание почвы происходит в слое 7,6 см при средней плотности почвы 1,2 г/см³, температуре почвы 25 °С, когда 60 % пор заполнено влагой [8]. Это так называемые эталонные условия. В реальных условиях температура и влажность могут варьировать в довольно широких пределах. Для того чтобы получаемые данные можно было сопоставлять, вводятся коэффициенты-поправки:

$$\text{СПД} = \text{ПД} \cdot k_t \cdot k_b,$$

где СПД – почвенное дыхание, приведенное к эталонным условиям температуры и влажности, г CO₂-C/(м²·сут);

k_t – коэффициент-поправка по температуре;

k_b – коэффициент-поправка по влажности почвы.

Для расчета коэффициента-поправки по температуре используют две формулы. Первая – для диапазона от 15 до 35 °С:

$$k_t = 2^{(25-t)/10},$$

где t – температура почвы, °С.

Вторая формула – для диапазона от 0 до 15 °С:

$$k_t = 4^{(25-t)/10}.$$

Для приведения полученных данных к эталонным условиям по влажности почвы

сначала определяют поровое пространство, заполненное водой, которое указывает на то, насколько хорошо аэрирована почва в момент отбора проб. Его значение вычисляют по формуле:

$$P_w = \frac{\theta}{\left[1 - \left(\frac{\rho}{2,65}\right)\right] \cdot 100},$$

где P_w – поровое пространство, заполненное водой, %

θ – объемная влажность почвы, %;

ρ – плотность почвы, т/м³;

2,65 – обычное значение плотности твердой фазы почвы, т/м³.

Затем определяют коэффициент-поправку по влажности почвы. Если P_w находится в диапазоне 30–60 %, используют формулу:

$$k_b = \frac{60}{P_w}.$$

Для диапазона P_w от 60 до 80 % используется следующее уравнение:

$$k_b = \frac{1}{(80 - P_w) \cdot 0,03 + 0,4}.$$

Когда P_w больше 80 %, почвенное дыхание ограничивают слишком влажные условия и его измерение не должно проводиться.

Выводы. Показатель почвенного дыхания является индикатором биологической активности почвы в результате деятельности в ней микроорганизмов, живых корней и макроорганизмов, таких как дождевые черви, нематоды, насекомые. В то же время повышенные показатели почвенного дыхания могут свидетельствовать о неустойчивости почвенной системы. Данный показатель целесообразно использовать для оценки качества почв при проведении почвенно-мелиоративных исследований плодородия различных типов почв, мелиоративного и экологического состояния орошаемых земель в различных агроклиматических условиях РФ для установления закономерностей влияния длительного орошения на почвообразующие процессы.

Список использованных источников

- 1 Теории и методы физики почв: коллектив. моногр. / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. – М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.
- 2 Ryan, M. G. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration / M. G. Ryan, B. E. Law // Biogeochemistry. – 2005. – Vol. 73, № 1. – P. 3–27.
- 3 Сморгалов, И. А. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов / И. А. Сморгалов, Е. Л. Воробейчик // Экология. – 2011. – № 6. – С. 429–435.
- 4 Luo, Y. Soil respiration and the environment / Y. Luo, X. Zhou. – Burlington: Acad. Press, 2006. – 316 p.
- 5 Наумов, А. В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности / А. В. Наумов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 208 с.
- 6 Смагин, А. В. Газовая фаза почв / А. В. Смагин. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 301 с.
- 7 Soil Quality Test Kit Guide / United States Dep. of Agriculture, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Inst. – 1999. – 82 p.
- 8 Doran, J. Field and Laboratory Solvita Soil Test Evaluation Report / J. Doran, T. Kettler, M. Tsivou. – Lincoln: Solvita System USDA-ARS, University of Nebraska, 1997. – 6 p.

УДК 631.67:633.11

А. П. Тищенко

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

ВОСХОДЯЩАЯ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И ВЫСОТА ПОДЪЕМА МАКРОКАПИЛЛЯРНОЙ КАЙМЫ

Цель исследований – обосновать необходимость введения в расчет режима орошения глубину зоны аэрации до макрокапиллярной каймы. Под зоной аэрации понимается слой почвогрунта, ограниченный поверхностью почвы, с одной стороны, и уровнем грунтовых вод, с другой стороны. Почвогрунты зоны аэрации являются сложной пористой средой, в которой происходит целый комплекс взаимосвязанных процессов, а движение влаги – одно из сложнейших в этом комплексе. В статье представлены результаты проведенных на орошаемых землях Крыма исследований участия грунтовых вод в питании зоны аэрации при изменяемом уровне грунтовых вод.

Ключевые слова: грунтовые воды, макрокапиллярная кайма, уровень залегания грунтовых вод, водный баланс.

При управлении режимами орошения на полях с близким залеганием грунтовых вод важно знать высоту макрокапиллярной зоны, поскольку при одной и той же глубине залегания грунтовых вод, но в различных по механическому составу почвах мощность расчетного почвенного слоя, подлежащего увлажнению при поливе, будет разная [1–3].

Например, при уровне грунтовых вод 1,5 м в песчаных отложениях и мощности верхнего слоя составленной суглинками почвы 1,0 м песчаные отложения находятся ниже верхнего слоя почвы, и грунтовые воды не участвуют во влагообмене корнеобитаемого почвенного слоя, то есть в его капиллярной подпитке, так как высота макрокапиллярной зоны в песках составляет всего 25 см. При этом в расчет режима орошения можно вводить весь слой почвы мощностью 1,0 м и осуществлять управление режимами орошения таким же образом, как и при глубоком залегании грунтовых вод.

Но если почвенный профиль однороден и на всю глубину составлен суглинками, в которых при уровне грунтовых вод 1,5 м макрокапиллярная кайма находится на глубине 20 см от поверхности почвы, то происходит активный влагообмен грунтовых вод с зоной аэрации. В данном случае управление режимами орошения должно проводиться по методике с близким уровнем грунтовых вод.

Таким образом, в расчет режима орошения необходимо вводить не уровень грунтовых вод, а глубину до макрокапиллярной каймы, которая является верхней границей макрокапиллярной зоны. При этом глубина до уровня грунтовых вод должна характеризовать начало системы отсчета высоты макрокапиллярной зоны и почвенного слоя с переменной влажностью, в котором осуществляется управление режимами орошения.

Из сказанного выше следует, что очень важно знать высоту макрокапиллярной зоны над уровнем грунтовых вод. Кроме того, большое значение имеет и скорость передвижения влаги по капиллярам. В природе величина суммарного испарения при достаточных энергетических и водных (имеется в виду неограниченное количество почвенной влаги или воды, поступающей по капиллярам от грунтовых вод) ресурсах ограничивается потенциальной скоростью передвижения влаги по капиллярам. В связи с этим при исследовании процессов влагообмена в зоне аэрации и расчетах водного баланса необходимо знать скорость передвижения воды по капиллярам. Данные об интенсивности капиллярного передвижения влаги в мелиоративных расчетах и прогнозах

играют большую роль, поскольку пресная капиллярная влага питает растения, а соленая несет с собой в корнеобитаемый слой токсичные соли, где они и откладываются.

Цель представленной работы – обосновать необходимость введения в расчет режима орошения глубину зоны аэрации до макрокапиллярной каймы.

Результаты исследований высоты макрокапиллярной каймы, скорости движения капиллярной влаги и потенциальной интенсивности пополнения капиллярной влагой отдельных почвенных слоев в лессовидных суглинках представлены далее в виде графиков. Исследования проводились на установке для определения высоты и скорости капиллярного подъема влаги в почве от уровня грунтовых вод.

Наиболее быстрое передвижение влаги от грунтовых вод по капиллярам вверх имеет место в начальный период (рисунок 1).

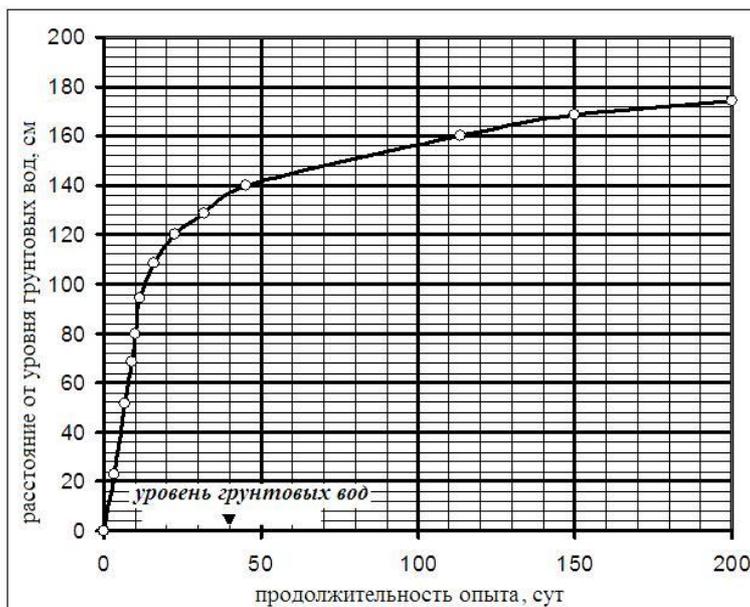


Рисунок 1 – График времени подъема макрокапиллярной каймы от грунтовых вод

Например, на высоту 50 см капиллярная влага способна подняться за двое суток, на высоту 100 см – за 10 суток, а на высоту 120 см – за 20 суток. Дальнейший подъем постепенно замедляется, и на высоту 180 см капиллярная влага поднимается за 310 суток.

На основе графика, представленного на рисунке 1, можно сделать вывод, что до высоты 140 см работают главным образом крупные капилляры, по которым вода поднимается с наибольшей скоростью, это и есть верхний предел макрокапиллярной зоны.

На высоте, превышающей 140 см, основную роль в подъеме воды в суглинках играют более мелкие капилляры, обладающие большими силами менисков.

Наглядное представление о скорости капиллярного подъема дает график, изображенный на рисунке 2.

Из этого графика следует, что выше 140 см от уровня грунтовых вод суточная скорость движения капиллярной влаги очень мала и существенного влияния на питание влагой растений не оказывает.

На рисунке 3 представлен график потенциальной интенсивности пополнения капиллярной влагой отдельных почвенных горизонтов. Этот график характеризует транспортирующую способность капиллярных сил в почве, то есть показывает, с какой интенсивностью в суточном ходе пополняются влагой отдельные грунтовые горизонты.

Например, при уровне грунтовых вод 2,0 м корневая система распространяется от поверхности до глубины 60 см, при этом растения не получают влаги от грунтовых вод. Таким образом, слой почвы 60 см является слоем переменной влажности, в кото-

ром все жизненные процессы растений зависят от поступления воды на поверхность почвы в виде осадков и поливов.

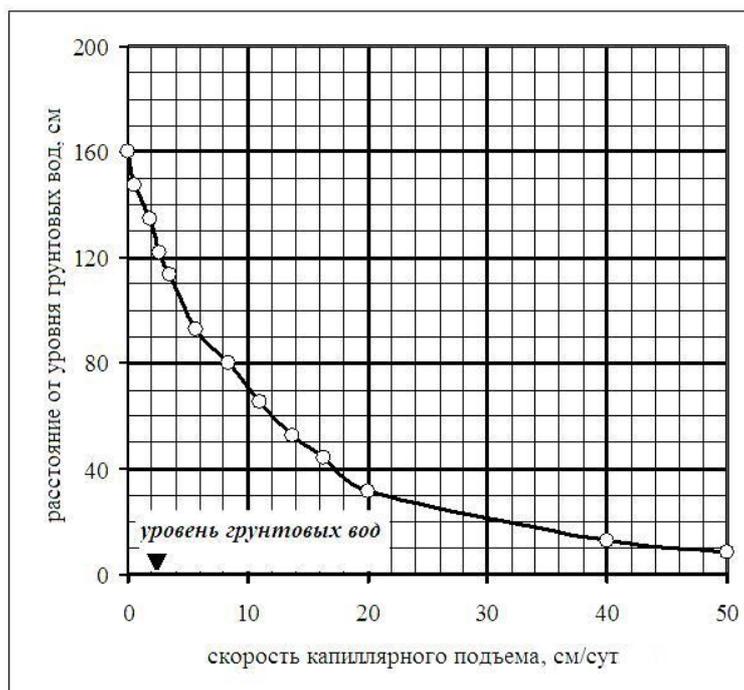


Рисунок 2 – График скорости капиллярного подъема влаги от грунтовых вод

Когда корневая система углубляется на 60 см, она может ежедневно потреблять 2,0 мм (или 20 м³/га) влаги, поступающей от грунтовых вод. При достижении корневой системой глубины 100 см, растения могут потреблять 9,0 мм (или 90 м³/га) капиллярной влаги, что в полной мере компенсирует расход воды, даже при максимальных значениях суммарного испарения. Поливы при этом не требуются, то есть растения полностью переходят на грунтовое питание. Глубже, в макрокапиллярную зону, корни растений не пойдут, поскольку в этом нет необходимости.

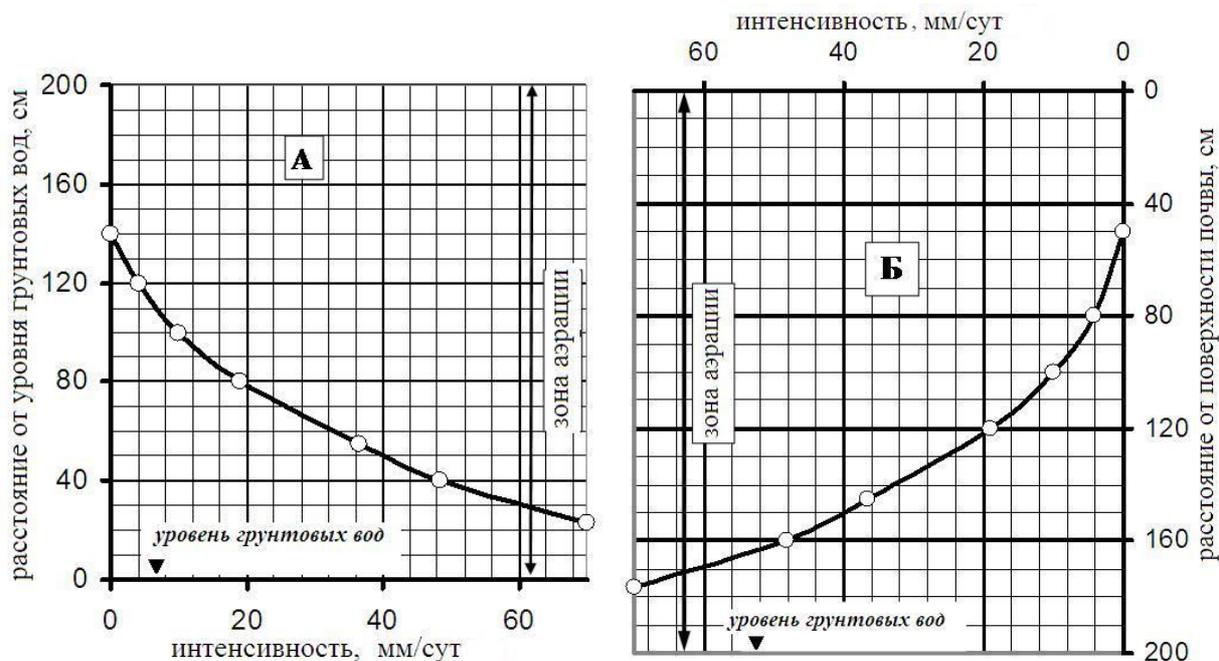


Рисунок 3 – График интенсивности пополнения влагой отдельных почвенных горизонтов при капиллярном подъеме воды от грунтовых вод

Комплексный график (рисунок 4) наглядно демонстрирует механизм участия грунтовых вод в суммарном испарении при разной глубине залегания грунтовых вод.

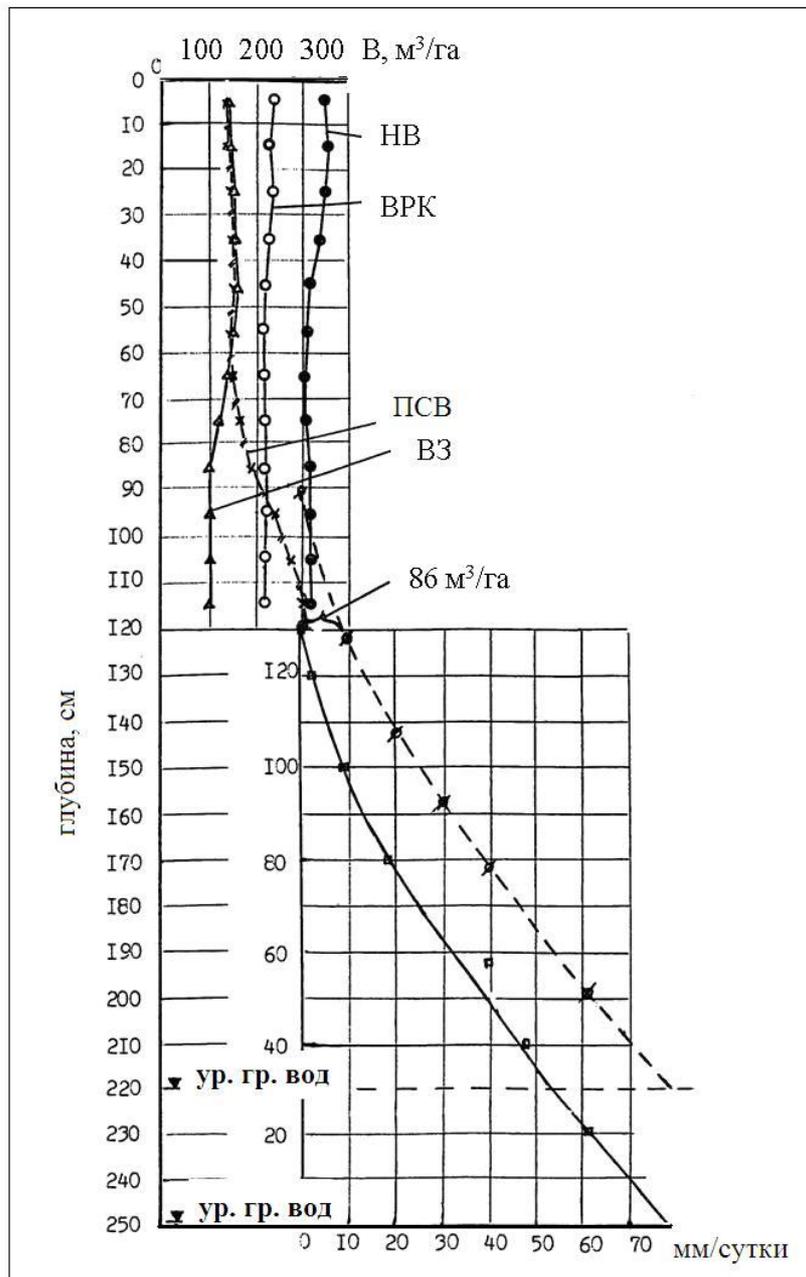


Рисунок 4 – Комплексный график, демонстрирующий участие грунтовых вод в питании зоны аэрации при изменении их уровня

В верхней части рисунка 4 представлены графики водно-физических характеристик почвы (от поверхности до глубины 1,2 м): наименьшая влагемкость (НВ), влажность разрыва капилляров (ВРК) и влажность завядания (ВЗ). Кроме того, там же приводится график порога срабатывания влагозапасов (ПСВ) для озимой пшеницы.

Как видно из графика ПСВ, к концу вегетации озимой пшеницы влагозапасы на поле отработываются до ВЗ (до глубины 65–70 см). В этом слое почвы находится основная масса корней (90 %), которые в конце вегетации потребляют контактным путем все производительные влагозапасы – от НВ до ВЗ. Ниже этой глубины потребление воды осуществляется под воздействием всасывающей способности корневой системы, то есть усваивается легкоподвижная влага, находящаяся в крупных капиллярах почвы. Глубже 120 см почвенная влага остается невостребованной.

В нижнюю часть рисунка 4 перенесен график (из рисунка 3) потенциальной интенсивности пополнения капиллярной влагой отдельных почвенных горизонтов при глубине залегания грунтовых вод 2,5 м. При уровне грунтовых вод 1,3 м ежедневное пополнение капиллярной влагой почвенного горизонта на глубине 1,2 м от поверхности почвы равно нулю. С этого же горизонта потребление влаги растениями также равно нулю.

В данном случае наглядно доказывается сформулированное ранее утверждение, что грунтовые воды, находящиеся на глубине 2,5 м практически не участвуют во влагообмене зоны аэрации.

Если допустить, что уровень грунтовых вод повысился с 2,5 до 2,2 м (пунктирная линия), то верхняя часть этого графика пройдет по тому слою почвы, из которого влага потребляется растениями на суммарное испарение. Суточное пополнение влагой корнеобитаемого слоя почвы при этом будет равно $86 \text{ м}^3/\text{га}$ (6,6 мм) в сутки, и в поливах уже нет необходимости, поскольку растения переходят на водное питание за счет грунтовых вод.

Выводы

1 В расчет режима орошения необходимо вводить не уровень грунтовых вод, а глубину до макрокапиллярной каймы, которая является верхней границей макрокапиллярной зоны, в то время как глубина до уровня грунтовых вод должна характеризовать начало системы отсчета высоты макрокапиллярной зоны и почвенного слоя с переменной влажностью, в котором осуществляется управление режимами орошения.

2 Слой почвы 60 см является слоем переменной влажности, в котором все жизненные процессы растений зависят от поступления воды на поверхность почвы в виде осадков и поливов.

3 Когда корневая система в суглинистых почвах углубляется на 60 см, она будет иметь возможность ежедневно потреблять 2,0 мм (или $20 \text{ м}^3/\text{га}$) воды, поступающей от грунтовых вод. При углублении корневой системы на 100 см растения могут потреблять 9,0 мм (или $90 \text{ м}^3/\text{га}$) капиллярной влаги, в полной мере компенсируя расход воды даже при максимальных значениях суммарного испарения. Поливы при этом не требуются, то есть растения переходят полностью на грунтовое питание.

4 Наиболее быстрое передвижение влаги по капиллярам вверх от грунтовых вод происходит в начальный период. На высоту 50 см капиллярная влага способна подняться за двое суток, на 100 см – за 10 суток, а на 120 см – за 20 суток, дальнейший подъем постепенно замедляется, и на высоту 180 см капиллярная влага поднимается за 310 суток.

5 До высоты 140 см работают в основном крупные капилляры, по которым вода поднимается с наибольшей скоростью, это и есть верхний предел макрокапиллярной зоны. На высоте, превышающей 140 см, основную роль в подъеме воды в суглинках играют более мелкие капилляры, обладающие большими силами менисков.

Список использованных источников

1 Роде, А. А. Водный режим почв и его регулирование / А. А. Роде. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 134 с.

2 Астапов, И. И. Высота капиллярного поднятия воды в почвах / И. И. Астапов // Почвоведение. – 1927. – Т. XII. – № 3. – С. 253.

3 Басалаев, Н. И. К вопросу о значении капиллярно-поднимающейся воды в водном балансе почвы / Н. И. Басалаев // Проблемы советского почвоведения. – М.: Изд-во АН СССР, 1936. – № 3. – С. 53–64.

4 Астапов, С. В. Мелиоративное почвоведение (практикум) / С. В. Астапов. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 369 с.

5 Тищенко, А. П. Управление режимами орошения сельскохозяйственных культур по инструментальному методу: монография / А. П. Тищенко. – Симферополь: Таврия, 2003. – 240 с.

УДК 631.4:552

А. Ахатов, Д. А. Махкамова

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ УЗБЕКИСТАНА

Изучение вещественного состава тонкодисперсной фракции орошаемых почв Янгибазарского района дает возможность охарактеризовать их как почвы с преобладанием хлоритово-монтмориллонитово-гидрослюдистой ассоциации глинистых минералов, содержащей каолиниты, тонкодисперсный кварц, окислы железа, алюминий и кремниевую кислоту. Результаты подсчетов доли глинистых минералов в почве с учетом количества илистой фракции в конкретном горизонте показывают, что в исследованных почвах доминируют гидрослюды и лабильные силикаты (минералы монтмориллонитовой группы), хлориты и каолиниты составляют незначительную часть. Это свидетельствует о том, что химические и физико-химические свойства, а также структурно сорбционные характеристики исследованных почв определяются в основном содержанием и соотношением в них гидрослюдистых и монтмориллонитовых групп минералов.

Ключевые слова: химический, минералогический, илистый, гумусовые вещества, глинистый минерал, коллоидные частицы, тонкодисперсный кварц, гидрослюда, каолинит, монтмориллонит.

В результате комплексного изучения минералогического (таблица 1) и валового химического состава (таблица 2) почв Янгибазарского района по профилю почвогрунта было выявлено, что содержание илстых и гумусовых веществ в них является низким, общая адсорбционная (гигроскопическая) удельная поверхность – незначительная. Полученные данные свидетельствуют об относительной однородности состава исследуемых почв.

Это связано с общностью условий осадконакопления и характером почвообразования в русловых и прирусловых отложениях Дарьялыка, слабым изменением почвообразующих пород и их высокодисперсных фракций в процессе выветривания и почвообразования, а также хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистой природой глинистых минералов, характеризующихся невысокой гигроскопической влагой [1, 2].

В соответствии с таблицей 2, по валовому химическому составу староорошаемые, новоорошаемые и новоосвоенные почвы различаются незначительно, что указывает на относительную однородность минералогического состава исходных пород в продуктах их выветривания и переотложения, послуживших основой для формирования мелкоземистых почвообразующих пород в этом районе.

Исходные породы и высокодисперсные продукты их выветривания слабо затронуты процессами почвообразования. Из таблицы 2 видно, что молекулярные отношения кремнезема к полуторным окислам железа и алюминия по профилю примерно одинаковы (в пределах 12,44–16,10 % и 3,79–4,25 % соответственно).

В староорошаемых луговых почвах по сравнению с новоосвоенными увеличивается содержание кремнезема, алюминия, железа, магния и уменьшается количество калия.

В высокодисперсных фракциях староорошаемых и новоорошаемых почв в процессе длительного орошения по сравнению с новоосвоенными уменьшается содержание свободного железа, а в нем – окристаллизованных и аморфных форм его соединений (таблица 3).

Эти данные указывают на то, что с передвижением коллоидных частиц, усилением условий затопляемого орошения и возрастанием степени гидроморфизма почвогрунтов процесс кристаллизации подвижного железа ослабевает.

Таблица 1 – Содержание гигроскопической и максимальной гигроскопической влаги, гумуса и подвижных полуторных окислов в илстой фракции почв

Почва, номер разреза	Горизонт, см	Гигроскопическая вла- га	Максимальная и гигроскопическая влага	Гумус	В %		
					SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Староорошаемая луговая среднесуглинистая, Р-75	0–41	3,45	15,03	1,50	0,20	2,40	0,28
	41–82	4,30	15,95	1,50	0,14	2,25	0,28
	128–155	4,55	15,34	1,15	0,22	1,75	0,20
Новоорошаемая луговая среднесуглинистая, Р-83	0–39	4,50	15,98	1,62	0,16	2,15	0,35
	39–76	-	-	1,92	0,23	3,15	0,20
	76–132	4,00	14,90	1,15	0,21	2,55	0,15
Новоосвоенная луговая легкосуглинистая, Р-85	0–21	4,67	14,50	1,26	0,18	2,65	0,22
	21–37	3,40	14,68	1,38	0,22	2,70	0,25
	97–140	2,80	13,95	1,50	0,19	2,75	0,15

Таблица 2 – Валовой химический состав илстой фракции почв

Почва, номер разреза	Глубина, см	В % на прокаленную навеску										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$
Староорошаемая луговая среднесуглинистая, Р-75	0–41	63,25	23,13	10,57	0,25	0,51	4,81	2,55	3,24	4,00	15,10	3,23
	41–82	53,86	23,45	11,42	0,27	0,67	5,21	2,65	3,01	4,06	12,65	3,38
	128–155	53,36	23,24	9,83	0,21	0,41	4,95	2,60	3,21	4,10	15,42	3,57
Новоорошаемая луговая среднесуглинистая, Р-83	0–39	53,85	22,67	10,33	0,23	0,47	4,68	2,61	3,29	4,18	12,44	2,30
	39–76	54,15	23,51	11,02	0,24	0,63	5,07	2,73	3,79	3,79	12,74	3,30
	76–132	53,75	22,82	10,49	0,26	0,39	4,73	2,67	3,13	4,15	12,47	3,33
Новоосвоенная луговая легкосуглинистая, Р-85	0–21	54,12	22,85	10,27	0,21	0,42	4,56	2,51	3,31	4,25	13,50	3,20
	21–37	55,05	23,06	10,56	0,22	0,53	4,92	2,79	3,55	4,20	16,10	3,30
	97–140	54,07	22,91	11,13	0,24	0,35	4,71	2,61	3,27	3,97	12,66	3,29

Таблица 3 – Распределение форм соединений железа в илстой фракции почв

В %

Почва, номер разреза	Глубина, см	Валовая форма Fe ₂ O ₃	Группа соединений				Форма соединений			
			силикатная		свободная		окристаллизованная		аморфная	
			%	% от валовой	%	% от валовой	%	% от валовой	%	% от валовой
Староорошаемая луговая среднесуглинистая, Р-75	0–41	10,57	6,41	60,64	4,16	39,36	1,76	16,65	2,40	22,71
	41–82	11,42	6,67	58,40	4,75	41,59	2,50	21,89	2,25	19,70
	128–155	9,23	6,78	73,45	3,05	33,04	1,30	14,08	1,75	18,95
Новоорошаемая луговая среднесуглинистая, Р-83	0–39	10,33	5,90	57,11	4,43	42,88	2,28	22,07	2,15	20,81
	39–76	11,02	6,20	56,26	4,82	43,73	1,58	14,34	3,15	28,58
Новоосвоенная луговая легкосуглинистая, Р-85	0–21	10,27	5,60	54,53	4,67	45,47	2,02	19,67	2,65	25,80
	21–37	11,56	6,26	54,15	4,30	37,19	1,60	13,84	2,70	23,35
	97–140	11,13	6,65	59,75	4,48	40,25	1,73	15,54	2,75	24,71

Изучение вещественного состава тонкодисперсной фракции орошаемых почв Янгибазарского района дает возможность охарактеризовать их как почвы с преобладанием хлоритово-монтмориллонитово-гидрослюдистой ассоциации глинистых минералов с содержанием каолинитов, тонкодисперсного кварца, окислов железа, алюминия и кремниевой кислоты.

Результаты подсчетов доли глинистых минералов в почве с учетом количества илистой фракции в конкретном горизонте показывают, что в исследованных почвах доминируют гидрослюды и лабильные силикаты (минералы монтмориллонитовой группы) (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание основных групп глинистых минералов в илистой фракции почв

Почва, номер разреза	Глубина, см	% от суммы глинистых минералов			% почвы с учетом содержания илистой фракции		
		К + X	Г	ЛС	К + X	Г	ЛС
Новоосвоенная луговая легко- суглинистая, Р-85	0–21	16	41	43	2,02	5,17	5,42
	21–37	18	44	38	2,70	6,60	5,70
	97–140	21	41	40	2,60	5,74	5,60
Новоорошаемая луговая сред- несуглинистая, Р-83	0–39	17	44	39	2,07	5,37	4,76
	39–76	18	45	37	-	-	-
	76–132	21	39	40	1,28	2,38	2,44
Староорошаемая луговая среднесуглинистая, Р-75	0–41	18	44	38	2,93	7,17	6,19
	41–82	19	45	39	2,32	6,79	4,76
	122–155	19	40	41	3,63	7,04	7,83

Примечание – Г – гидрослюда; К + X – каолинит + хлорит; ЛС – лабильные силикаты (минералы монтмориллонитовой группы, характеризующиеся лабильной структурой).

Содержание хлоритов и каолинита в этих почвах низкое. Это свидетельствует о том, что химические и физико-химические свойства, а также структурно сорбционные характеристики исследованных почв определяются в основном содержанием и соотношением в них гидрослюдистых и монтмориллонитовых групп минералов.

Список использованных источников

1 Исмаатов, Д. Р. Минералогический состав и физико-химические свойства почв южного Узбекистана / Д. Р. Исмаатов. – Ташкент: ФАН, 1989. – 184 с.

2 Турсунов, Л. Почвенные условия орошаемых земель западной части Узбекистана / Л. Турсунов; под ред. С. Н. Рыжова. – Ташкент: ФАН, 1981. – 224 с.

УДК 631.67

Э. Э. Сейтумеров

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЧИЩЕННЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СТОКОВ И КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА

В связи с прекращением подачи воды по Северо-Крымскому каналу учеными и специалистами водохозяйственного комплекса Республики Крым была поставлена задача – разработать предложения по организации рационального и эффективного использования имеющихся территориальных водных ресурсов в различных секторах

экономики. В этой связи является очень актуальным применение экономически и технологических возможных альтернативных источников: опреснение морской воды, очистка канализационных и дренажных стоков.

Целью исследований являлось выявление направлений развития стратегии водобеспечения Республики Крым на основе комплексного использования местных водных ресурсов.

Территория Крым находится в зоне недостаточного увлажнения. При среднемноголетнем количестве осадков 300–360 мм для нормального роста и развития растений в зависимости от продолжительности вегетационного периода требуется 500–800 мм, т. е. осадков выпадает в 2 раза меньше, чем необходимо [1]. По определению Европейской экономической комиссии ООН, обеспеченность региона водными ресурсами считается достаточной при их наличии более 1,70 тыс. м³ в год на одного человека. Водобеспеченность Крыма характеризуется величиной 0,41 тыс. м³ в год [2], что меньше порогового значения 1,00 тыс. м³ в год на 1 чел. Именно по этой причине в советское время был реализован проект по строительству Северо-Крымского канала (ССК). Он представляет собой уникальное гидротехническое сооружение, аналога которому не было в Европе. Протяженность канала составляет более 400 км.

В начале 90-х гг. прошлого века по каналу на территорию Крыма подавалось более 3 км³ в год, из которых около 20 % использовалось на улучшение водоснабжения в основном восточных городов Крыма и частично г. Симферополя и г. Севастополя. В 90-е гг. в Крыму насчитывалось 397,3 тыс. га орошаемых земель. На этой площади стабильно производилось 50 % от общего объема валовой продукции растениеводства, в том числе 26 % зерна, 98 % овощей, кормовых 73 % культур, 100 % технических культур.

Засушливые погодные условия последних лет служат наглядным примером неоптимальной роли орошаемого земледелия, поскольку наблюдается значительный недобор важнейших сельскохозяйственных продуктов: зерна, овощей, технических культур, фруктов и кормов, что, в свою очередь, сказывается на производстве продукции животноводства.

Начало 2014 г. после перекрытия ССК для орошаемой отрасли аграрного сектора экономики стало критической точкой, площади орошаемых земель постоянно сокращались. По сравнению с 1990 г. они сократилась в 23 раза, а с 2013 г. (последний год работы ССК) – в 7,8 раза.

В настоящее время единственным источником покрытия дефицита водных ресурсов могут быть только местные водные ресурсы, включающие поверхностные и подземные воды и небольшая часть опресненной морской воды, используемая исключительно для технических нужд.

Местные водные ресурсы Крыма в зависимости от водности года обеспечивают потребности населения и отраслей экономики только на 25–30 %.

Поверхностные водные ресурсы формируются: реками, которых в Крыму насчитывается 1657 шт.; прудами – 1930 шт.; озерами и лиманами – 300 шт.; родниками – в количестве около 3 тыс. [3].

С целью аккумуляции водных ресурсов построено 15 водохранилищ общим проектным объемом 253,05 млн м³. Однако за последние пять засушливых лет практически ни одно водохранилище естественного стока не набирало проектного объема воды. К примеру, в 2013 г. запасы воды во всех водохранилищах естественного стока составляли 39,0 % от проектного объема, в 2014 г. на тот же период – 41,3 %, а в 2015 г. – 71,1 %.

С учетом климатических условий, сложившихся за последние пять лет, и прогнозов на ближайшие годы общий запас воды в 2016 г. может составлять в пределах 70–75 % от проектного объема, или 180–190 млн м³.

Уровень разведанных подземных вод Крыма достаточно высок (более 75 %). Разведано 11 месторождений местных подземных вод, которые состоят из 78 участков. Пресные подземные воды – это важнейший природный ресурс, который используется

повсеместно и постоянно. Пресные и слабоминерализованные (менее $1,5 \text{ г/дм}^3$) подземные воды являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения в Крыму. Распространены они почти на всей территории Крыма, за исключением незначительного по площади участка в его юго-восточной части.

По имеющимся данным [4], на территории Республики Крым разведанные и оцененные запасы подземных вод (с минерализацией до $1,5 \text{ г/дм}^3$) составляют 1104,60 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. По сравнению с 1990 г. забор воды из подземных источников к 2014 г. уменьшился почти в 4 раза (с 257,80 до 69,45 млн м^3 в год) [5]. Сокращение отбора воды из подземных водоисточников за последние годы послужило благоприятным фактором для стабилизации гидродинамического режима. Однако в связи с образовавшимся на полуострове острым дефицитом водных ресурсов некоторые регионы восточного Крыма остались практически без питьевого водообеспечения. Для выхода из сложившейся критической ситуации в середине 2014 г. было принято решение о строительстве трех водозаборов (Неженского, Просторненского и Новогригорьевского). В 2015 г. были введены в эксплуатацию Неженский и Просторненский водозаборы с общим объемом 120 тыс. м^3 в сут. После ввода третьего (Новогригорьевского) водозабора общий дебит забора подземных вод может достичь 190 тыс. м^3 в сут (или 69,35 млн $\text{м}^3/\text{в год}$). Однако, ввиду особенностей гидрогеологических условий Крыма, существует связь водоносных горизонтов с морскими водами и минерализованными соседствующими месторождениями, осложняющая отбор пресной подземной воды. В 70-е гг. в период развития и широкого применения орошения подземные воды активно использовали для полива сельскохозяйственных культур. В результате этого отбор воды намного превышал естественное питание подземных вод, в связи с чем сформировались депрессионные воронки с понижением до 30 м, в которые начали поступать минерализованные воды из смежных водоносных горизонтов.

Наиболее эффективным методом обеспечения рациональной добычи подземных вод может стать государственный мониторинг за отбором и пополнением запасов подземных вод с целью принятия своевременных управленческих решений для недопущения истощения подземных источников водоснабжения и ухудшения их качества.

Одним из источников повышения водообеспеченности Крыма может быть повторное использование сбросных и сточных вод. По оценке экспертов, в Крыму во внутренние водные бассейны и акваторию Азовского и Черного морей ежегодно сбрасывается более 200 млн м^3 пресной воды различной степени минерализации и загрязнения техногенными химическими ингредиентами, а также около 120 млн м^3 дренажно-сбросных вод мелиоративных систем и более 100 млн м^3 городских коммунальных стоков.

Однако повторно сточные воды практически не используются. Этот огромный резерв водных ресурсов необходимо в обязательном порядке учитывать и применять для преодоления дефицита водных ресурсов в Крыму. Решить такую сложную задачу в полном объеме и в короткий срок невозможно. Поэтому на первом этапе предлагается на примере пилотных объектов разработать технологию доочистки, обосновать экономическую эффективность и эколого-социальную необходимость использования сточных вод после доочистки для орошения.

В мае и июне 2015 г. в Крыму были выполнены исследования на предмет возможности использования канализационных стоков городов и поселков Крыма и коллекторно-дренажных вод мелиорируемых площадей предгорного и Степного Крыма при орошении сельскохозяйственных культур. В частности, были проведены экспериментальные исследования по очистке дренажно-коллекторных вод на ГК-4 (г. Джанкой), вод р. Салгир, а также канализационных стоков пос. Гвардейского и воды из резервуара-накопителя, используемой для полива садов. Кроме того, выполнен анализ деятельности городских КОС г. Симферополя и качества очистки стоков.

Количество стоков, поступающих на очистку, составляет 111,6 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, из них 60 % – хозяйственно-бытовые стоки и 40 % – стоки промышленных предприятий.

Гидравлическая нагрузка на сооружения составляет 93–100 % проектной величины. Установлено, что 80–85 % среднесуточного поступления загрязнений со стоками приходится на дневные часы и только 15–20 % – на ночные. При такой технологической схеме, когда по длинной сети самотечных коллекторов сточные воды попадают в главный коллектор, куда сбрасываются и сточные воды промышленных предприятий, которые на своей территории имеют насосные станции с приемными резервуарами и откачивают свои стоки по мере накопления, сточная вода теряет свою стабильность и склонность к биологической очистке.

Качественный состав стоков характеризуется большим разнообразием, непостоянством и частыми залповыми сбросами высококонцентрированных токсичных веществ с промпредприятий. Один из главных показателей, определяющих возможность совместной очистки хозяйственно-бытовых и промышленных стоков, соотношение ХПК и БПК превышает 3,2 (среднее 2,5), а в соответствии с нормативной документацией такое соотношение не должно превышать 1,5.

В поступающих на сооружения промышленных стоках содержатся в основном трудно или практически не окисляемые соединения при биологической очистке в аэротенках. Проектный показатель по содержанию взвешенных веществ при залповых сбросах с промпредприятий повышается в 2–3 раза. Несмотря на высокую степень задержания на сооружениях жиров, нефте- и маслопродуктов, которые не допустимы, они постоянно присутствуют в стоках в нерастворенном виде.

Проведенные исследования по очистке сточных и коллекторно-дренажных вод на территории Крыма по технологиям ООО «Сибводразработка» показали возможность достижения их глубокой очистки. По предварительным данным, полученная очищенная вода по показателям (рН – 6–8; сумма солей – около 200–1000 мг/дм³, общая жесткость от 2 до 10 мг-экв./дм³, сульфаты – не более 500 мг/дм³, хлориды ≈ 500 мг/дм³) может быть пригодной для полива садов и виноградников, а также технических культур.

В дальнейшем планируется проведение более углубленных исследований сточных вод КОС г. Симферополя, г. Керчи, пгт. Гвардейского, минерализованных грунтовых вод Симферопольского и Черноморского районов, дренажно-коллекторных вод Нижнегорского района с целью разработки схемы очистки сточных вод под заказ товаропроизводителей сельскохозяйственной продукции и их соответствия требованиям к качеству оросительной воды.

Выводы. С учетом сложившейся ситуации в Республике Крым в плане острого дефицита водных ресурсов в качестве практических мероприятий, позволяющих улучшить водообеспечение региона, можно предложить:

- изменения в структуре сельскохозяйственного производства, в частности сокращение доли влаголюбивых культур;
- сокращение, в дальнейшем полное исключение нерационального использования водных ресурсов во всех отраслях производства;
- внедрение водосберегающих технологий в промышленность, сельское и коммунальное хозяйство;
- создание бюветов и накопителей питьевой воды для обеспечения питьевого водоснабжения в сельских населенных пунктах;
- восстановление базы гарантированного и стабильного производства сельскохозяйственной продукции;
- обоснование целесообразности создания новых наливных водохранилищ на местном стоке;
- разработка мероприятий повторного использования сточных и дренажных вод;
- применение современных технологий и установок по улучшению качества питьевой воды, в том числе локальных очистных сооружений;
- поиск путей восполнения запасов подземных вод и разработка мероприятий по комплексному использованию поверхностных и подземных вод;

- улучшение социально-экономических условий жизни сельского населения;
- создание условий для улучшения экологического состояния окружающей среды.

Список использованных источников

1 Водное хозяйство Крыма / Гос. ком. Украины по вод. хоз-ву, Респ. ком. АРК по водохоз. стр-ву и орошаемому земледелию; под ред. П. Ф. Дудкова. – Симферополь: Доля, 2008. – 264 с.

2 Крым в деталях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://krimspec.org/infrastructure/vodosnab>.

3 Устойчивый Крым. Водные ресурсы / под ред. В. С. Тарасенко. – Симферополь: Таврида, 2003. – 413 с.

4 Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2014 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meco.rk.gov.ru/>.

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

УДК 502.2.05:551.5 + 502.5(25)

В. Х. Шеримбетов

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

ЗАСУХА КАК ГЛАВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ АРИДИЗАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСНОВНЫХ ИНДИКАТОРОВ ПРОЦЕССОВ ОПУСТЫНИВАНИЯ

В статье представлен материал о климатических условиях Джизакской степи: формирование климата, распределение атмосферных осадков, средняя многолетняя температура воздуха и т. д. По результатам исследований автором было выявлено, что наиболее существенными климатическими факторами опустынивания изучаемой территории являются: весенняя и осенняя засуха, суховеи, сильные ветры, пыльные бури. Преобладание испарения над поступлением влаги способствует засолению, особенно интенсивно эти процессы происходят в зонах сокращения площади водоемов. Климатические параметры (температура и влажность воздуха, атмосферные осадки, ветер и др.) определяют интенсивность физического испарения, степень увлажнения почв и, следовательно, процессы дефляции и эрозии.

Ключевые слова: аридизация, опустынивание, климатические условия, засуха, свойства почв, эрозия, засоление.

Аридизация (*aridization*, от лат. *aridus* – сухой) – это комплекс процессов уменьшения степени увлажнения территорий, который вызывает снижение биологической продуктивности экосистем за счет сокращения разницы между осадками и испарением. Со временем испарение начинает преобладать над осадками. Существенная аридизация суши произошла во время бурного развития сельского хозяйства вследствие вырубki лесов и снижения в результате этого суммарного испарения.

Климатические условия исследуемой территории во многом предопределяют возможность проявления процессов опустынивания и их интенсивность. Как известно, современное опустынивание развивается в последние десятилетия в условиях глобального потепления (*Climate Change*, 2001), характеризующегося повышением среднегодовой приземной температуры воздуха на суше, особенно в засушливых внутриконтинентальных регионах. Одновременно вне засушливых регионов суши отмечается слабая тенденция к увеличению количества осадков.

Характер засушливости изменчив в пространстве и времени даже при стабильном климате, частые засухи изредка прерываются сильными дождями. Засухи поддерживают

аридизацию земель, которую можно рассматривать как начальную стадию опустынивания. Многолетние группировки влажных лет создают предпосылки для восстановления растительного покрова на слабодegradированных землях. С этой точки зрения термин «деградация», относящийся к наиболее динамичной характеристике засушливых земель – продуктивности растительного покрова, должен предполагать обратимость процесса.

Климатические условия юго-западной, предгорной части Джизакской степи с развитыми здесь типичными и светлыми сероземами характеризуются данными метеостанций Джизака. Здесь уместно отметить, что ввиду больших различий абсолютных отметок поверхности Джизакской степи, характера покровных отложений, геоморфологических и гидрогеологических условий, имеющиеся в настоящее время метеостанции не в полной мере характеризуют элементы климата отдельных районов территории. Как справедливо отмечает Л. А. Молчанов (1960), для подробного изучения структуры ветров, направления движения воздушных масс с сопровождающими их изменениями погоды и для установления незначительных, но имеющих некоторое значение для сельского хозяйства микроклиматических различий отдельных районов степи необходимо устройство дополнительных метеостанций и наблюдательных пунктов.

В формировании климата Джизакской степи большое значение имеет расположение окаймляющих ее горных хребтов по отношению к основным путям движения воздушных масс и наличие сравнительно узкого межгорного Ленинабадского прохода. С приближением к горным хребтам и подъемом вверх по склонам несколько увеличивается количество годовых осадков. Кроме того, горные системы способствуют застаиванию над Джизакской степью воздушных масс в зимний период и понижению температуры до очень низких пределов. Зимний период в Джизакской степи длится в среднем 90–100 дней. Средняя суточная температура зимой составляет менее 5 °С. Только январь отличается среднемесячными отрицательными температурами. Так, средние температуры января составляют 0,8–1,1 °С, а абсолютные минимумы (22–23 °С ниже нуля) наблюдаются в декабре и январе. Низкие зимние температуры свойственны равнинной пониженной части степи, где застаиваются холодные воздушные массы.

В предгорьях зимние температуры несколько выше. Снежный покров неустойчив. В равнинной части территории продолжительность и мощность снежного покрова немало увеличивается по направлению с юго-запада на северо-восток, а также по мере возрастания абсолютной высоты места в предгорьях. Средняя продолжительность снежного покрова колеблется между 30 и 40 днями, а его мощность – около 5 см. Обычно снежный покров начинает образовываться в ноябре и сходит в марте. Число «вегетационных» зим в Джизакской степи составляет около 45–50 %. Для зимы в Джизакской степи характерно развитие сильных юго-восточных ветров, скорость которых часто превышает 20–25 м/с, а временами достигает 40 м/с. Среднегодовое количество дней с такой скоростью ветра составляет около 52 и распространяются на 40–50 км на запад.

С первой декады марта начинается весенний влажный сезон. Осадки весной неустойчивы, но обильны. Наиболее дождливый на равнине – март, в предгорьях – апрель. В северной и восточной частях Джизакской степи выпадает 305–312 мм осадков в год. По мере продвижения к предгорьям количество осадков возрастает с 351 до 425 мм в год, 70–80 % осадков выпадает в зимне-весенний период и лишь 17–19 % приходится на осень. Меньше всего осадков выпадает летом. Наиболее засушливыми являются август и сентябрь. Годовое число дней с осадками составляет в среднем 60–80. В течение весны в Джизакской степи дуют сильные ветры юго-восточного направления, особенно в районах, прилегающих к Ферганской долине.

Обычно весенние заморозки в Джизакской степи прекращаются уже в марте. Но в отдельные годы они наблюдаются и в конце апреля, что ведет к гибели всходов хлопчатника и необходимости подсева или пересева. Обычно в конце апреля и в первой половине мая температура воздуха повышается, увеличивается сухость воздуха и

усиливается испарение. Время наступления сухого знойного лета очень неопределенно.

Погода в летний период устойчива и характеризуется высокими температурами воздуха днем и заметными понижениями ночью, что говорит о значительных суточных амплитудах колебания температуры. Средние температуры июля (самого жаркого месяца) составляют 28,5–30,0 °С, а среднегодовая температура колеблется в пределах 14–15 °С. Температура летних месяцев повышается по направлению с северо-востока на юго-запад и запад, по направлению к пустыне. В дневные часы температура обычно превышает 40 °С, достигая в отдельные годы 46–47 °С.

По мнению Л. Н. Бабушкина (1953), по уровню летней температуры Джизакская степь близка к самым жарким районам Узбекистана. Она соперничает в этом отношении с равнинными частями Кашкадарьинской области и несколько уступает равнинным районам Сурхандарьинской области. Термические ресурсы лета в Джизакской степи составляют около 80–85 % от общих термических ресурсов теплого времени года.

В течение пяти месяцев (с мая по сентябрь) средние температуры воздуха – выше 20 °С. Этот период отличается наиболее высокими средними и максимальными температурами. Продолжительность безморозного периода составляет 210–216 дней, что наряду с большой суммой эффективных температур, превышающей 4500 °С, позволяет выращивать многие теплолюбивые культуры и проводить повторные посевы. Годовая испаряемость влаги на территории Джизакской степи составляет 1400–1500 мм. Наибольших месячных величин испаряемость достигает в июле, за теплое полугодие испаряется около 3/4 годовой суммы.

Летом ветры в Джизакской степи преимущественно северного и северо-западного направлений, т. е. преобладает тяга воздуха к Ферганской долине, а зимой – из долины. Среднее число дней с суховеями (гармсили) в летние месяцы составляет в Джизаке от 17 до 25.

В сентябре, а иногда в конце августа летняя погода начинает несколько меняться. Постепенно понижается температура. Первые осенние заморозки, повреждающие хлопчатник в Джизакской степи, наблюдаются обычно в первых числах ноября. Среднемноголетнее количество атмосферных осадков по данным Джизакской гидрометеорологической станции составляет 250,8–297,3 мм.

За время исследований количество атмосферных осадков по годам резко различалось. Если в 2008 г. выпало 297,3 мм осадков, то в 2009–2010 гг. – 250,8–289,2 мм. Количество осадков здесь неравномерно также на протяжении календарного года, как и по всему Узбекистану. Наибольшее количество осадков выпадает в зимне-весенний период, летом и осенью – очень мало.

Распределение атмосферных осадков по региону неравномерно и тесно связано с орографией и высотой местности над уровнем моря. Максимальное количество осадков выпадает в осенне-зимне-весенний период, с максимумом в марте и апреле (рисунок 1).

Лето и начало осени наиболее засушливые, минимум достигается с июля по сентябрь (1,0–40,3 мм). С повышением высоты местности количество осадков увеличивается. Весенние осадки зачастую выпадают в виде кратковременных ливней, интенсивность которых составляет 0,5–3,0 мм/мин.

Средняя многолетняя температура воздуха составляет от 13,3 до 13,7 °С. Средняя многолетняя температура поверхности почвы колеблется в пределах 15,1–16,3 °С (рисунок 2). Данные температуры почвы в значительной мере зависят от местоположения, высоты, растительного покрова, степени засоления.

Внутриматериковое положение и удаленность рассматриваемого объекта (Джизакская степь) от морей, обуславливающие очень высокий уровень температуры поверхности почвы и воздуха в летний период, малое количество выпадающих осадков, низкая относительная влажность воздуха, высокая испаряемость и резкая континентальность этих показателей в суточном и годовом ходе способствуют интенсивному

проявлению процессов засоления. Все эти особенности климата Джизакской степи позволяют отнести его к полупустынно-степному типу, включающему в себя два пояса вертикальной зональности – типичные сероземы и светлые сероземов. Климатические условия описываемого района изучались указанными выше метеостанциями, данные которых были использованы автором.

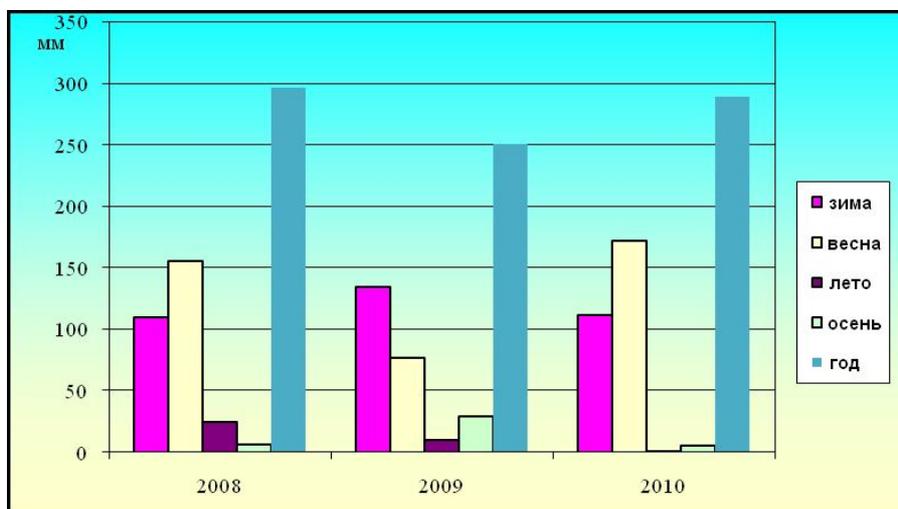


Рисунок 1 – Распределение количества осадков по сезонам года в период исследований

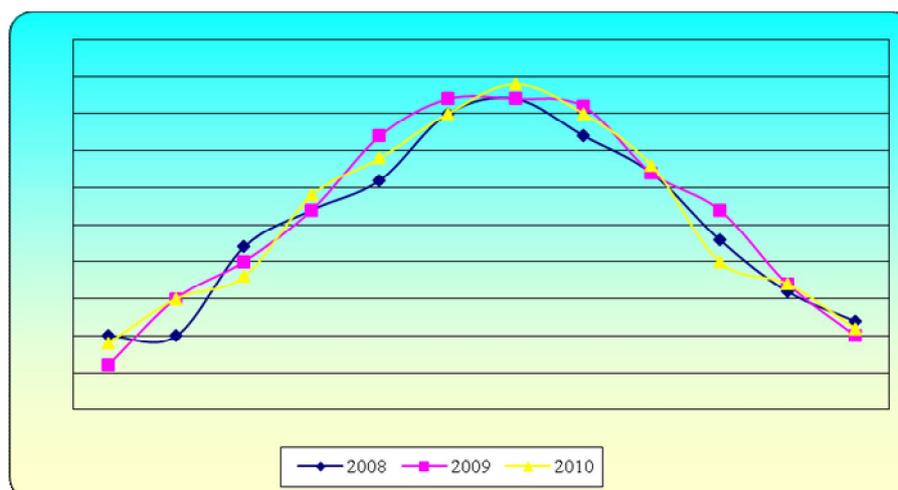


Рисунок 2 – Среднеголетняя температура поверхности почвы по месяцам в период исследований, °C

Из вышеизложенной характеристики климата вытекает, что небольшое количество атмосферных осадков, высокая температура воздуха, низкая его влажность, обилие ветров и обусловленная всем этим высокая величина испаряемости влаги позволяет отнести Джизакскую степь к территории проведения мелиоративных мероприятий, в состав которых должны входить и противоэрозионные меры. Проектом освоения необходимо предусмотреть интенсивное облесение всей территории Джизакской степи, особенно ее восточной части. Большое внимание должно уделяться мероприятиям, эффективно препятствующим испарению влаги с поверхности почвы, для предотвращения перемещения легкорастворимых солей из нижних горизонтов почвы к верхним.

Исходя из выше сказанного, наиболее существенными климатическими факторами опустынивания исследуемой территории являются: весенние и осенние засухи, суховеи, сильные ветры, пыльные бури. Преобладание испарения над поступлением влаги способствует засолению, особенно интенсивно эти процессы происходят в зонах

сокращения площади водоемов. Климатические параметры (температура и влажность воздуха, атмосферные осадки, ветер и др.) определяют интенсивность физического испарения, степень увлажнения почвы и, следовательно, процессы дефляции и эрозии.

Во время засух в Джизакской степи существенно увеличивается испарение с поверхности водоемов, орошаемых земель и обводняемых степей, усиливается транспирация растений. Регулярное повторение таких явлений приводит к концентрации солей в почвах, повышению минерализации грунтовых вод, осушению верхнего слоя почв. В результате нарушаются физиологические функции растений, возникают повреждения отдаленных органов и возможна гибель растений.

Список использованных источников

1 Бабушкин, Л. Н. Климат Узбекистана / Л. Н. Бабушкин. – Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1953.

2 Молчанов, Л. А. Работа географического кружка / Л. А. Молчанов. – М.: Просвещение, 1960. – 76 с.

3 Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Cambridge university press [Electronic resource]. – Mode of access: http://hcl.harvard.edu/collections/ipcc/docs/26__wg2TAR-spm.pdf.

УДК 631.4:631.6

Н. И. Сабитова

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
Республика Узбекистан

А. У. Ахмедов

Государственный научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии,
Ташкент, Республика Узбекистан

О. Ш. Рузикулова

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

СИСТЕМНО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ МЕЖГОРНЫХ ДОЛИН

Цель исследований – показать возможности использования системно-структурного анализа в изучении картографирования почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель. Для достижения поставленной цели проведены комплексные почвенно-мелиоративные исследования на примере бассейна р. Зерафшан, направленные на выявление закономерностей изменения глубины залегания и химического состава грунтовых вод, а также степени и типа засоления, содержания водорастворимых и токсичных солей в орошаемых почвах. Системно-структурный анализ исследуемой территории позволил установить причины и закономерности формирования почвенного покрова, региональные особенности соленакопления, а также зависимость пространственной дифференциации засоления почв от геолого-геоморфологических условий. Зависимость засоления почв и их химического состава была установлена по движению потоковых структур, что отражено на почвенно-мелиоративной карте.

Ключевые слова: системно-структурный анализ, пластика рельефа, литодинамические потоковые структуры, орошаемые почвы, засоление почв, водно-солевой режим, коллекторно-дренажные воды, мелиорация почв, почвенно-мелиоративная карта.

Одной из особенных и важнейших зон орошаемого земледелия в Узбекистане является зона возделывания хлопка. Несмотря на серьезные достижения в развитии мелиоративных работ опасность соленакопления и вторичного засоления орошаемых земель не снижается. Вследствие накопления токсичных солей происходит дальнейшее снижение

плодородия почв, так как меры по борьбе с засолением оказываются недостаточными и не всегда эффективными. В связи с этим актуализируются проводимые исследования.

Изучение процесса распространения засоленных почв требует постоянного поиска новых методологических подходов к выявлению тенденций миграции солей, а также определению количественных параметров их изменений. Для решения данной задачи в Национальном университете Узбекистана и Ташкентском институте ирригации и мелиорации ведутся работы по внедрению системно-структурных подходов к исследованию генезиса засоления почв, а также способов картирования почвенно-мелиоративных условий. Создать геометрическую пространственную модель системы (геосистемы) – бассейна можно с помощью карты, в которой отражены результаты исследований многообразных внутренних и внешних связей, а также механизмов формирования устойчивой морфологической (геолого-геоморфологической) структуры организации и становления почв и их химического состава.

Системный подход включает в себя такие понятия, как подсистема, элемент, структура. Если подсистема представляет собой бассейн, то элементами системы являются обособленные части бассейна с четко выраженными природными границами, а структура – это закономерность пространственных связей элементов, образующих единое целое. Функциональная связь между структурными частями геосистемы осуществляется под влиянием одного единственного фактора – гравитационного потока.

Для изображения геосистем, подсистем и их элементов исследуемой территории и в дальнейшем создания почвенно-мелиоративной карты масштаба 1:200 000 долины р. Зерафшан целесообразно использовать метод пластики рельефа [1, 2]. Данный метод предполагает проведение на топографической карте масштаба 1:100 000 основных и второстепенных тальвегов и окружающих их водоразделов, тем самым устанавливаются разноуровневые бассейны водных потоков и суходолов, отражающих графический образ потоковых структур. Картооснова, выполненная на базе топографической карты и результатов дешифрирования АКФС, в дальнейшем послужила для установления закономерностей проявлений дифференциации солей в почвах.

В качестве фактического материала при составлении почвенно-мелиоративных карт использовались результаты полевых исследований, аналитические данные лабораторных испытаний, дистанционные съемки. Изучение почв на ключевых площадках, лабораторно-аналитические работы и составление почвенно-мелиоративной карты долины р. Зерафшан проводились совместно с сотрудниками (О. У. Ахмедов, Г. Парпиев и др.) Государственного научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии (г. Ташкент) [3, 4]. С целью изучения процесса миграции солей и выявления их пространственной дифференциации в бассейне р. Зерафшан были выбраны 10 опорных (ключевых) хозяйств, расположенных на участках с различным движением грунтовых вод. Ранее выделенные потоковые структуры позволили определить как места заложения основных опорных точек наблюдения (опорные хозяйства) отдельных шурфов, так и точек отбора проб грунтовых вод.

При выборе точек наблюдения использовались аэроснимки, которые позволили обозначить границы участков преимущественного распространения различных почв и растительных сообществ, их сочетаний и комплексов определенных типов рельефа. Отчетливо передаваемая аэроснимками комплексность почвенного покрова показала, что они находятся в полном соответствии с мезо- и микрорельефом. В ходе проведенных исследований было установлено, что тем или иным формам рельефа, отображенным на карте пластики рельефа, соответствуют определенное количество тепла и влаги, специфические литолого-фациальные отложения и гидрогеологические условия. Все это обуславливает формирование фитоценозов, животного мира и почв, а также степень засоления почв в пределах выделенных бассейнов – систем.

Ключевые участки расположены на различных по степени засоления типах почв, а также в системах – бассейнах, выделенных с учетом дифференциации потоковых

структур. На исследуемой территории было заложено 69 основных почвенных разрезов и дополнительно несколько вспомогательных промежуточных шурфов второго порядка (до 1 м). На этих участках отбиралось около 350 образцов почв, 32 пробы грунтовых и около 30 проб оросительных и коллекторно-дренажных вод, которые затем изучались в аналитическом центре института. Выполнено описание морфологического строения почв по генетическим горизонтам основных опорных разрезов и 15-ти наиболее типичных, включающее определение объемного веса почвогрунтов методом цилиндра в трех-, четырех- и пятикратной повторности, а в отдельных выработках изучались водно-физические свойства. Анализ фактического полевого материала и проведенных ранее исследований показал, что неоднородность систем – бассейнов проявляется в литолого-фациальном составе, геофильтрационных и геофизических свойствах, интенсивности водообмена в зоне аэрации, что приводит к засолению почвогрунтов и повышению минерализации грунтовых вод. Во всех пробах подземных и поверхностных вод и образцах почвогрунтов проводились анализы водной вытяжки типа I и II с определением всего состава легкорастворимых солей – плотного остатка (сумма солей): CO_3 , HCO_3 , Cl, SO_4 , Ca, Mg и Na, что позволило более подробно и детально охарактеризовать засоленные почвы. В отобранных образцах почв были определены количественное содержание и качественный состав солей, степень и тип засоления, вычислены запасы водорастворимых солей по генетическим горизонтам и по слоям 0–1, 1–2 и 0–2 м. Полученные данные использовались для составления почвенно-мелиоративной карты, для которой морфологической основой являлась карта пластики рельефа (форм рельефа). Как видно из представленной на карте информации, почвенно-мелиоративные разности имеют геометрическую форму в виде потоков (рисунок 1).

Известно, что бассейнам присуще абсолютное преобладание не строго горизонтальных, а наклонных перемещений водных и твердых масс от более высоких уровней к низким. Вследствие этого территория бассейна динамически сопряжена с миграционными горизонтальными потоками. Видно, что бассейн р. Зерафшан имеет четко выраженные границы, и хорошо выделяются три каскадные системы, что важно для мелиоративной оценки исследуемой территории.

В пределах верхней (начальной) подсистемы миграционные потоки автономны, так как внешние мигранты поступают лишь из атмосферы. Начальный отрезок исследуемой территории включает бассейны верхних рукавов р. Зерафшан, где сформировалась внутригорная часть долины, ширина которой в верхней части не превышает 2 км и в районе Пенджикентского коридора доходит до 12 км, длина котловины составляет более 300 км. На этом участке, то есть в подсистеме, в аллювиально-пролювиальных отложениях находится основной объем грунтовых вод, который тесно связан с поверхностными водами. Данная подсистема – часть водосборной площади бассейна р. Зерафшан, которая является основным источником выноса с территории огромной массы растворенных и твердых веществ.

Вторая (средняя) часть бассейна – Самаркандская котловина, расположенная субшироко между Пенджикентским межгорным коридором на востоке и Карманинским на западе и окруженная горными системами. Котловину с севера опоясывают западные и северо-западные отроги Туркестанского хребта: Чумкартау, Гамдунтау, Каракчитау, Нуратау и Каратау. С юга она обрамлена западными ветками Зерафшанского хребта: средне- и низковысотные Чакаликалан-Каратепинские, Зирабулак-Зиаэтдинские горы. Долина р. Зерафшан имеет единую потоковую структуру в виде «луковиц», то есть субсистем, которые тесно упакованы между собой. Столь сложное и закономерное строение потоковых структур связано с морфологией рельефа и тем самым позволяет увидеть ярко выраженную конфигурацию абстрактных геологических формаций, на которых образуется почвенный покров с присущими им мелиоративными особенностями. Общий уклон средней подсистемы бассейна р. Зерафшан незначителен – 0,004–0,008 м, и здесь сосредоточена основная площадь орошаемых земель.

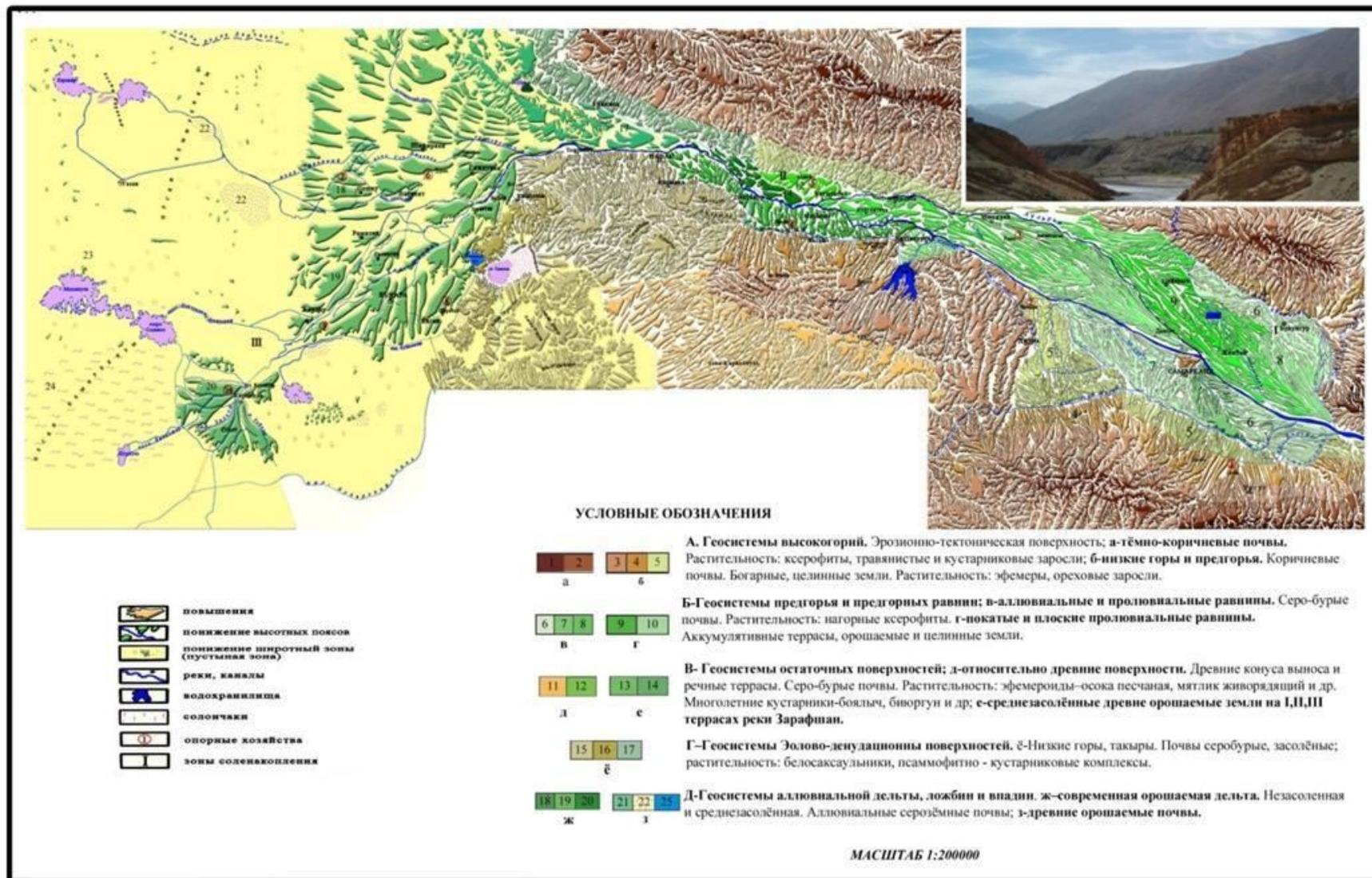


Рисунок 1 – Почвенно-мелиоративная карта средней и нижней части бассейна р. Зеравшан

С вершин конусов выноса к периферии почвогрунты постепенно становятся тяжелыми и засоленными, наблюдается подъем уровня грунтовых вод, что приводит к интенсивному соленакоплению в почве. На представленной карте по геометрической форме потоковых структур и их пространственному расположению, в пределах которого происходит резкое изменение содержания и качественного состава солей в почве, выделены границы систем и элементов.

В средней части долины р. Зерафшан грунтовые и поверхностные воды тесно взаимосвязаны между собой и направлены к руслу реки. В центральной части они совпадают с направлением потоков ирригационных вод. Грунтовые воды – пресные, гидрокарбонатно-сульфатные. Преобладает процесс природного рассоления почвогрунтов. Воды с минерализацией до 1 г/дм^3 выносят с данной подсистемы в нижнюю дельтовую часть бассейна большое количество возвратных вод, водорастворимых солей и взвешенных наносов.

Химизм засоления грунтовых вод в преобладающем большинстве случаев – хлоридно-сульфатный и сульфатный, магниевый-натриевый, магниевый-кальциевый и кальциевый-магниевый. В качественном составе солей доминируют сульфаты натрия Na_2SO_4 , магния MgSO_4 , довольно высока доля сульфата кальция CaSO_4 , меньше содержится бикарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Накопление сульфатов при низких степенях минерализации грунтовых вод довольно интенсивное, и их содержание возрастает в прямолинейной зависимости от увеличения минерализации примерно до $5\text{--}6 \text{ г/дм}^3$. Далее скорость повышения концентрации сульфатов замедляется. Наблюдается образование гипса $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, сульфатов натрия Na_2SO_4 и магния MgSO_4 .

На рисунке 1 видно, что в районе г. Навои долина несколько расширяется (Навои-Канимехский оазис). Исследуемые почвы на ключевом участке – староорошаемые, сероземно-луговые, луговые, аллювиально-сазовые, в основном среднесуглинистые, в разной степени засоленные, слагаются аллювиально-пролювиальными и аллювиальными отложениями. Наблюдения показали, что уровень грунтовых вод на исследуемых орошаемых массивах за последние 20 лет поднялся почти на $1,0\text{--}1,5 \text{ м}$, их сезонная амплитуда колеблется от $0,8$ до $1,2 \text{ м}$. Минерализация подземных вод – $1,0\text{--}3,0$ и $3,0\text{--}3,5 \text{ г/дм}^3$. Выявлена закономерная зависимость солевого состава почв от степени минерализации грунтовых вод. Содержание хлора, натрия и магния в изученных грунтовых водах увеличивается с повышением минерализации. Накопление Na и Cl происходит в основном в форме NaCl.

Третий суббассейн (нижний), пройдя около 50 км между Кизилтепинским и Автобачинским плато, переходит в Бухарский оазис. Ключевой участок в Бухарском оазисе расположен на малоотточном участке, на карте выделяется в виде треугольной формы. Почвы – старо- и новоорошаемые, луговые и такырные, пустынные, средне- и легкосуглинистые, различной степени засоления, слагаются песчано-суглинистыми и глинистыми аллювиальными отложениями и агроирригационными наносами мощностью до $5\text{--}10 \text{ м}$, сформированы на древней переветренной (древний конус выноса р. Зерафшан) равнине и на второй надпойменной террасе. Здесь начинается древний Бухарский конус выноса, ширина которого в районе г. Бухары достигает $60\text{--}65 \text{ км}$. Полевые наблюдения показали, что грунтовые воды в зависимости от рельефа залегают на различных глубинах (от 56 до 320 см). В целом они имеют установившийся характер с сезонными максимумами на глубинах $0,5\text{--}2,0 \text{ м}$ и минимумами на глубинах $2,5\text{--}3,2 \text{ м}$, амплитуда колебаний при этом составляет в среднем $1,2\text{--}1,5 \text{ м}$. Степень минерализации грунтовых вод сильно варьируется. В Навои-Канимехском оазисе она колеблется от $2,0$ до $10,0 \text{ г/дм}^3$, Бухарском – от $1,7$ до $11,2 \text{ г/дм}^3$ и Каракульском – от $3,0$ до $12,0 \text{ г/дм}^3$.

Западнее железнодорожной станции Якки-тут долина сжата выходами третичных пород и переходит в Каракульский оазис – четвертый суббассейн, который зани-

мает нижнее положение по отношению к верхним этажам бассейна реки. Потоки веществ, поступающих сверху, откладываются в его пределах, тем самым подсистема предрасположена к аккумуляции водорастворимых солей. Здесь минерализация грунтовых вод на залежных и пустующих периферийных участках увеличивается до 20–50 г/л и более. Как видно из представленной на рисунке 1 карты, начиная с Карманинского коридора, потоки веерообразно расширяются к западу и юго-западу, а на крайнем западе в виде широких потоковых структур они выходят к современной долине р. Амударьи. Разница амплитуды высот в пределах равнинной части долины от Карманинского коридора до русла р. Амударьи составляет 190–200 м. Рельеф равнинно-низменной части подсистемы исследуемого бассейна нарушается локальными понижениями внутри бассейна: Агитминская, Каракырская, Денгизкульская и другие котловины. Они используются для сбора коллекторно-дренажных вод, отводимых из орошаемой зоны. Почвы здесь староорошаемые, аллювиальные луговые, пустынные, среднесуглинистые, средне- и сильнозасоленные, слагаются суглинисто-глинисто-песчаными аллювиальными и агроирригационными отложениями, в основном с песчано-галечниковыми прослоями.

На орошаемых полях широко распространено пятнистое засоление. Выпуклые и вогнутые формы на составленной почвенно-мелиоративной карте объясняют закономерность распространения пятнистых засолений. Они располагаются на вогнутых структурах выделенных потоков. В зависимости от формы рельефа, степени искусственной и естественной дренированности территории, вида возделываемых культур грунтовые воды залегают на различных глубинах. В вегетационный период глубина их залегания составляет от 0,50 до 2,10 м и в невегетационный – от 2,50 до 3,20 м. В зависимости от степени минерализации встречаются почвы от слабоминерализованных до сильноминерализованных, то есть их минерализация колеблется (10–12 г/дм³).

Химизм засоления грунтовых вод в преобладающем большинстве случаев – сульфатный и хлоридно-сульфатный, редко сульфатно-хлоридный. В качественном составе солей доминируют сульфаты натрия (Na₂SO₄) и магния (MgSO₄), высока доля и сульфата кальция (CaSO₄). С повышением концентрации солей увеличивается содержание хлористых солей (NaCl). В отдельных пробах грунтовых вод выявлены соли CaCl₂ и MgCl₂. Умеренное гидроморфное увлажнение со стороны грунтовых вод, залегающих выше «критической глубины», высокая температура и сухость воздуха при сравнительно высокой ветровой деятельности приводит к широкому развитию солончакового процесса на этой территории.

Следует отметить, что степень распространения засоления почв имеет закономерный характер, в частности, в пространственной дифференциации солей как по форме рельефа (выпуклых и вогнутых форм рельефа) и направлению движения потока, так и по профилю почвогрунтов. Выявлено также, что почвы исследуемой территории представляют большое разнообразие в зависимости от глубины залегания солевого горизонта (солевого максимума), его мощности и степени засоления. Установлено, что степень засоления почв и их пространственное изменение определяется в основном литолого-геоморфологическими, гидрогеологическими, почвенно-мелиоративными и антропогенно-хозяйственными условиями. Кроме обычных, широко распространенных солончаковых (соли обнаруживаются в слое 0–30 см) почв, выделяют также высоко солончаковатые (30–50 см), солончаковатые (50–100 см), глубоко солончаковатые (150–200 см) и незасоленные (глубже 200 см) разности. Количество солей по профилю солончаковатых почв различное, чаще с несколькими максимумами второго порядка в слоях тяжелого механического состава.

По содержанию водорастворимых солей в пахотном слое изученные почвы относятся главным образом к средне- и сильнозасоленным, встречаются также почвы со слабой степенью засоления и солончаковые почвы с наличием солей от 2–3

до 8–9 % при содержании хлора 1,2–2,8 %. Общие запасы солей в почвах изученных территорий сильно разнятся, например, в верхнем слое почвы глубиной до 1 м содержание их варьируется в пределах от 47–58 до 297–462 т/га. На составленной методом системно-структурного анализа почвенно-мелиоративной карте хорошо видно, что вниз по течению реки прослеживается наличие закономерной смены карбонатной, сульфатно- и хлоридно-сульфатной, сульфатно-хлоридной зоны соленакопления. Карбонатная зона соленакопления имеет место в начале второй (средней) части долины р. Зерафшан (Булунгурский район). Ниже по течению реки наблюдается сульфатный тип засоления (в районе Каттакурганского водохранилища). Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные зоны распространены в третьей и четвертой части бассейна р. Зерафшан, то есть занимают равнинную часть Бухарского и Каракульского оазиса.

Список использованных источников

1 Метод пластики рельефа в тематическом картографировании: сб. науч. тр. / под ред. В. А. Ковда. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1987. – 160 с.

2 Степанов, И. Н. Теория пластики рельефа и новые тематические карты / И. Н. Степанов. – М.: Наука, 2006. – 230 с.

3 Сабитова, Н. И. Системный анализ в изучении мелиоративного состояния почв (на примере бассейна р. Зарафшан) / Н. И. Сабитова, О. У. Ахмедов // Материалы IV съезда почвоведения и агрохимиков Узбекистана. – Ташкент: ГосНИИПА, 2005. – С. 94–104.

4 Тахтамышев, Ч. Н. Засоление почв долины р. Зарафшан и некоторые вопросы их мелиорации: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Ташкент, 1973.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 626.816

Г. Л. Лобанов

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

ВОДОЗАБОРНЫЙ УЗЕЛ ДЛЯ ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКОВ РЕК

Целью исследования являлась разработка водозаборного гидроузла для горных и предгорных участков рек с тяжелым гидрологическим и наносным режимом. Горные и предгорные участки рек имеют большие уклоны и скорости течения при малой глубине наполнения, расходы воды и глубина наполнения изменяются в широком диапазоне как в течение года, так и суток. Они транспортируют большое количество плавника, донных и взвешенных наносов разной крупности, содержание которых в потоке изменяется в зависимости от скорости течения, характера паводка, топографии и др. Как показал анализ, при тяжелых условиях водозабора на участках рек горно-предгорной зоны в водозаборы может завлекаться до 30 % донных наносов, транспортируемых потоком. В результате исследований была разработана схема фильтрующего водозаборного гидроузла на вогнутом берегу криволинейного участка реки. Использование данной конструкции бесплотинного водозаборного гидроузла с применением поперечной циркуляции на криволинейном участке с заглублением плит в водоносный горизонт позволит обеспечить потребителей водой в нужном количестве и качестве без негативного воздействия на ихтиофауну реки.

Ключевые слова: водозаборный узел, галерея, канал, поперечная циркуляция, донные и взвешенные наносы, фильтрующий водоприемник, наносорегулирующее устройство, русловой поток, фильтрационная панель.

Горные и предгорные участки рек имеют большие уклоны и скорости течения при малой глубине наполнения, расходы воды и глубина наполнения изменяются в широком диапазоне как в течение года, так и суток. Они транспортируют большое количество плавника, донных и взвешенных наносов разной крупности, содержание которых в потоке изменяется в зависимости от скорости течения, характера паводка, топографии и др. Как показал анализ, при тяжелых условиях водозабора на участках рек горно-предгорной зоны в водозаборы может завлекаться до 30 % донных наносов, транспортируемых потоком [1].

В настоящее время благодаря работам М. В. Потапова, Е. А. Замарина, С. Т. Алтунина, Н. Ф. Данелия, Г. В. Соболина, В. А. Шаумяна и др. существует целый ряд удачных типов бесплотинных водозаборов, наносорегулирующих систем и устройств. Однако эти схемы не исчерпывают всего многообразия природных условий в бассейнах рек, перемещающих наносы и имеющих переменные уровни. Это объясняется тем, что оптимальные размеры и местоположение наносорегулирующих устройств в составе водозаборного узла обуславливаются гидравлическими характеристиками речного потока. А так как большинство конструкций стационарно и не допускает регулирования этих параметров во время эксплуатации, то изменение режима реки вызывает нарушение их нормальной работы. Необходимость забора воды из рек с тяжелыми гидрологическими и наносными режимами обуславливает поиск и разработку более совершенных и надежных конструкций водозаборных сооружений, обеспечивающих эффективную борьбу с наносами.

Для борьбы с наносами в настоящее время эффективно используются гидравли-

ческие структуры потока, возникающие в результате взаимодействия специальных конструктивных элементов сооружения с русловыми потоками: поперечная циркуляция; течения, индуцируемые обтекаемыми преградами; винтовые течения. Эти принципы борьбы с наносами значительно легче реализуются в водозаборах плотинных гидроузлов и трудноосуществимы в бесплотинных [2]. Но бесплотинные водозаборные сооружения, в свою очередь, более просты в конструктивном отношении и экономичны. Они практически не нарушают бытовых условий русла и не создают препятствий для миграции рыбы. Эти обстоятельства представляются особенно важными на современном этапе, когда вопросам экологии уделяется большое внимание, и когда уже явно видны некоторые нежелательные последствия, вызванные строительством речных гидроузлов.

В связи с этим были проведены исследования, на основании которых предложена схема бесплотинного водозаборного гидроузла на реках с тяжелым гидрологическим и наносным режимом.

Для апробации предложенного водозабора были проанализированы конструкции существующих водозаборных сооружений на горных и предгорных участках рек.

Рассмотрим фильтрующий придонный русловой водозабор с вихревыми камерами, содержащий водоприемные отверстия, фильтрующие кассеты и самотечные трубы [3]. Основными недостатками данного технического решения являются сложность конструкции и низкая эффективность работы.

В специальной литературе [3] описываются схемы подрусловых водозаборов. Конструктивно такие водозаборы выполняют в виде дрен, галерей, лучевого водозабора и т. п. (рекомендуются для забора воды из периодически промерзающих водотоков или на горных участках рек с периодическим отсутствием поверхностного стока). Основными недостатками данных водозаборов являются низкая эффективность и надежность работы, а также сложность их использования на горных и предгорных участках рек.

Рассмотрим фильтрующий водозабор, гидравлический режим отбора воды в котором характеризуется скоростью обтекания водоприемного фильтра потоком и скоростью втекания в водоприемный фильтр, при этом отмечается меньшее засорение фильтра при скоростях течения, в пять раз превышающих скорости затекания в него воды [4]. Недостатком этого фильтрующего водоприемника является создание промывного гидравлического режима работы фильтрующего водозабора, при котором через водоприемный фильтр проходит поток обратной фильтрации.

Подрусловой фильтрующий водозабор комбинированной конструкции [5] содержит водосборную галерею, поверху которой устроен фильтрующий водоприемник, состоящий из металлической решетки и уложенных сверху нее в два плотных ряда фильтрующих гибких тюфяков. Гибкие тюфяки выполнены из легких фашин, завернутых в геосетку. Первый ряд тюфяков уложен вдоль продольной оси галереи, а второй ряд – поперек галереи и по направлению руслового потока, а также с уклоном, который больше уклона русла реки. Этим повышается надежность работы водозабора и обеспечивается возможность его использования для питьевого водоснабжения небольших населенных пунктов, отдельных предприятий и учреждений, частных хозяйств, а также в качестве резервного водозабора в случае чрезвычайных ситуаций в крупных населенных местах. Недостатком данного водозабора являются небольшие объемы забираемой воды и периодическая смена тюфяков по мере их засорения.

Рассмотрим водозаборный узел, включающий водозаборный облицованный канал, соединяющий начало и конец излучины реки или устроенный параллельно руслу реки [6]. Защита канала от донных влекомых наносов обеспечивается тем, что вход в канал располагается на вогнутом участке реки, где циркуляционные течения, возникающие на изгибе потока, относят донные наносы к противоположному выпуклому берегу, а отметка дна канала на входе выше отметки дна русла реки, тем самым исключается попадание значительной части донных наносов.

Водозаборный канал является проточным и он должен обеспечить транзит воды со скоростями, превышающими скорость заиления для данных условий. В дно канала встроены водозаборные галереи, верхняя часть которых является фильтрационной панелью. Диаметр отверстий (сквозных пор) фильтрационной панели должен быть меньше диаметра очищаемой фракции взвешенных наносов. Под действием гравитационных сил вода проходит через фильтрационную панель в водозаборные галереи, по которым попадает в накопительный бассейн, а взвешенные наносы задерживаются на фильтрационной панели. При накоплении наносов на данной панели уменьшается отбор воды галереями и, следовательно, увеличиваются расход воды по водозаборному каналу и скорость ее течения. Это приводит к смыву наносов с поверхности фильтрационной панели, расход воды в водозаборную галерею восстанавливается, а наносы транспортируются в водосбросную часть канала и далее в русло реки. Так как расход воды по длине канала сокращается за счет отбора воды галереями, русло канала имеет переменное сечение, площадь которого уменьшается от первой галереи по направлению течения до последней. Это необходимо для поддержания требуемых скоростей течения.

К недостаткам конструкции данного водозабора относится то, что, во-первых, трудно найти такой участок, а проложить канал в горной и предгорной зоне является сложной задачей, да к тому же он может иметь длину несколько километров. Во-вторых, скорость воды в канале определяется уклоном и напором на входе, а не отбором воды в галереи. И самое основное, как отмечалось выше, уровни воды в реке могут меняться не только в течение года, месяца, но и в течение суток и говорить о промыве в таких условиях неправомерно.

Разработанный в результате исследований фильтрующий водозабор устраивается на вогнутом берегу криволинейного участка реки (рисунок 1).

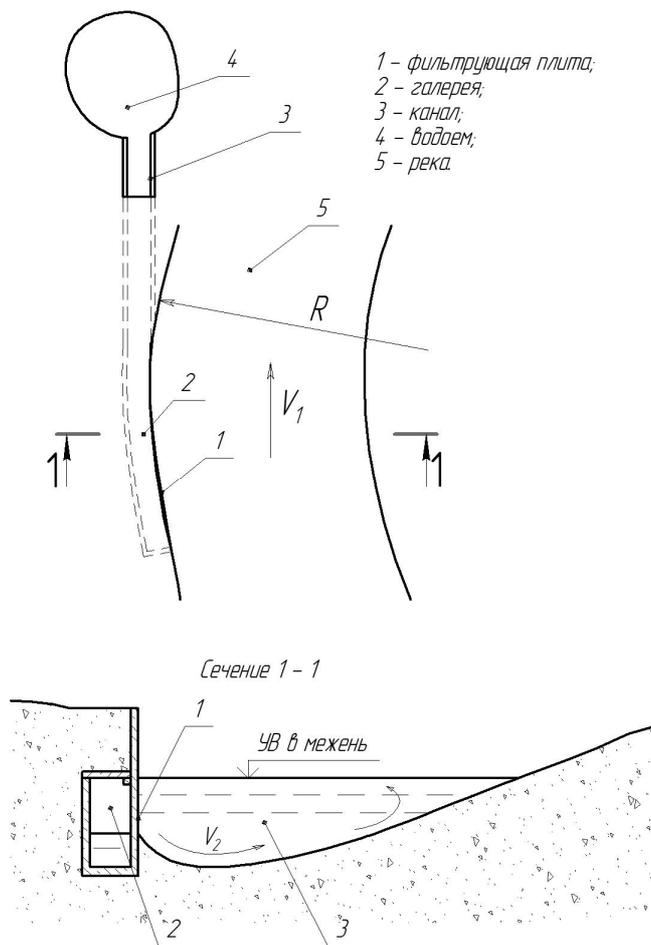


Рисунок 1 – Схема фильтрующего водозаборного узла

Фильтрующий водозабор состоит из водоприемной галереи 2 с фильтрующими плитами 1 вдоль вогнутого берега криволинейного участка реки с заглублением в водоносный горизонт, в горных и предгорных реках которого в межень проходят расходы, сопоставимые с расходами, протекающими в основном русле; канала для отвода профильтрованной воды 3; бассейна для подогрева воды 4; реки 5.

Особенности потока на криволинейных участках позволяют защитить фильтрующие плиты от засорения. Эта особенность заключается в следующем. Возникающая на криволинейном участке поперечная циркуляция делает русло асимметричным с наибольшей глубиной на вогнутом берегу, а радиальные скорости у дна направлены в сторону выпуклого берега, где откладываются донные наносы [7]. За счет малой скорости фильтрации плит, по сравнению с радиальными и значительными продольными скоростями, на стенках фильтрующих плит не будут осажаться как взвешенные, так и донные наносы. Заглубление плит в водоносный горизонт позволяет увеличить расход забираемой воды.

Фильтрующее водозаборное сооружение работает следующим образом. В межень и в период паводка вода из реки 5 через фильтрующие плиты 1 попадает в водозаборную галерею 2 и по каналу для отвода профильтрованной воды 3 поступает в бассейн для подогрева воды 4. Таким образом, обеспечивается устойчивый забор профильтрованной воды в условиях горных и предгорных рек с обильным содержанием наносов, а также повышается эффективность и надежность его работы для снабжения систем промышленного, сельскохозяйственного и хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Использование данной конструкции бесплотинного водозаборного гидроузла с применением поперечной циркуляции на криволинейном участке с заглублением плит в водоносный горизонт позволит обеспечить потребителей водой в нужном количестве и качестве без негативного воздействия на ихтиофауну реки.

Список использованных источников

1 Мельников, Б. И. Разработка и исследование горных автоматизированных водозаборных узлов с двухступенчатой схемой борьбы с наносами: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.23.07 / Б. И. Мельников. – М., 1977. – 25 с.

2 Данелия, Н. Ф. Водозаборные сооружения на реках с обильными донными наносами / Н. Ф. Данелия. – М.: Колос, 1964. – 336 с.

3 Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения / Г. Железняков [и др.]; под ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – С.434–435.

4 Водоразборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / под ред. К. А. Михайлова и А. С. Образовского. – М.: Стройиздат, 1976. – 210 с.

5 Пат. 2518634 Российская Федерация, МПК(6) E 02 В 9/04, E 03 В 3/32. Подрусловый фильтрующий водозабор комбинированной конструкции / Джамалудинов М. М., Курбанов С. О.; заявитель и патентообладатель Науч.-произв. фирма «Берег». – № 2012135660/13; заявл. 20.08.12; опубл. 10.06.14, Бюл. № 16. – 8 с.

6 Штанько, А. С. Водозаборный узел энергоэффективной оросительной системы / А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015. – Вып. 4(60). – С. 57–60.

7 Лобанов, Г. Л. К вопросу о выборе створа водозабора на поворотных участках русел водотоков [Электронный ресурс] / Г. Л. Лобанов, Е. И. Шкуланов, Е. А. Савенкова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 4(08). – С. 56–64 – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=126>.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 634.10/631.674.6

В. И. Кременской, Н. М. Иванюгин

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

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛОДОВОДСТВА В КРЫМУ НА ОСНОВЕ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Использование природно-ресурсного и экономического потенциала Республики Крым относится к одному из приоритетных направлений развития садоводства в регионе. Закладка интенсивных многолетних садов должна осуществляться с учетом научно обоснованного районированного размещения плодовых культур, а также с применением системы капельного орошения. Целью исследований было определение затрат на создание системы капельного орошения для 1 га плодовых культур с различными схемами посадки. В работе проведен расчет стоимости комплекта оборудования и его монтажа на модульных участках 10, 20, 50 га. Определены эффективные технологические схемы капельного орошения плодовых культур.

Ключевые слова: капельное орошение, плодовые культуры, стоимость, оборудование, полосовое увлажнение, поливной трубопровод.

Введение. Вследствие благоприятного сочетания почвенно-климатических условий и факторов Крым является подходящим и важнейшим регионом для развития садоводства. В настоящее время на полуострове плодовыми насаждениями занято около 39 тыс. га сельхозугодий, в том числе 10 тыс. га – плодоносящими, а в 1990 г. эти показатели составляли 63,0 тыс. и 42,8 тыс. га соответственно. Сейчас валовой сбор плодов – 116 тыс. т, а в 1990 г. достигал 418 тыс. т. До 1990 г. в Крыму функционировало 150 консервных заводов и цехов, которые производили до 850 млн условных банок консервов в год.

В современных условиях для получения высоких и стабильных урожаев необходимо совершенствовать существующие, разрабатывать новые высокоэффективные индустриальные технологии производства на следующей основе: закладка интенсивных многолетних плодовых насаждений; выращивание высокоурожайных скороплодных сортов; внедрение новых формировок с перспективой механизированных обрезки и сбора урожая; использование прогрессивных способов орошения, внесения удобрений, защиты от вредителей и болезней. Большую роль также играет разработка и применение единого законченного производственного цикла, который включает процессы выращивания, хранения, переработки и реализации продукции [1].

Материал и методы. Закладку интенсивных многолетних насаждений необходимо осуществлять с учетом научно обоснованного зонального размещения плодовых культур. Биологический потенциал породы, сорта в наибольшей степени может проявиться лишь при условии их высокой адаптивности к конкретным почвенно-климатическим условиям зоны выращивания.

В структуре плодовых насаждений Крыма ведущей культурой остается яблоня, доля которой в перспективе должна составлять 60...65 %.

Географически произрастание этой культуры возможно практически во всех агроклиматических зонах Крыма. Основными регионами для промышленного выращива-

ния яблони являются Нижегородский, Красногвардейский, Бахчисарайский, Симферопольский, Кировский и Первомайский районы.

Груша, по сравнению с яблоней, более требовательна к почвенно-климатическим условиям. Она менее холодостойкая и более теплолюбивая, чем и объясняется ее крайне ограниченный ареал распространения. Также груша более требовательна к экологическим условиям произрастания. Лучшими районами для ее выращивания являются долина реки Качи и территория Большой Алушты. Именно эти зоны считаются эталоном оптимальных, в первую очередь почвенно-климатических условий для груши. Она успешно может произрастать также в Симферопольском, Нижегородском, Красногвардейском, Белогорском и Кировском районах.

В связи со сложившейся ситуацией обеспечения полуострова водными ресурсами и переориентацией Крыма на местный сток для развития садоводства необходимо применять водосберегающие технологии полива. Одной из таких технологий является капельное орошение. Для капельного орошения плодовых культур можно использовать воды природных (реки, озера), искусственных (водохранилища, каналы, пруды) или же подземных (скважины, шахтные колодцы) источников [2–4].

С целью определения затрат на создание системы капельного орошения проведен расчет стоимости его строительства на модульных участках площадью 10, 20 и 50 га с учетом различных схем посадки.

Результаты и обсуждения. Плодовые культуры отличаются разнообразием схем посадки, типов формирования кроны и подвойно-привойным сочетанием. В зависимости от конструкции сада плодовые деревья формируются с округлой, плоской, полуплоской и веретеновидной кроной.

На рисунке 1 представлены технологические схемы капельного орошения семечковых и косточковых культур.

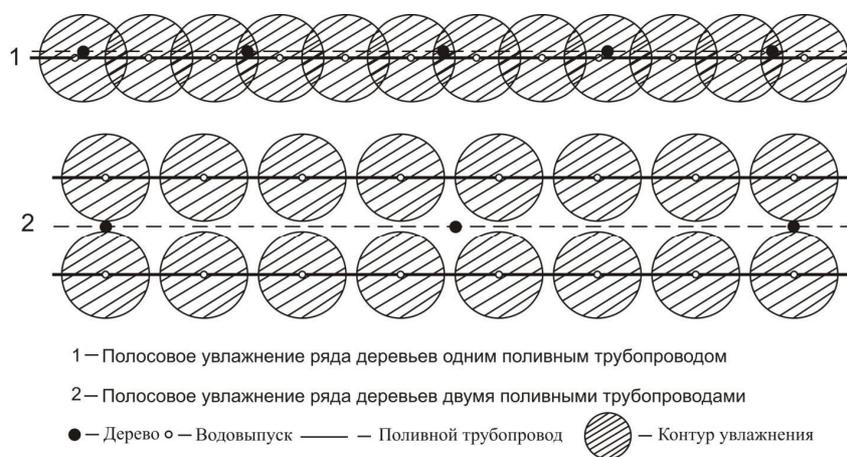


Рисунок 1 – Технологические схемы капельного орошения семечковых и косточковых плодовых культур

В интенсивных яблоневых и грушевых садах со слаборослыми деревьями на карликовых и полукарликовых подвоях и плотной схеме посадки с шириной междурядий 4,00 м и расстоянием между деревьями в яблоневых садах 0,75...2,50 м и грушевых садах – 1,00...3,00 м эффективно полосовое увлажнение почвы. В семечковых садах среднерослых подвоев с междурядьями 5,0 м и расстоянием между деревьями 3,0 и 4,0 м применяется также полосовое увлажнение с размещением водовыпусков через 0,5 м.

В плодовых садах с междурядьями 4 и 5 м устраивают один поливной трубопровод на один ряд деревьев. В косточковых садах с междурядьями 6 и 7 м и расстоянием в ряду 3...5 м рационально увлажнение двумя поливными трубопроводами, расположенными на поверхности земли или уложенными бестраншейным способом в землю на глубину 25...30 см с размещением водовыпусков через 75 см [5, 6].

Для внутрпочвенной укладки применяют специально разработанные зарубежными фирмами поливные трубопроводы с антисифонной системой защиты от попадания в них загрязнений.

На рисунке 2 представлена технологическая схема капельного орошения орехоплодных культур, имеющих широкорядную схему посадки, при которой целесообразно поливать один ряд деревьев двумя поливными трубопроводами диаметром 16 мм с расстояниями между водовыпусками 0,75 м. При такой схеме посадки возможно проводить увлажнение по окружности культуры орех грецкий диаметром 4 м, а культуры фундук – по окружности диаметром 3 м. При необходимости возможно обустройство двух колец поливных трубопроводов. Один конец увлажнителя соединен с поливным трубопроводом через тройник на расстоянии 1/2 диаметра окружности, а его второй конец закрыт заглушкой. Такое соединение позволяет производить уборку поливных трубопроводов на зимний период. На небольших участках можно размещать поливной трубопровод на поверхности земли, на больших участках использовать устройство с подвеской на проволоке с расположенными на поверхности земли кольцевыми увлажнителями. При сельскохозяйственных работах увлажнители поднимают с земли и подвешивают на проволоке.

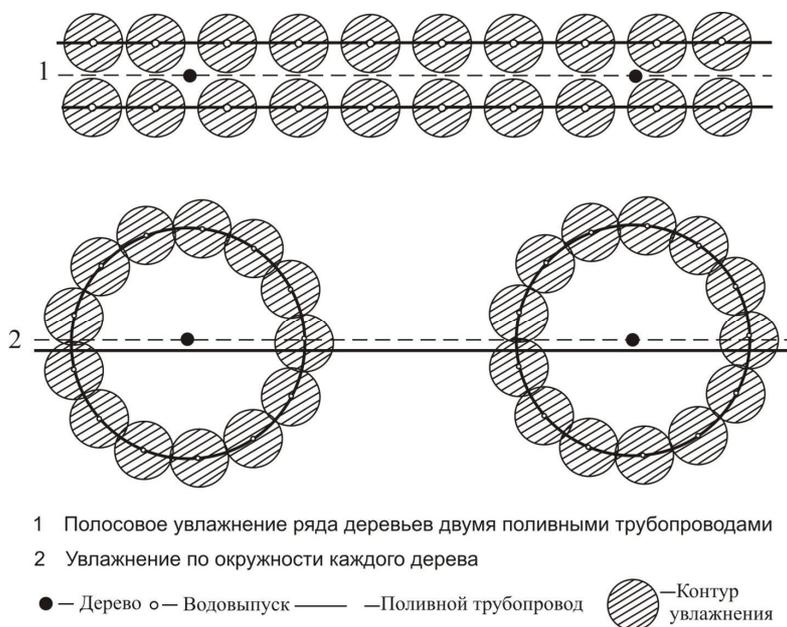


Рисунок 2 – Технологическая схема капельного орошения орехоплодных плодовых культур

Конструкция системы может изменяться в соответствии с конкретными условиями ее применения. При этом необходимо подчеркнуть, что надежность работы системы капельного орошения определяется несколькими ее основными элементами, к которым принадлежат капельницы и технические средства подготовки (очистки) воды.

Для внедрения системы капельного орошения в Республике Крым авторами был разработан комплект поливного оборудования для закладки сада на площади 10, 20, 50 га с разными схемами посадки. В таблице 1 представлена стоимость комплекта поливного оборудования для создания системы капельного орошения в рублях и долларах США.

При междурядьях 4 и 5 м были приняты поливные трубопроводы диаметром 16 мм, длиной 100 м, с водовыпусками через 0,50 м и расходом воды 1,6 л/ч. При междурядьях 6...10 м принято два трубопровода диаметром 16 мм, с расходом 1,6 л/ч и расстоянием между водовыпусками 0,75 м. При поливе по окружности орехоплодных культур расстояние между водовыпусками принято 0,75 м, с расходом воды 1,6 л/ч. Одновременно поливается 1/3 плодового сада.

Оборудование и детали системы капельного орошения приняты и рассчитаны по каталогам компаний ООО «Юг-Полив» (г. Краснодар) и «Ирригатор» (г. Симферополь) [7, 8]. Приняты курсы валют: 1 долл. = 67,7 руб., 1 евро = 75,5 руб.

Оборудование для капельного полива состоит из головного узла (водозаборный узел, фильтростанция, узел внесения удобрений и подводящий трубопровод), оросительной сети магистральных, участковых и распределительных трубопроводов, поливных трубопроводов диаметром 16 мм, подсоединений, фитингов, арматуры и строительно-монтажных работ.

Наиболее низкая стоимость создания 1 га системы капельного орошения (71,2 тыс. руб.) вышла для орехоплодной культуры орех грецкий при ширине междурядий 10 м. При поливе по окружности стоимость возрастает приблизительно на 15...20 %, однако при этом увеличивается площадь локального увлажнения и урожайность.

Наибольшая стоимость создания 1 га системы капельного орошения получилась для ореха фундука при поливе по окружности и составила 110,9...122,9 тыс. руб., что незначительно выше в сравнении с устройством двух поливных трубопроводов.

Для наиболее распространенных семечковых культур (яблони и груши) при ширине междурядий 4,0 м стоимость 1 га составила 100,5...117,4 тыс. руб. (таблица 1).

Таблица 1 – Стоимость комплекта оборудования для капельного орошения плодовых культур на 1 га в зависимости от схемы посадки (принят курс доллара: 1 долл. = 67,7 руб.)

Культура	Схема посадки, м	Количество поливных трубопроводов на один ряд деревьев	Стоимость 1 га	
			тыс. руб.	долл. США
1	2	3	4	5
Яблоня	5,00 × 3,00	1	81,9...93,8	1209...1386
	4,00 × 0,75...2,50	1	100,5...117,4	1485...1733
Груша	5,00 × 4,00	1	81,9...93,8	1209...1386
	4,00 × 1,00...3,00	1	100,5...117,4	1485...1733
Айва	5,00 × 3,00	1	81,9...93,8	1209...1386
	4,00 × 3	1	100,5...117,4	1485...1733
Вишня	6,00 × 3,00...4,00	2	106,1...114,2	1567...1687
	5,00 × 3,00	1	81,9...93,8	1209...1386
	4,00 × 2,00	1	100,5...117,4	1485...1733
Слива	6,00 × 3,00...4,00	2	106,1...114,2	1567...1687
	5,00 × 3,00	1	81,9...93,8	1209...1386
Черешня	7,00 × 5,00	2	91,6...103,6	1353...1530
	6,00 × 4,00	2	106,1...114,2	1567...1687
	5,00 × 3,00	1	81,9...93,8	1209...1386
	4,00 × 2,50	1	100,5...117,4	1485...1733
Абрикос	7,00 × 5,00	2	91,6...103,6	1353...1530
	6,00 × 4,00	2	106,1...114,2	1567...1687
	5,00 × 3,00	1	81,9...93,8	1209...1386
Персик	5,00 × 3,00...4,00	1	81,9...93,8	1209...1386
	4,00 × 1,00...1,50	1	100,5...117,4	1485...1733
Миндаль	6,00 × 4,00	2	106,1...114,2	1567...1687
Кизил	5,00 × 3,00	1	81,9...93,8	1209...1386
Орех грецкий	10,00 × 8,00	2	71,2...86,9	1052...1283
	10,00 × 8,00	1 (увлажнение по окружности диаметром 4 м)	83,9...99,5	1239...1470
	8,00 × 8,00	2	80,0...94,7	1182...1399

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Фундук	6,00 × 3,00...6,00	2	106,1...114,2	1567...1687
	6,00 × 6,00	1 (увлажнение по окружности диаметром 3 м)	110,9...122,9	1639...1815
	5,00 × 3,00	1	81,9...93,8	1209...1386

При устройстве одного поливного трубопровода диаметром 16 мм с водовыпусками через каждые 0,5 м на один ряд деревьев стоимость комплекта оборудования на 1 га составляет 81,9...117,4 тыс. руб. При размещении двух поливных трубопроводов диаметром 16 мм с расстоянием между водовыпусками 0,75 м на один ряд деревьев стоимость колеблется в пределах 71,2...114,2 тыс. руб. При поливе по окружности с устройством одного поливного трубопровода диаметром 16 мм стоимость комплекта оборудования достигает 83,9...122,9 тыс. руб.

Для каждой конкретной технологической схемы выбирают необходимый целесообразный вариант.

Выводы

1 При закладке новых насаждений плодовых культур необходимо производить строительство системы капельного орошения.

2 Капельное орошение является важным элементом в повышении продуктивности плодовых культур в зоне недостаточного увлажнения почвы.

3 При полосовом увлажнении почвы с междурядьем 4...5 м устраивается один поливной трубопровод, а с междурядьем 6...10 м необходимо разместить два поливных трубопровода.

4 С уплотнением посадок плодовых культур увеличиваются расход воды водозаборным узлом, диаметр трубопроводов и стоимость 1 га системы капельного орошения.

5 Высокая стоимость систем капельного орошения компенсируется высокой урожайностью плодовых культур и быстрой окупаемостью затрат.

Список использованных источников

1 Недвига, В. С. Капельное орошение садов и виноградников в условиях Крыма / В. С. Недвига. – Симферополь, 2012. – 94 с.

2 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: монография / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск, Лик, 2011. – 322 с.

3 Сторчоус, В. Н. Технология внутрпочвенного и капельного полива яблоневого сада в условиях степного Крыма / В. Н. Сторчоус, В. И. Кременской // Науч. тр. Крымского агротехнологического университета / Серия: Сельскохозяйственные науки. – 2012. – № 149. – С. 56–61.

4 Сейтумеров, Э. Э. Современное состояние и перспективы развития капельного орошения в Республике Крым / Э. Э. Сейтумеров, В. И. Кременской, С. В. Подовалова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015. – Вып. 2(58). – С. 120–126.

5 Кременской, В. И. Комплект оборудования и затраты на создание системы капельного орошения плодовых культур с различными схемами посадки / В. И. Кременской, Н. М. Иванютин // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. – 2016. – № 12. – С. 64–70.

6 Рекомендации по закладке и выращиванию плодовых насаждений яблони и груши / Крымская опытная станция садоводства УААН. – Симферополь, 2008. – 32 с.

7 Ирригатор (технологии полива): прайс-листы. – Симферополь, 2014.

8 ООО «Юг-Полив» (Управляем водой): прайс-листы. – Краснодар, 2015.

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

УДК 631.6:330.115

В. М. Игнатъев

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

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В МЕЛИОРАЦИИ

Целью исследования является выбор экономико-математического инструментария для прогнозирования процессов в мелиорации. Прогнозирование проводится на основе теории распределений случайных величин, временных рядов, эконометрических методов, а также методов многомерной статистики. Представлена краткая классификация методов прогнозирования. Рассматриваются показатели рядов прогнозирования, оценивание стабильности ряда по значению автокорреляции, применение законов распределения величин с использованием различных статистик, построение регрессионных и адаптивных моделей прогнозов с установлением их значимости (адекватности) и определением остатков регрессионных уравнений. Отмечается возможность использования математических моделей в качестве ассоциативных прогнозов, оценка значимости которых осуществляется на основе различных критериев. Перечисляются инструментальные методы прогнозирования. Предлагается методика проведения статистического прогноза, состоящая из последовательности процедур. Указываются направления применения методов прогнозирования в мелиорации.

Ключевые слова: прогноз, функции, методы прогноза, однородность, распределения, временные ряды, автокорреляция, адаптивные и ассоциативные методы, регрессионные уравнения, значимость.

Введение. Прогнозирование выполняет важную функцию в процессе управления предприятием. В сельскохозяйственной организации к первичным показателям (производство, численность персонала, основные фонды и оборотные средства) добавляется и такой показатель, как площадь сельскохозяйственных угодий. Под сельскохозяйственной организацией понимается любое объединение предприятий и производителей [1]. Относительные показатели организаций позволяют сравнивать прогнозируемые показатели с полученными ранее на других предприятиях, производящих продукцию или услуги, сопоставлять их с базовыми или индикативными значениями, принимать решения по стратегии развития.

В развитии мелиорации можно выделить следующие проблемы и направления [2, 3]:

- обоснование потребности агропромышленного комплекса в водных ресурсах;
- использование для орошения поверхностных и подземных вод;
- защита от негативного воздействия вод природного и техногенного характера;
- состояние и эксплуатация гидротехнических сооружений;
- применение местного стока;
- охрана водных источников от поступления загрязняющих веществ;
- отсутствие налаженности взаимоотношений потребителей и поставщиков воды;
- слабость экономической проработки проектных решений в мелиорации;
- экономическая зависимость водохозяйственных организаций от результатов деятельности сельскохозяйственных предприятий;
- необходимость определения цены на воду и стоимости услуг водохозяйственных организаций.

Основная часть. Прогнозирование представляет собой процедуру исследования параметров развития системы на основе анализа ее закономерностей, структуры и других факторов. Прогнозирование может использоваться как на этапе принятия решения, так и при его реализации [4]. За основу прогнозирования принимается предположение, что та причинно-следственная система, которая существовала в прошлом, сохранится в будущем. В отличие от прогнозирования программирование выполняет функции постановки цели развития системы и сроков ее достижения, определения промежуточных задач, направлений, методов, оценки необходимых затрат ресурсов, а также планирования развития системы в течение планового периода.

Прогнозирование, программирование и планирование являются видами предвидения, временные горизонты которых соотносятся как 4 : 2 : 1 [4]. Роль прогнозирования постоянно возрастает. Основные факторы, влияющие на этот рост, указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы, влияющие на повышение роли прогнозирования

На макроэкономическом уровне	На микроэкономическом уровне
Неспособность механизма свободного рынка обеспечить устойчивость процесса. Повышение степени разделения труда Рост доли коллективного потребления. Рост масштабов воздействия человека на окружающую среду. Учащение возникновения чрезвычайных ситуаций	Ускорение темпов научно-технического прогресса. Концентрация производства. Диверсификация производства. Переориентация организации с производства на переработку и сбыт продукции. Развитие различных форм собственности. Необходимость выхода на рынки. Ускорение интеграционных процессов

Существует три вида методов прогнозирования: модельные, экспертные, статистические. Классификация прогнозов отображена в виде блок-схемы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Блок-схема классификации прогнозирования

При ее построении использовалась методология управления качеством [5]. Общая логическая последовательность важнейших операций разработки прогноза сводится к следующим этапам:

- программа исследования, формулирование целей и задач;
- построение модели прогнозируемого объекта на основе методов системного анализа;
- сбор данных прогнозного фона (совокупность внешних факторов);
- построение динамических рядов показателей – основы прогнозирования методами экстраполяции;
- построение серии предварительных поисковых моделей методами поискового анализа профильных и фоновых показателей с конкретизацией минимального, максимального и наиболее вероятного значений;
- построение серии предварительных нормативных моделей методами нормативного анализа;
- оценка достоверности, точности, обоснованности прогноза;
- разработка рекомендаций путем сопоставления поисковых и нормативных моделей;
- экспертиза прогноза и его доработка;
- повторное прогнозирование на основании сопоставления материалов уже разработанного прогноза с новыми данными прогнозного фона и новый цикл исследования (прогнозирования).

Выделяют следующие виды прогнозирования систем:

- с полным обеспечением количественной ретроспективной информацией;
- с неполным обеспечением количественной ретроспективной информацией, при этом допускается использование статистических методов;
- с наличием качественной ретроспективной информации и очень ограниченным объемом количественной информации;
- с полным отсутствием ретроспективной информации – это несуществующие или проектируемые системы.

Статистические методы могут с уверенностью применяться для первого случая, с уменьшением точности прогноза – для второго случая. Для двух последних случаев более эффективным является использование экспертных методов. Статистические методы прогнозирования перечислены в международном стандарте [5]. Построение законов распределения позволяет провести простейший прогноз появления случайной величины. Выборочный анализ предоставляет возможность детализировать, сравнивать, объединять выборки, которые бывают пространственными, временными и панельными. Факторный анализ способствует выявлению и упорядочиванию влияния факторов на систему или процесс. Корреляционный анализ позволяет оценить взаимосвязь выборок и исключить мало варьируемые или сильно взаимозависимые факторы. Регрессионный анализ дает возможность построить уравнение, определить его значимость или адекватность, оценить остатки уравнений. Кластерный анализ позволяет разбить объекты на классы и проанализировать объекты каждого класса. Анализ временных рядов делает возможным оценивание устойчивости процесса во времени и его протекания.

Различают показатели тенденции динамики и средние показатели динамики. Рассмотрим их на основе данных о посевных площадях сельскохозяйственных культур в Российской Федерации за 2000–2010 гг. (таблица 2). Исходный ряд ($y_i, i = 0..10$) взят из справочника социально-экономических показателей [6]. В случае, когда сравнение проводится с начальным значением в ряду динамики, получают базисные показатели. При этом каждый последующий период сравнивается с периодом, принятым за базу. Если же сравнение производится с предыдущим значением, то говорят о цепных показателях. Абсолютный цепной и базисный приросты рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta y^n = y_i - y_{i-1}, \quad \Delta y^b = y_i - y_0, \quad i=1..10 \text{ соответственно.}$$

Темпы роста цепной и базисный определяются таким образом:

$$\text{Гр}_i^u = \frac{y_i}{y_{i-1}} \cdot 100, \quad \text{Гр}_i^b = \frac{y_i}{y_0} \cdot 100, \quad i=1..10.$$

Темпы прироста цепной и базисный рассчитываются по формулам:

$$\text{Тпр}_i^w = \frac{\Delta y_i}{y_{i-1}} \cdot 100, \quad \text{Тпр}_i^b = \frac{\Delta y_i}{y_0} \cdot 100, \quad i=1..10.$$

Таблица 2 – Посевные площади всех сельскохозяйственных культур в Российской Федерации и их динамика за 2000–2010 гг.

В млн га

Год	у	Прирост абсолютный		Темп роста, %		Темп прироста, %		Пункт роста
		Δy^u	Δy^b	Гр^u	Гр^b	Тпр^u	Тпр^b	
2000	84,7	-	-	-	-	-	-	-
2001	83,8	-0,85	-0,85	99,00	99,00	-1,00	-1,00	-
2002	83,5	-0,34	-1,19	99,59	98,59	-0,41	-1,41	-0,40
2003	78,9	-4,59	-5,78	94,50	93,17	-5,50	-6,83	-5,42
2004	77,3	-1,57	-7,35	98,01	91,32	-1,99	-8,68	-1,85
2005	75,8	-1,48	-8,83	98,09	89,57	-1,91	-10,43	-1,75
2006	75,2	-0,61	-9,44	99,20	88,85	-0,80	-11,15	-0,72
2007	74,8	-0,47	-9,91	99,38	88,30	-0,62	-11,70	-0,56
2008	76,9	2,16	-7,75	102,89	90,85	2,89	-9,15	2,55
2009	77,8	0,89	-6,86	101,16	91,90	1,16	-8,10	1,05
2010	75,2	-2,62	-9,48	96,63	88,80	-3,37	-11,20	-3,09

Примечание – индекс «ц» – цепной; индекс «б» – базисный.

Пункты роста (Пр) представляют собой разность базисных темпов роста двух смежных периодов:

$$\text{Пр}_i = \text{Тпр}_i^b - \text{Тпр}_{i-1}^b, \quad i=2..10.$$

После подтверждения однородности данных выборки определяем закон распределения величины (урожайности сельскохозяйственных культур). Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с помощью ассоциативных методов проводилось В. М. Игнатьевым и И. Н. Ильинской [7]. Примеры прогнозирования также представлены в работах В. А. Волосухина и Д. В. Янченко [8].

Величина коэффициента автокорреляции временного ряда указывает на нестабильность процесса на уровне значимости α . Значение коэффициента автокорреляции временного ряда из таблицы 1 равно $R = 0,8707$. Для ряда рассчитывается статистика Стьюдента T , которая сравнивается с теоретическим значением qt . Если значение T больше qt , то коэффициент автокорреляции значим, и временной ряд y из таблицы 1 нестабилен. Если коэффициент автокорреляции не значим, но не равен нулю, стабильность ряда можно исследовать по остаткам с помощью различных статистик [8, 9].

Использование регрессионного анализа позволяет построить уравнение, оценить его с помощью корреляционного анализа, определить значимость, или адекватность построенного регрессионного уравнения, установить остатки уравнений.

Рассмотрим прогнозирование с использованием регрессионного уравнения на основе временного ряда урожайности овощей в Ростовской области за 1990–2011 гг. [6]. С этой целью приводятся значения средней урожайности овощей (таблица 3).

Прогноз, выполненный с помощью ряда Фурье, задается посредством формулы:

$$V_i = a \cdot i + b + \sum_{k=1}^6 \left(c_{2k-1} \cdot \sin \frac{k \cdot \pi \cdot (i-1)}{6} + c_{2k} \cdot \cos \frac{k \cdot \pi \cdot (i-1)}{6} \right), \quad (1)$$

где V_i – величина прогнозируемого показателя на i -й год;

a, b, c – искомые коэффициенты.

Таблица 3 – Урожайность овощей в Ростовской области за 1995–2011 гг.

Год	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Урожайность	81	54	81	77	69	73	86	105	118
Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Урожайность	97	97	100	94	144	129	130	165	-

В ц/га

На основе метода наименьших квадратов были получены коэффициенты a, b, c уравнения (1), которые приведены в таблице 4. Критерием оценки прогноза, полученного с помощью формулы (1), является корреляция значений прогноза и исходных значений временного ряда. Полученный прогноз в виде уравнения (1) и исходный ряд дают значение коэффициента корреляции, равное 0,928. Коэффициент корреляции значим на уровне 5 %. В соответствии с таблицей 4 значение прогноза V_{18} составляет 172,040.

Таблица 4 – Коэффициенты уравнения (1) прогноза урожайности овощей в Ростовской области

Обозначение	Значение	Обозначение	Значение	Обозначение	Значение
a	6,203	c_4	-2,948	c_9	1,114
b	61,110	c_5	-0,630	c_{10}	0,412
c_1	7,775	c_6	0,340	c_{11}	1,000
c_2	5,267	c_7	5,143	c_{12}	0,503
c_3	2,491	c_8	-1,145	V_{18}	172,040

Прогноз с помощью регрессионного уравнения (1) и график изменения урожайности овощей в Ростовской области с 1995 по 2011 г. представлен в наглядном виде (рисунок 2).

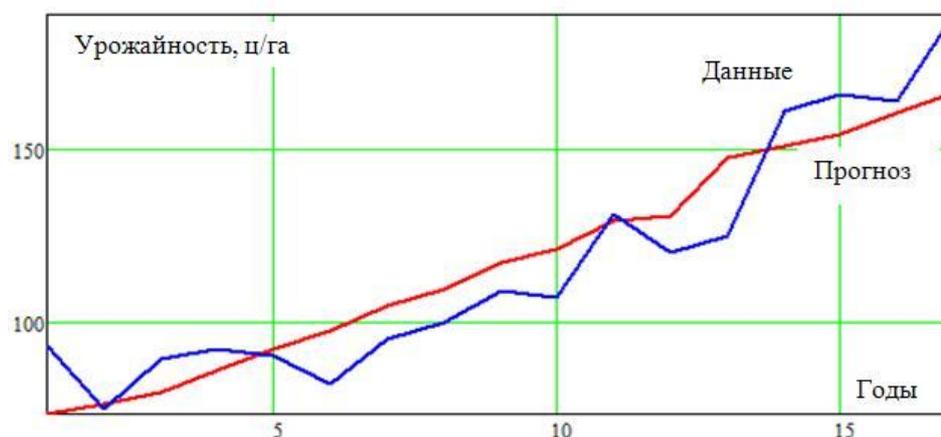


Рисунок 2 – Значения урожайности овощей в РО с 1995 по 2011 г. и их прогноз с помощью регрессионного уравнения

Выделяют следующие адаптивные методы прогнозирования временных рядов: Брауна, Хольта, Бокса – Дженкинса, Универса и Тейла – Вейджа [10]. Данные урожайности овощей в Ростовской области из таблицы 3 были использованы с целью иллюстрации применения адаптивных методов прогноза. Для сравнения методов прогноза служат коэффициенты корреляции, детерминации и среднеквадратичное значение абсолютных остатков s . Значения критерия s для разных методов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения критерия s для адаптивных методов

Метод	Брауна	Хольта	Бокса – Дженкинса	Уитерса	Тейла – Вейджа
Значение	15,328	14,108	13,727	25,141	13,773

Из таблицы 5 видно, что наименьшее значение критерия прогноза s имеет метод Бокса – Дженкинса, поэтому он является предпочтительным. Прогнозное значение урожайности овощей на 2012 г. равно 181 ц/га. Коэффициент корреляции между значениями временного ряда и прогноза равен 0,926, что меньше на 0,002, чем для прогноза, рассчитанного по формуле (1).

Ассоциативные методы прогноза представляют собой значимые математические модели, у которых независимые переменные попадают в интервалы рамочных значений. К ассоциативным моделям можно отнести любые тренды и регрессионные модели.

Инструментальные методы прогнозирования – это универсальные пакеты математических (Excel, Mathematic, Mathcad, MATLAB) и статистических (Statistica, SPSS, Statgraphics, Stata, Economic View) расчетов, в которых значения прогнозов с помощью встроенных функций усредняют исходный ряд.

Выводы. Проведение исследования или анализа системы предшествует прогнозированию, а прогноз служит для повышения качества системы. Использование статистического инструментария прогнозирования должно осуществляться по следующим направлениям:

- создание методических пособий, в которых излагается процедура применения методов прогноза на основании практических данных производства при различных значениях факторов и режимов;
- статистическое оценивание и предварительная обработка полученных данных;
- использование статистических методов прогнозирования в научных исследованиях и практической деятельности.

Методика проведения статистического прогноза включает следующую последовательность процедур:

- определение однородности данных;
- построение распределений для данных системы;
- проведение статистического анализа временных рядов;
- использование корреляционного и многомерного статистического анализа для снижения размерности системы;
- построение регрессионных зависимостей;
- определение значимости зависимостей и оценка их остатков.

При применении процедуры прогнозирования сельскохозяйственного производства с учетом различного уровня плодородия почв в мелиорации следует:

- выявить основные показатели;
- разработать программу мер преобразований сельскохозяйственных угодий и повышения продуктивности орошаемых земель с использованием результатов прогнозирования.

Список использованных источников

1 ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Взамен ГОСТ Р ИСО 9000-2001; введ. 2008-12-18. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 30 с.

2 Щедрин, В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 255 с.

3 Щедрин, В. Н. Проблемы и перспективы становления рыночных отношений в мелиорации и водном хозяйстве / В. Н. Щедрин, Е. Б. Колбачев. – Новочеркасск: НГТУ, 1993. – 112 с.

4 Арженовский, С. В. Методы социально-экономического прогнозирования: учеб. пособие / С. В. Арженовский. – Ростов н/Д.: Дашков и К, 2008. – 236 с.

5 ISO/TR 10017:2003. Руководство по статистическим методам применительно к ISO 9001. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 48 с.

6 Регионы России. Социально-экономические показатели. 2012: стат. сб. – М.: Росстат, 2012. – 990 с.

7 Игнатьев, В. М. Статистические модели прибавки урожайности сельскохозяйственных культур / В. М. Игнатьев, И. Н. Ильинская // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: Темп, 2002. – С. 11–12.

8 Волосухин, В. А. Статистическая обработка экспериментальных данных / В. А. Волосухин, Д. В. Янченко. – Новочеркасск: НГМА, 2007. – 295 с.

9 Игнатьев, В. М. Модели урожайности риса от элементов питания / В. М. Игнатьев, М. В. Серeda // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25: сб. ст. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2012. – Т. 8. – С. 95–97.

10 Валентинов, В. А. Эконометрика / В. А. Валентинов. – М.: Дашков и К°, 2009. – 445 с.