

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Департамент мелиорации

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

УДК 626.82

В. Н. Щедрин, А. С. Штанько, О. В. Воеводин,  
А. Л. Кожанов, С. Л. Жук, А. Е. Шепелев

**ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЛАНОВОГО  
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Научный обзор

Новочеркасск 2014

## Содержание

1 Понятие о плановом водопользовании .....	3
2 Этапы развития планового водопользования .....	6
3 Анализ используемой в настоящее время технологии планирования и реализации водопользования на оросительных системах.....	12
4 Системный подход к решению задачи управления водопользованием .....	18
5 Основные направления совершенствования технологии планирования и реализации водопользования .....	25
Список использованной литературы.....	31

## **1 Понятие о плановом водопользовании**

В настоящее время плановое водопользование является основой оперативной деятельности как отдельных частных водопользователей, так и государственных оросительных систем в целом. Целью планирования является получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур путем создания научно-обоснованных режимов их возделывания при обязательных условиях сохранения и повышения плодородия почв и окружающей природной среды, создании цивилизованных условий для трудовой и производственной деятельности сельского населения. В связи с этим плановое водопользование – это управляемый технологический процесс, включающий комплекс организационных, технических и технологических мероприятий на водохозяйственном объекте (оросительная система или отдельные ее звенья, различные водопользователи, фермерские хозяйства) по оптимальному управлению водным, воздушным, питательным и тепловым режимами сельскохозяйственных культур и обеспечению надежной работы всех конструктивных элементов системы и орошаемых участков, имеющегося оборудования, устройств, зданий и поливной техники [1].

Сложность управления водопользованием на крупных оросительных системах состоит в том, что они обслуживают значительные площади, рассредоточенные в плане и значительно удаленные от источника орошения. По мере удаления от головного водозаборного сооружения в работу включается все большее число каналов и трубопроводов. Разветвление оросительной сети связано с разукрупнением подаваемых в нее расходов воды, увеличением количества операций по вододелению и усложнением процесса управления водой.

Реализация данного способа управления водопользованием заключается в распределении водных ресурсов водопотребителям во всех звеньях мелиоративной системы в соответствии с согласованными и утвержденными годовыми внутрихозяйственными и системными планами водополь-

зования. Внутрихозяйственный план водопользования отражает подекадную потребность в водных ресурсах отдельного водопотребителя на предстоящий год в соответствии с предоставленными системой лимитами. Системный план водопользования устанавливает размеры, порядок и сроки подачи воды всем водопотребителям данной оросительной системы.

Опыт эксплуатации оросительных систем позволяет сформулировать следующие основные принципы планового водопользования [2].

1 Принцип плановости. Предусматривает определенную иерархию в планировании водопользования. Основное звено в планировании – хозяйство, и поэтому на данном уровне составляют внутрихозяйственные планы водопользования. На основании данных планов формируют системные планы водораспределения, затем составляют бассейновые водоземельные балансы. Этим документам придают статус государственных с соответствующими и присущими им методами и формами отчетности и контроля.

2 Принцип поэтапности. Предполагает планирование водопользования последовательно снизу вверх, исходя из оптимальной потребности сельскохозяйственных культур в оросительной воде, в полной увязке с прогрессивной технологией их возделывания. Режимы орошения определяют для каждого поля, севооборотного участка, хозяйства, района, орошаемой территории и региона на основании экспериментальных исследований или расчетными методами с учетом комплекса факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур.

3 Принцип лимитности. Установление лимитов забора оросительной воды как в систему, так и отдельным хозяйствам обуславливается водноносностью источника орошения; конструктивными особенностями головных сооружений системы, межхозяйственной и внутрихозяйственной оросительной сетей и сооружений на них; мелиоративным состоянием орошаемых земель и степенью их засоления; наличием дренажа. Важное зна-

чение имеет уровень обеспеченности хозяйств техникой полива сельскохозяйственных культур и различными видами ресурсов.

4 Принцип оптимальности. Методология подхода которого позволяет получить максимальную продукцию при создавшихся ограничениях на отдельные виды ресурсов. Этого достигают выполнением всех технологических процессов в оптимальном режиме – распределение воды по оросительной сети, проведение поливов и необходимых агротехнических мероприятий и т. д., что обеспечивает своевременное маневрирование водными и трудовыми ресурсами, техникой с целью получения максимального экономического эффекта для данных конкретных условий.

5 Принцип непрерывности подачи крупным хозяйствам и очередности водоподачи мелким хозяйствам. Предусматривает круглосуточную подачу воды большим расходом для крупных хозяйств и поочередную мелким (фермерским) хозяйствам площадью менее 100-200 га, для которых вводят двух – четырехтактный водооборот, что позволяет эффективно использовать оросительную воду. В условиях резкого маловодья водооборот вводят также и при подаче воды в крупные хозяйства, который может быть как межхозяйственным, так и внутрихозяйственным.

6 Принцип комплексности планов. Заключается в том, что планы водопользования должны включать не только забор и рациональное распределение и использование оросительной воды, но и планы ремонтных и восстановительных работ каналов, сооружений, систем автоматики и телемеханики, вспомогательного оборудования; обеспеченность мелиоративной техникой и инвентарем.

7 Нормативная база. При планировании водопользования обязательно используют нормативные документы, разработанные специальными научно-исследовательскими и проектными институтами. Это относится к дифференцированным режимам орошения сельскохозяйственных культур, ремонтным работам всех видов, различным машинам и механизмам, системам водоизмерения, автоматики и телемеханики, а также трудовым

ресурсам с обязательным обеспечением нормальных производственных и бытовых условий их деятельности.

8 Научно-технические достижения. Обеспечивается внедрение научно-технических достижений в практику эксплуатации оросительных систем, использование экономико-математических методов, методов системного анализа, электронно-вычислительных машин при планировании и оперативном управлении технологическими процессами на системе.

## **2 Этапы развития планового водопользования**

Основы современной методологии, реализующие технологию планирования водопользования как способа управления водопользованием на оросительных системах, были заложены в 30-е годы двадцатого века. Впервые методика составления системных и районных планов водопользования была разработана в 1929 году Н. А. Янишевским [3, 4]. В представленной им методике планового распределения оросительной воды между орошаемыми массивами были изложены рекомендации по составлению и проведению планов водопользования, способы установления расчетных режимов орошения (сроков и норм поливов), способы определения и уменьшения потерь воды из каналов и приемы разверстки этих потерь при планировании водопользования. Эти положения в дальнейшем послужили основой для развития планового водопользования на мелиоративных системах.

В 30-х годах прошлого века возникла необходимость дальнейшего развития форм и методов планирования водопользования. На основе накопления и обобщения опыта по составлению и практическому осуществлению планов водопользования, а также передового опыта эксплуатации оросительных систем под руководством И. А. Шарова в 1938 году были разработаны правила технической эксплуатации оросительных систем. Наряду с изложением усовершенствованной методики составления и выполнения планов водопользования в правилах была выдвинута идея диспетче-

ризации управления водой как основа централизованного руководства оперативной деятельностью оросительных систем, которая была развита в последующих работах автора [5].

До 1949 года водопользование планировалось главным образом по межхозяйственным каналам. В 1951 году Министерство сельского хозяйства СССР утвердило методические указания по составлению и проведению планов водопользования на оросительных системах, разработанные учеными ВНИИГиМ. В основу этой методики был положен принцип полного соответствия подачи и потребности в оросительной воде в каждом орошаемом хозяйстве с целью получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Последующие годы связаны с колоссальными темпами гидромелиоративного строительства, технического совершенствования гидромелиоративных систем, значительного улучшения техники и способов полива сельскохозяйственных культур. Большие изменения претерпели принципы водораспределения на мелиоративных системах на основе внедрения автоматизации водораспределения и управления процессами механизации водохозяйственных работ [6].

С учетом указанных изменений В. И. Ольгаренко и И. А. Чуприным были разработаны Временные рекомендации по составлению и проведению планов водопользования на оросительных системах Северного Кавказа [7], утвержденные в 1972 году научно-техническим советом Минводхоза РСФСР в качестве практического пособия для работников колхозов, совхозов и водохозяйственных организаций. В основу разработанной методики положен существующий ранее принцип поэтапного планирования. Однако внутрихозяйственное планирование проводилось с учетом достижений передовой науки и практики. Это внесло существенные изменения в процесс планирования внутрихозяйственного водопользования и оптимального водораспределения, хотя основная идея осталась прежней – получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Дальнейшие исследования в этом направлении проводились В. Г. Гринченко, Г. А. Гарюгиным, В. М. Игнатьевым, Ю. А. Крыловым, В. И. Ольгаренко, И. А. Чуприным, В. И. Чуприной, Н. Ф. Чередниченко, Т. Н. Шульга. В результате обобщения имеющегося на тот момент опыта по организации водопользования и исследований указанных авторов был разработан ряд научных работ [8-10], которые определили дальнейшие пути развития планового водопользования.

Отсутствие средств вычислительной техники вынуждало искать иные пути повышения эффективности и обоснованности планов водопользования. Предпринимались попытки упростить и облегчить составление планов и их корректировку. Например, Х. А. Ахмедов составил специальную номограмму, которая позволяет с некоторой погрешностью определять расходы воды, площади и сроки полива, значение поливной нормы. Номограмма предназначена для ускорения составления хозяйственных планов водопользования. Для облегчения расчетов по увязке баланса водораспределения, а также для осуществления корректировки планов С. Р. Оффенгенден рекомендовал свои методы расчетов и необходимые графики и таблицы.

Кроме этого, исследованиями И. П. Айдарова, Л. Г. Балаева, Г. Р. Ефимова, И. П. Кружилина, Г. А. Сенчукова, В. Г. Гниненко и других [11-16] установлены значительно завышенные величины удельного водопотребления сельскохозяйственных культур по сравнению с расчетными, а также большие потери оросительной воды как в оросительных каналах, так и на полях орошения. Поэтому важное значение в разработке общей методологии водопотребления имеет проблема точности и достоверности расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур.

Дальнейшее совершенствование методологии водопользования проводилось с целью оптимизации использования водных ресурсов в условиях их дефицита с использованием методов системного анализа и математического моделирования. Реализация данного направления нашла отражение в



работах Г. В. Воропаева, Т. К. Деркинбаева, В. П. Дмитренко, Л. М. Игельника, Г. Х. Исмаилова, Б. Г. Коваленко, В. Г. Пряжинской, Р. А. Халбаевой и других авторов [17-22]. Усовершенствованная методика водопользования с использованием указанных научных подходов была разработана О. П. Кисаровым, В. И. Ольгаренко, Т. Я. Гельтман, К. А. Сарочаном и другими учеными и внедрена на оросительных системах Ростовской области [23-25]. Также при участии М. У. Магомедова, В. М. Игнатьева, А. А. Гаврилова указанная методика прошла производственную проверку на оросительных системах канала имени Октябрьской Революции в республике Дагестан [26, 27].

С появлением первых отечественных ЭВМ (конец 70-х – начало 80-х годов) в стране начали создаваться первые автоматизированные системы управления гидромелиоративными системами (АСУ ГМС). Организационная структура таких АСУ предполагала жесткую централизацию управления: все расчеты, связанные с предварительным и оперативным планированием водопользования, должны были проводиться на Кустовых вычислительных центрах при региональных органах управления эксплуатацией ГМС (крайводхозах и облводхозах) [28]. Опыт внедрения таких систем в Ростовской области (АСУ Ростовоблводхоза) [23] и Краснодарском крае (АСУ Краснодарского Крайводхоза) [29] нельзя назвать положительным. Кроме технических проблем, связанных с общим уровнем развития ЭВМ, отсутствием надежных средств связи для обмена информацией между Кустовыми ВЦ и управлениями оросительных систем, ошибочным был сам подход централизованного управления. На согласование результатов расчетов, введение корректив в исходную информацию уходило много времени. Специалисты хозяйств и управлений оросительных систем были практически отстранены от процесса составления планов водопользования и водораспределения.

С середины 80-х годов начался новый этап в создании моделей, разработке алгоритмов и программного обеспечения, реализующих компью-

терные технологии планирования водопользования и водораспределения на гидромелиоративных системах. Связано это было с появлением персональных компьютеров, в том числе отечественных: «Искра-226», «Электроника-85», «ЕС-1840». Замена так называемых больших ЭВМ персональными компьютерами должна была устранить основной недостаток существовавших АСУ – излишнюю централизацию управления, повысить оперативность принятия решений, вовлечь специалистов управлений оросительных систем в процесс составления предварительных и оперативных планов водопользования и водораспределения [30]. Однако на тот период времени уровень развития отечественных средств вычислительной техники, ее высокая стоимость, сложность эксплуатации фактически исключали возможность использования разработанных средств специалистами управлений оросительных систем при планировании водопользования на оросительной системе.

В 80-х годах появляется ряд научных трудов, связанных с оптимальным планированием водопользования и водораспределения. В. П. Остапчик для определения очередности поливов по конкурирующим полям предлагает приоритетный подход, основанный на использовании аппарата экспертных оценок [31]. Н. Л. Модебаудзе и Д. Д. Могавариане в условиях дефицита водных ресурсов, напротив, считают наиболее целесообразным пропорциональное снижение оросительных норм для всех видов сельскохозяйственных культур [32].

На следующем этапе развития методологии водопользования было уделено большое внимание сохранению и восстановлению устойчивых экосистем. Истощение и загрязнение водных ресурсов, снижение экологической устойчивости ландшафтов определяют необходимость формирования новых подходов к разработке стратегии развития водного хозяйства и основополагающей концепции водопользования с учетом эколого-экономических требований и ограничений. В работах И. П. Кружилина, А. В. Колганова, Е. Б. Колбачева, В. Н. Щедрина [33-35] указывается, что

главными задачами при управлении водораспределением являются сохранение окружающей природной среды, поддержание оптимальных режимов мелиорируемых земель, сохранение и воспроизводство плодородия почв, создание новых форм управления эксплуатацией систем. По мнению В. И. Ольгаренко приоритетным на современном этапе должен стать постепенный переход от минимизации ущерба природе к достижению гармонического развития техноприродных систем, обладающих контролируруемыми и управляемыми параметрами и свойствами. Экосистемное водопользование должно стать одним из важнейших направлений этого процесса. Концепция экосистемного водопользования ориентирована на экологизацию использования водных, земельных и биологических ресурсов, снижение безвозвратного водопотребления, предупреждение загрязнения водных экосистем в процессе производства продукции, водопотребления и водоотведения. Под экологизацией понимается коррекция и формирование вещественно-энергетических и информационных потоков в соответствии с экологическими ограничениями и требованиями [6].

Совершенствование существующих и разработка новых методов планирования и организации водопользования на системах имеет основополагающее значение для дальнейшего эффективного развития мелиоративной науки и практики. В этой проблеме на настоящий момент первостепенное значение занимают вопросы разработки технологий и систем управления при наличии дефицитов на все виды ресурсов. Это, прежде всего, методология оптимизации водораспределения на всех уровнях иерархии управления на основе экономико-математических методов и методов системного анализа; совершенствование технологий планирования водопользования за счет применения автоматизированных систем управления и ЭВМ; создание более гибких систем управления сложными объектами, позволяющих комплексно решать вопросы природопользования и охраны природной среды, более полно учитывать почвенно-климатические,

организационные, социально-экономические аспекты исследуемых регионов в современных условиях хозяйствования [6].

### **3 Анализ используемой в настоящее время технологии планирования и реализации водопользования на оросительных системах**

В орошаемом земледелии использование воды является сложным процессом, состоящим из комплекса мероприятий, направленных на рациональное использование водных ресурсов и орошаемых земель в соответствии с планами водопользования. Недостаточное или излишнее количество воды, поданное на полив возделываемых сельскохозяйственных культур, приводит к снижению их урожайности и увеличению дополнительных затрат по эксплуатации гидромелиоративных систем [36]. Распределение и использование воды во всех звеньях оросительной системы осуществляют на основе информации о спросе на воду. Планирование водопользования и водораспределения проводится «снизу–вверх», начиная с поливного контура до точки водозабора в магистральный канал [37, 38].

Решение задачи планирования водопользования осложняется тем обстоятельством, что хозяйства, непосредственно использующие воду на полив, административно не подчиняются службам эксплуатации оросительных систем, а взаимодействуют с ними на уровне обмена информацией в виде внутрихозяйственных планов водопользования, оперативных заявок на воду и отчетов об использовании воды. Так как водопотребители являются независимыми собственниками, то у руководства оросительной системы нет возможностей значительно влиять на решения, принимаемые руководителями в плане выбора и размещения культур.

При планировании водопользования филиалы управлений эксплуатацией оросительной системой руководствуются нормативными документами регионального уровня, регламентирующими правила составления и проведения внутрихозяйственных и системных планов водопользования, в которых учтены климатические особенности и уровень технического развития

оросительных систем. Такими документами являются «Временные рекомендации по составлению и реализации планов водопользования на оросительных системах Ростовской области» [6] и «Методические указания по составлению планов водопользования для оросительных систем» для условий Средней Азии [39].

Данные документы содержат последовательность составления и реализации внутрихозяйственного и системного планов водопользования, таблицы и формы для представления материалов по составлению планов водопользования и основные положения для определения общего коэффициента полезного использования оросительной воды как в отдельном хозяйстве, так и оросительной системе в целом. Кроме этого «Временные рекомендации по составлению и реализации планов водопользования на оросительных системах Ростовской области» включают анализ литературных источников по состоянию водопользования на оросительных системах Российской Федерации, странах ближнего и дальнего зарубежья. В общем виде технология планирования и реализации водопользования в соответствии с указаниями данных документов может быть представлена в виде блок-схемы (рисунок 1). На первом, втором и третьем этапах предусматривается предварительное планирование водопользования. На четвертом и пятом этапах, которые проводятся параллельно и взаимосвязано, – реализация принятых планов водопользования.

На первом этапе управление оросительной системой дает хозяйствам-водопользователям ориентировочную величину лимита воды для полива культур, бытовых нужд и целей сельскохозяйственного водоснабжения. Лимит водопотребления должен устанавливаться из расчета полной потребности расхода воды для орошения сельскохозяйственных культур на данном участке в определенных климатических условиях с учетом хозяйственных и коммунальных нужд, исходя из возможной водообеспеченности источника орошения. Примерный лимит может быть определен представленным в рекомендациях расчетным методом или на основе многолет-

них данных о фактической величине подачи воды каждому хозяйству с учетом влагообеспеченности текущего года.



**Рисунок 1 – Блок-схема технологии планирования и реализации водопользования на оросительных системах**

На втором этапе специалисты хозяйства-водопользователя составляют внутрихозяйственный план водопользования, который включает в себя:

- план подачи воды в хозяйство;

- план распределения оросительной воды по внутриводопользовательской сети;

- план полива сельскохозяйственных культур и проведения эксплуатационных мероприятий.

Внутриводопользовательский план водопользования, оформленный в соответствии с требованиями рекомендаций, передается в управление оросительной системы.

На третьем этапе специалисты управления оросительной системой составляют системный план водопользования и анализируют его на наличие дефицита водных ресурсов. При наличии существенного дефицита производится уменьшение лимитов и корректировка внутриводопользовательских планов водопользования. После корректировки внутриводопользовательских планов водопользования снова проверяется баланс водораспределения и системный и внутриводопользовательские планы водопользования утверждаются и принимаются к реализации.

На четвертом этапе предусматривается реализация внутриводопользовательского плана водопользования, которая производится путем составления специалистами хозяйств декадных оперативных графиков за 2-4 дня до начала календарной декады. Оперативные графики составляются на основе плановых расходов воды с учетом состояния посевов, влажности почвы, организационно-хозяйственных возможностей. Если в результате хозяйству требуется увеличить подачу воды по сравнению с предусмотренной планом, то ему необходимо за 3-4 дня до начала декады представить в управление оросительной системой обоснованную заявку на дополнительное количество воды. Увеличить декадный лимит можно за счет резерва, имеющегося в системе, или неиспользованной воды в данной декаде другими хозяйствами.

На пятом этапе, проводящемся параллельно с четвертым, проводится реализация системного плана водопользования, которая производится путем распределения воды по системе на основе диспетчерского управления.

В ходе реализации системного плана водопользования рекомендациями предусматривается его корректировка при условии изменения основных исходных данных полива:

- большие отклонения в изменении размеров и состава площадей сельскохозяйственных культур от установленного фактического сева;
- устойчивого отклонения водоносности источника орошения от показателей, принятых для расчетного года.

Корректировка системного плана водопользования производится путем пропорционального сокращения или увеличения плановых значений расходов на водовыделах в хозяйства по представленной в рекомендациях методике.

К недостаткам рассмотренных рекомендаций можно отнести следующее:

- отсутствие положений о порядке оптимизации внутрихозяйственного плана водопользования на третьем этапе в случае необходимости его корректировки при наличии дефицита водных ресурсов;
- применение пропорционального сокращения плановых значений расходов, проводимого в ходе корректировки системного плана водопользования в условиях дефицита водных ресурсов на этапе реализации системного плана водопользования. Указанный подход не учитывает величину потерь урожайности конкретных сельскохозяйственных культур от недополива и не позволяет добиться минимума возможного ущерба из-за нехватки оросительной воды.

На практике процесс формирования системного плана водопользования достаточно трудоемкий и длительный по времени. Задача отдела водопользования состоит в комплектовании системного плана на основе внутрихозяйственных планов водопользования, поступивших в управление от хозяйств. План водопользования должен быть увязан с режимом источника орошения, это является основным лимитирующим фактором на маловодных оросительных системах. При составлении системного плана водо-



пользования учитываются наличие и техническое состояние поливной техники, пропускная способность и КПД каналов оросительной сети, конструктивные особенности и производительность головного сооружения системы. Принимается во внимание и план эксплуатационных мероприятий (ремонт каналов, сооружений, насосных станций и т. д.), технология выращивания сельскохозяйственных культур, трудовые и энергетические ресурсы, правовые и экологические факторы. План забора воды в систему определяют, суммируя данные внутриводопользовательных планов водопользования для вододелительных узлов. Полученные расходы увязывают с расходами, которые может обеспечить источник орошения. Баланс водораспределения считается увязанным, если отклонения значений этих величин не превышают 5 %. Сведение баланса водораспределения связано с большим количеством вычислений, с необходимостью имитационного и математического моделирования. На практике таких расчетов практически не производят.

На этапе планирования водопользования на оросительной системе невозможно заранее предусмотреть и учесть динамику развития всех многочисленных факторов метеорологического, гидрологического и хозяйственного характера, которые в конечном итоге определяют фактические результаты водохозяйственной деятельности управлений оросительных систем. Основными причинами отступления от плана водопользования являются:

- изменение в структуре посевных площадей;
- изменение водообеспеченности источника орошения;
- выпадение большого количества осадков либо засуха;
- аварийная ситуация.

На практике в период поливного сезона план водопользования корректируется условно. Это вызвано громоздкостью и долговременностью процедуры корректировки, сложностью расчетов и отсутствием каких-либо инструментальных средств, обеспечивающих автоматизацию счетных работ. При значительных отклонениях прогнозируемой водообеспеченно-

сти источника орошения от фактической, существенном изменении структуры посевных площадей план водопользования должен быть пересчитан полностью, однако на практике это почти не соблюдается.

План водопользования, который не согласован с режимом источника орошения, не уточнен в части структуры орошаемых площадей и не откорректирован в зависимости от складывающихся климатических или технических факторов, не может быть актуальным и способствовать эффективному использованию ресурсов оросительных систем. Такие результаты планирования водопользования объясняются не только отсутствием методов расчета, увязки и корректирования планов, но и значительным объемом вычислений и полным отсутствием инструментов информационной и технологической поддержки специалистов управлений оросительными системами.

#### **4 Системный подход к решению задачи управления водопользованием**

Цель планирования и управления в системе моделей заключается в оптимальном распределении воды, критерием эффективности которого будет являться минимум возможного ущерба из-за нехватки оросительной воды.

Оросительная система представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов, имеет определенную структуру, взаимодействует с внешней средой и другими технологическими системами земледелия, но обособленно от них. По этим признакам оросительная система соответствует понятию самостоятельной системы. При этом согласно классификации она относится к большим системам, так как отличается разветвленной структурой с большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов [40-42].

Для решения задачи оптимального управления такими сложными объектами, как гидромелиоративная система, теория управления рекомендует использовать системный подход [40-42], основанный на том, что любая управляемая система представляет собой единое целое. Системный

подход к анализу процессов, происходящих при управлении оросительной системой, означает учет этих взаимосвязей; изучение отдельных элементов системы и объектов как структурных частей более сложных систем; выявление роли каждого из них в общих закономерностях функционирования и, наоборот, воздействие системы в целом на отдельные ее элементы. Данный подход реализуется при решении практических задач применением методов математического и имитационного моделирования [43-45].

Моделирование в мелиорации – это современный подход обоснования мелиорации, оценки ее эффективности, экологической безопасности, быстрого анализа вариантов проектных решений, долговременного прогнозирования природных процессов при меняющихся погодных условиях [46].

Задача управления заключается в том, чтобы объект управления в условиях реальной эксплуатации обеспечивал выполнение требуемых функций. Фактическое состояние объекта управления определяется одним или несколькими рабочими параметрами  $y(t)$ . Чаще всего рабочие параметры представляют собой физические величины (скорость водного потока, расход и т. д.). В реальных условиях на объект управления оказывают влияние внешние воздействия, которые называются возмущающими  $z(t)$ . Эти воздействия вызывают изменение внутреннего состояния объекта и как следствие – рабочих параметров (например, температура, ветер и т. д.) [45].

Число элементов, разнообразие связей, вероятностная природа законов функционирования делает эти системы настолько сложными, что их полное формальное описание не представляется возможным. Потребность в управлении сложными системами привела к созданию специальных методов.

В последние годы в большинстве работ, посвященных исследованию общих принципов управления, используется методология системного анализа. Системный анализ позволяет исследовать различные по своей приро-

де объекты с единой точки зрения. В основу методологии системного анализа положены такие понятия, как «система», «сложная система», «иерархия систем», «модель», «цель» и др. [45, 47].

Сложные системы управления имеют следующие важные особенности:

- число параметров, которыми описывается сложная система, весьма велико. Многие из этих параметров не поддаются количественному описанию и измерению;

- цели управления не поддаются формальному описанию без существенных упрощений. Цели являются функциями времени. Система может состоять из подсистем, каждая из которых имеет собственную цель управления. В процессе управления собственные (локальные) цели подсистем нужно согласовывать с общей (глобальной) целью системы, что, как правило, является сложной задачей;

- трудно или даже невозможно дать строгое формальное описание сложной системы управления. Как правило, основной задачей при моделировании таких систем является поиск разумного упрощения их описания.

По степени определенности системы управления обычно разбивают на детерминированные и вероятностные (стохастические).

Детерминированной системой называют систему, в которой по ее предыдущему состоянию и некоторой дополнительной информации можно безошибочно (т. е. вполне определенно) предсказать ее последующее состояние.

В вероятностной системе на основе предыдущего состояния и дополнительной информации можно предсказать лишь множество возможных будущих состояний и определить вероятность каждого из них.

Разбиение систем на простые и сложные, детерминированные и вероятностные в определенной мере условно. По мере развития средств моделирования и исследования конкретная реальная система может перейти из одного класса в другой.

В результате использования двух последних классификационных признаков все системы управления можно разделить на четыре категории: простые детерминированные; сложные детерминированные; простые вероятностные; сложные вероятностные.

Комплекс математических моделей, адекватных основным элементам управляемой системы, а также происходящим в ней явлениям и процессам, дает возможность на основе вводимой информации оценивать состояние всех звеньев системы. Учитывая стохастический характер возмущающих воздействий, эта оценка может рассматриваться как прогноз траектории движения системы в промежуток времени. На основании этого прогноза появляется возможность планировать оптимальное управляющее воздействие для поддержания системы в рамках оптимума, распределять ресурсы при их дефиците между конкурирующими объектами управления с ориентировкой на максимальную эффективность функционирования системы.

Реальная оросительная система – это целый комплекс севооборотных и поливных участков с набором возделываемых сельскохозяйственных культур, подводящих каналов внутрихозяйственной и межхозяйственной оросительной сети, магистрального канала и головного водозабора, водовыделов и насосных станций, применяемых способов и техники полива и т. д. Очевидно, что для решения задачи управления водопользованием на оросительной системе не имеет смысла использовать метод физического моделирования. Невозможно создать модель, которая бы с приемлемой точностью могла воспроизвести реальные процессы, происходящие в системе [48]. Для решения задач подобного рода целесообразно использовать методы математического и имитационного моделирования, обладающие заведомо более широкими возможностями [49-51].

Методология системного анализа позволяет выделить следующие основные этапы процесса планирования: постановка задачи, моделирование и анализ, оценка возможных вариантов решения. На этапе постановки

задачи определяется объект исследования, цель, критерии, область допустимых решений, входные и управляющие переменные.

При планировании водопользования на оросительных системах входными переменными являются структура посевных площадей, набор сельскохозяйственных культур и их поливные нормы, пропускная способность каналов и сооружений системы, способы и техника полива, технические возможности дождевальных машин, статистические данные наблюдений за природно-климатическими факторами внешней среды и другая условно-постоянная информация.

Кроме того, при решении задачи планирования водопользования существует группа переменных, относящихся к нормативно-справочной информации, которые характеризуют рассматриваемый процесс или объект, оказывают на него влияние. При этом их значения практически не изменяются от года к году: набор каналов оросительной сети и гидротехнических сооружений на них; перечень сельскохозяйственных культур, возделываемых на орошаемых землях в данной агроклиматической зоне; количество фенологических фаз развития сельскохозяйственных культур и среднестатистические сроки их наступления; принятая расчетная глубина корнеобитаемого слоя у каждой сельскохозяйственной культуры; паспортно-технические данные оросительной сети и используемой техники полива; полный набор типов почв с учетом их водно-физических свойств и т. п.

Входные переменные или переменные состояния описывают рабочие свойства системы и характеризуют результаты планирования. Выходные переменные определяются значениями входных и особенностями используемых моделей (системой ограничений, функцией цели).

Выходными переменными задачи планирования водопользования на оросительных системах являются сроки и нормы поливов, объемы водоподачи в точку водовыдела, согласованные режимы работы головных и перегораживающих сооружений системы, расчетная и фактическая дина-

мика изменения влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы, урожайность сельскохозяйственных культур и т. д.

На этапе моделирования и анализа входные переменные рассматриваемого процесса или объекта связываются с выходными параметрами. Для этого разрабатывается математическая модель процесса или объекта, устанавливается количественная взаимосвязь между переменными и выходными параметрами. При необходимости модель может быть изменена с целью достижения большей адекватности реальной системе и процессам, происходящим при ее функционировании.

Из всего многообразия методов получения моделей наиболее эффективными являются статистические методы моделирования, представляющие собой совокупность методов многомерной статистики и методов имитационного моделирования. В основу методов многомерной статистики положено наблюдение за функционированием моделируемой системы и последующая обработка результатов наблюдений. Одно из основных достоинств этих методов – возможность формирования случайных входных возмущений системы в заданном диапазоне их изменения.

Например, при формировании внутриводного плана водопользования на поливной период невозможно знать в начале года, когда составляется этот план, ни водообеспеченности источника орошения, ни метеоусловий текущего года. Но на основании гидрологических данных за многолетний период по источнику орошения и данных статистических наблюдений за природно-климатическими факторами внешней среды в районе хозяйства можно промоделировать ход и изменение этих величин в течение вегетационного периода необходимое количество раз.

Основой имитационного моделирования является логический анализ элементарных процессов в системе, имитация явлений, составляющих исследуемый процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени [49-51]. В результате многократного моделирования закономерностей функционирования системы получается на-

бор планов водопользования, каждый из которых для определенных начальных условий наилучшим образом удовлетворяет биологические потребности растений в воде в течение вегетационного периода. По мере обследования вариантов поведения системы в разных условиях можно выявить тенденции в удовлетворении потребностей сельскохозяйственных культур. Для этого можно воспользоваться методами математической статистики. Так, например, для получения набора планов внутриводопользования можно построить эмпирическую функцию плотности распределения вероятностей и по ней найти наиболее вероятный план внутриводопользования [48].

Использование методов имитационного моделирования для решения задач управления влечет за собой необходимость сбора, хранения и обработки больших объемов нормативно-справочной, сезонной и оперативной информации. Расчеты трудоемки как ввиду относительной сложности части моделей, так и в связи с большим количеством объектов управления. Обработка такого объема информации по алгоритмам комплекса моделей вручную практически невыполнима, а сокращение его и упрощение моделей нецелесообразно, так как ведет к снижению качества планирования и управления.

Для организации управления большими динамическими стохастическими системами сельского хозяйства во всех экономически развитых странах мира широко применяются информационные и управляющие системы. Принятие любого управленческого решения должно основываться на анализе всей имеющейся информации, касающейся объекта управления, действующих ограничений, критериев качества, характера возмущающих воздействий и т. д. В этой связи управление оросительной системой со всей ее инфраструктурой представляется весьма сложным процессом. Выработка оптимального решения требует учета целого комплекса факторов, носящих экономический, климатический, биологический, правовой и социальный характер. Возникает необходимость обработки исходных дан-



ных значительных объемов, которые в своем первоначальном виде мало информативны.

Разработка на основе системного подхода алгоритмов и моделей оптимального планирования внутрихозяйственного водопользования даст работникам хозяйств и управлений оросительных систем аппарат для автоматизированного решения этих задач.

## **5 Основные направления совершенствования технологии планирования и реализации водопользования**

Обзор публикаций, посвященных оптимизации распределения водных ресурсов при их дефиците, показывает, что основными методами являются приоритетное распределение с использованием экспертных оценок, пропорциональное снижение водообеспеченности для всех сельскохозяйственных культур и определение объемов водоподачи с использованием оптимизационных моделей. Предлагая различные подходы к решению задачи предварительного планирования водопользования, все авторы сходятся во мнении, что оперативно и точно рассчитать системный план водопользования, сформировать множество сводных ведомостей, свести баланс водораспределения, увязав его с режимом источника орошения, своевременно осуществляя корректировку планов, можно лишь в случае использования специалистами управлений оросительных систем системы поддержки принятия решений, основанной на использовании возможностей информационных технологий, математического и имитационного моделирования.

Располагаемый объем водных ресурсов в источнике орошения определяет два различных подхода к планированию водопользования на оросительных системах. В отсутствии ограничений на забор воды из источника орошения планирование осуществляется по стандартной схеме, которая рассчитана на удовлетворение полной потребности растений в орошении [52-54], и предполагает следующий порядок действий:

- внутривладельческие календарные планы полива, рассчитанные на полную потребность сельскохозяйственных культур в орошении, поступают в управления оросительных систем;

- на основе поступивших из хозяйств календарных планов полива рассчитываются потребности в воде по декадам и за сезон, площади полива по хозяйствам, районам и системе в целом;

- рассчитанные показатели системного плана водопользования увязывают с прогнозируемыми запасами воды в источнике орошения, с производительностью головного водозаборного сооружения (насосной станцией) и пропускной способностью каналов и сооружений системы;

- управления оросительных систем устанавливают лимиты водоподачи каждому водопользователю, исходя из прогнозируемых запасов воды в источнике орошения, при этом ограничения могут накладываться на весь поливной сезон либо на отдельные его периоды;

- хозяйства пересматривают свою водохозяйственную политику по использованию оросительной воды, внутривладельческие планы водопользования корректируют и передают в управления оросительных систем;

- управления оросительных систем выполняют расчет уточненного системного плана водопользования, показатели которого согласованы с прогнозом запасов воды в источнике орошения, производительностью головного водозабора и пропускной способностью каналов и сооружений ОС.

В. И. Селюков в своей работе [44] отмечает, что главный недостаток стандартной схемы в том, что как на этапе предварительного, так и на этапе оперативного планирования не учитываются вполне предсказуемые изменения технических характеристик системы, связанные со снижением КПД каналов и уменьшением их пропускной способности, вызванные процессами заиления, образованием наносов, появлением растительности в руслах каналов. В реальности эти процессы могут привести к значительным отступлениям от плана водопользования, составленного на этапе пред-

варительного планирования, что отрицательно сказывается на организации проведения поливов, способствует возникновению конфликтных ситуаций между управлениями оросительных систем и водопользователями и в конечном итоге приводит к потерям прибавки урожайности от орошения.

На оросительных системах, когда дефицит водных ресурсов предопределен изначально, либо он вызван значительным снижением пропускной способности каналов по различным причинам, планирование водопользования осуществляется по другой схеме. Принципиальным отличием от ранее рассмотренной стандартной схемы является то, что уже на стадии предварительного планирования не предполагается в полном объеме удовлетворение потребности сельскохозяйственных культур в орошении.

Анализ литературных источников позволил выявить три подхода к планированию и реализации водопользования на оросительных системах при дефиците водных ресурсов.

Первый вариант, предлагающий пропорциональное сокращение подачи воды по всем сельскохозяйственным культурам, т. е. планирование проведения поливов сокращенными поливными нормами.

Второй вариант подразумевает создание пропорционально-приоритетной системы. Отличие его от первого в том, что отдельным культурам, например, рису и овощам, отдается преимущество при распределении водных ресурсов, для них поливные нормы сокращаются незначительно либо не сокращаются вовсе.

Третий вариант заключается в том, чтобы свети к минимуму ущерб от недополива, при этом необходимо определить для какой культуры и насколько уменьшить поливную норму, перенести сроки полива либо вовсе оставить культуру без очередного полива.

Таким образом, распределение воды в условиях дефицита водных ресурсов должно основываться на переборе всевозможных сочетаний вышерассмотренных вариантов и выборе наиболее оптимального.

На стадии планирования эту задачу можно решить в упрощенном виде, если воспользоваться экспертными оценками, характеризующими биологическую потребность каждой сельскохозяйственной культуры в орошении, а также совокупность экономических, социальных и других факторов, которые в конечном итоге определяют приоритет сельскохозяйственной культуры при распределении водных ресурсов. Использование метода экспертных оценок в качестве инструмента для оценки альтернативных вариантов широко используется при решении задач, основанных на приоритетном принципе распределения ресурсов между конкурирующими субъектами [45, 51]. Величина конкретной экспертной оценки складывается из различных критериев, «вес» каждого критерия определяет специально созданная экспертная группа. Значения экспертных оценок не являются величинами постоянными, раз и навсегда определенными, а зависят от набора критериев, на основании которых предполагается оптимизировать распределение ресурсов. Так, например, если в качестве критерия оптимального плана распределения водных ресурсов принять максимум дохода, который может быть получен от продажи продукции, величины экспертных оценок в значительной степени должны определяться ценами реализации данного вида продукции.

В простом варианте составление внутривозрастных планов водопользования и сведение этих планов в системный план водораспределения осуществляется по линейной схеме, в которой последовательно учитываются запросы водопотребителей, проверяются ограничения источника орошения и технологические возможности оросительной системы осуществлять подачу воды в соответствии с подекадными заявками хозяйств на воду. В случае ограничения возможностей подачи воды, хозяйствам предлагается скорректировать свои запросы с учетом ограниченных возможностей оросительной системы и источника орошения. Ограничение запросов на воду для хозяйств производится по равномерному принципу.

Остальные хозяйства, не влияющие на вышеописанные ограничения, удовлетворяют по их заявкам в полном объеме.

В данной линейной схеме вариантов оптимизации плана водопользования не появляется. Варианты для оптимизации планов водопользования появляются в следующих случаях:

- в случае, если уменьшать водоподачу хозяйствам согласно какому-либо критерию;
- в случае, когда можно, в некоторой степени изменяя очередность выполнения заявок (отходя от порядка запрошенного хозяйствами), добиться более экономного режима подачи воды за счет уменьшения лишних потерь воды в каналах и холостых сбросов;
- в случае технической возможности использовать водооборот;
- в случае отдельного использования увеличения водоподачи за счет пропуска по каналам форсированных расходов.

Следует отметить, что второй случай для планов водопользования может подразумевать лишь разрешение некоторого недобора воды в одну декаду компенсировать перебором в следующую смежную декаду. Здесь речь идет о подекадных изменениях. Но такие подекадные изменения не так эффективны. Большого эффекта можно было бы добиться, оптимизируя внутривладельческий график гидромодуля. В этом случае на этапе планирования управление оросительной системы должно получить в распоряжение графики гидромодулей с хозяйств и вмешаться в процесс их оптимизации, учитывая ситуацию сразу по всем хозяйствам системы в целом. Естественно, что такой подход требует значительно больших вычислений и необходимость использовать в управлениях оросительных систем специальной компьютерной программы, позволяющей автоматизировать расчет, нормализацию и оптимизацию.

Следует так же отметить, что вся система оптимизации может учитывать лишь рекомендательный характер для хозяйств. Это конечно ус-

ложняет получение окончательного оптимального решения, так как оно должно быть принято по согласованию с хозяйствами.

Во всех случаях возможны следующие критерии для оптимизации:

- минимум потерь урожая от недополива;
- минимум недополитых площадей;
- равномерность недополитых площадей в хозяйствах;
- минимум непроизводительных потерь воды;
- минимум затрат на электроэнергию.

Данные критерии можно расположить последовательно в порядке важности, и производить оптимизацию по каждому критерию в заданной очередности в некоторых границах оптимальных условий.

Наиболее корректным мы считаем вариант последовательности оптимизации, приведенный выше. То есть сначала из всевозможных вариантов отбираются варианты в определенных границах, удовлетворяющие условию минимальных потерь урожая от недополива. Очевидно, что здесь следует ориентироваться на некие коэффициенты потерь от недополива, характерные для конкретных культур. На данный момент таких утвержденных коэффициентов не существует. Поэтому их можно определять по экспертным оценкам или предложить в ходе данной работы из анализа соответствующих исследований по зависимости урожайностей от орошения.

После выявления спектра оптимальных решений по первому критерию производится отбор по второму или третьему критериям. Выбор между очередностью минимума недополитых площадей или равномерностью недополитых площадей неочевиден. Поэтому мы здесь можем предложить выбор очередности применения критерия на усмотрение руководителя управления оросительной системой. На следующем этапе производится оптимизация по принципу минимума непроизводительных потерь воды. И на последнем этапе из оставшихся вариантов выбирается вариант с наименьшими энергетическими затратами.

## Список использованной литературы

1 Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем: учеб. для вузов / В. И. Ольгаренко [и др.]; под ред. В. И. Ольгаренко. – Коломна, 2006. – 391 с.

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

3 Янишевский, Н. А. Методы улучшения эксплуатации оросительных систем и необходимые исследования / Н. А. Янишевский. – Ташкент, 1928. – 24 с.

4 Янишевский, Н. А. Организация планового водопользования с учетом современных требований сельскохозяйственного производства / Н. А. Янишевский. – Ташкент: ОИИВХ, 1957. – 36 с.

5 Шаров, И. А. Эксплуатация гидромелиоративных систем: учеб. пособие для гидромелиоративных институтов и факультетов / И. А. Шаров. – М.: Колос, 1968. – 384 с.

6 Временные рекомендации по составлению и реализации планов водопользования на оросительных системах Ростовской области / В. И. Ольгаренко [и др.]. – Коломна: Инлайт, 2009. – 104 с.

7 Ольгаренко, В. И. Временные рекомендации по составлению и проведению планов водопользования на оросительных системах Северного Кавказа / В. И. Ольгаренко, И. А. Чуприн. – Новочеркасск, 1972. – 89 с.

8 Ольгаренко, В. И. Временные рекомендации по составлению и проведению планов водопользования на оросительных системах Ростовской области / В. И. Ольгаренко. – Новочеркасск, 1975. – 75 с.

9 Гарюгин, Г. А. Режим орошения сельскохозяйственных культур / Г. А. Гарюгин. – М., 1979. – 26 с.

10 Ольгаренко, В. И. Инструкция по планированию и осуществлению внутрихозяйственного водопользования / В. И. Ольгаренко, В. М. Игнатъев. – Новочеркасск, 1989. – 43 с.

11 Ефимов, Г. Р. К вопросу водоотведения с орошаемых земель Поволжья / Г. Р. Ефимов // Проблемы орошаемого земледелия Поволжья. – Саратов, 1990. – С. 96-101.

12 Кружилин, И. П. Ландшафтный метод к освоению орошаемых земель в засушливой зоне / И. П. Кружилин / Ландшафтный подход к мелиорации и вопросам землеустройства: сб. материалов. – М.: РАСХН, ВНИИМЗ, 1994. – С. 34.

13 Айдаров, И. П. Регулирование водно-солевого и питательного режима орошаемых земель / И. П. Айдаров. – М.: Агропромиздат, 1985. – 303 с.

14 Водный режим орошаемых супесчаных почв / Л. Г. Балаев [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – № 7. – С. 34.

15 Сенчуков, Г. А. Экологически приемлемые нормы водопотребности сельскохозяйственных угодий на Северном Кавказе / Г. А. Сенчуков, В. И. Гниненко, В. В. Турулев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1985. – № 6. – С. 31.

16 Сенчуков, Г. А. Нормирование водопотребности сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс] / Г. А. Сенчуков, И. В. Новикова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 2(10). – 14 с. – Режим доступа: [www.rosniipm-sm.ru/archive?n=188&id=192](http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=188&id=192).

17 Пряжинская, В. Г. Оптимальные модели орошения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Пряжинская Валентина Григорьевна. – Новосибирск, 1970. – 46 с.

18 К созданию экономико-экономической модели оросительной системы / Б. Г. Коваленко [и др.] // Вопросы водного хозяйства – Фрунзе: Кыргызстан, 1972. – С. 3-14.



19 Воропаев В. Г. Резервы ирригации, связанные с оптимизацией водных ресурсов / В. Г. Воропаев // Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. – М.: Наука, 1973. – С. 151-178.

20 Дмитренко, В. П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур / В. П. Дмитренко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 48 с.

21 Халбаева, Р. А. Совершенствование планирования водопользования и водораспределения / Р. А. Халбаева. – Ташкент: Среднеазиатский НИИ экономики сельского хозяйства, 1975. – 136 с.

22 Математическое моделирование в управлении водными ресурсами / В. Г. Пряжинская [и др.]. – М.: Наука, 1988. – 247 с.

23 Гельман, Т. Я. Внедрение технологии планирования водопользования и водораспределения с помощью ЭВМ на гидромелиоративных системах Ростовской области / Т. Я. Гельман // Гидротехнические сооружения и вопросы эксплуатации оросительных систем. – Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1986. – С. 63-69.

24 Гельман, Т. Я. К вопросу установления рациональных режимов орошения сельскохозяйственных культур / Т. Я. Гельман, К. И. Сорочан // Планирование и анализ водохозяйственных систем. – Новочеркасск: НПО «Югмелиорация», 1990. – С. 59-65.

25 Кисаров, О. П. Имитационная модель водохозяйственного комплекса / О. П. Кисаров, Т. Я. Гельман // Методы системного анализа в управлении водохозяйственными системами. – Новочеркасск: НИМИ, 1979. – С. 9-14.

26 Методика оптимизации оперативного планирования хозяйственного водопользования / В. И. Ольгаренко [и др.]. – Новочеркасск, 1992. – 45 с.

27 Магомедов, М. У. Рациональное водопользование на оросительных системах республики Дагестан: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Магомедов Муса Умаханович. – Новочеркасск, 2002. – 23 с.

28 Кисаров, О. П. Системное управление в эксплуатации оросительных систем / О. П. Кисаров, А. Е. Косолапов. – Новочеркасск: НИМИ, 1980. – 90 с.

29 Базовая автоматизированная система управления эксплуатации гидромелиоративных систем Краснодарского Крайводхоза / Р. Д. Брусиловский [и др.] // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 9. – С. 51-53.

30 Временное руководство по проектированию и эксплуатации автоматизированных оросительных систем / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: Югмелиорация, 1989. – С. 160-157.

31 Информационно-советующая система управления орошением / В. П. Остапчик [и др.]; под ред. В. П. Остапчика. – Киев: Урожай, 1989. – 248 с.

32 Модебаудзе, Н. Л. К вопросу оперативного водораспределения в орошении при дефиците водных ресурсов в регионе / Н. Л. Модебаудзе, Д. Д. Могавариане // Вопросы охраны мелиорируемых земель в горных условиях: сб. науч. тр. / Груз. НИИ гидротехники и мелиорации. – Тбилиси, 1984. – С. 96-99.

33 Кружилин, И. П. Орошение земель в России за тридцать лет (с мая 1966 г. по май 1996 г.) / И. П. Кружилин // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 3. – С. 2-4.

34 Колганов, А. В. Мелиорация и устойчивое развитие сельхозпроизводства в России / А. В. Колганов, Е. Б. Колбачев, В. Н. Щедрин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 1998. – 80 с.

35 Колганов, А. В. Орошение в России: природные ресурсы и возможные развития / А. В. Колганов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1997. – № 5. – С. 2-5.

36 Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России: монография / под общ. ред. В. Н. Щедрина. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. – 342 с.

37 Мирзаев, Н. Управление водой на ирригационных системах / Н. Мирзаев, И. Эргашев. – Ташкент: ИВМИ-НИЦ МКВК, 2009. – 119 с.

38 Интегрированное управление водными ресурсами: руководство / Мирзаев Н. Н. [и др.] // Управление водой на ирригационных системах. – Ташкент, 2011 – Т. II. – 124 с.

39 Бочарин, А. В. Методические указания по составлению планов водопользования для оросительных систем / А. В. Бочарин, И. Я. Жабина. – Ташкент, 1980. – 102 с.

40 Справочник проектировщика автоматизированных систем управления технологическими процессами / под ред. Г. Л. Смилянского. – М.: Машиностроение, 1983. – 528 с.

41 Автоматизированные системы управления технологическими процессами / Ю. С. Вальденберг [и др.]; под ред. Ю. С. Вальденберга. – М.: Статистика, 1974. – 180 с.

42 Воронов, А. А. Основы теории автоматического управления. Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем / А. А. Воронов. – М.: Энергия, 1980. – 312 с.

43 Кисаров, О. П. Организация проектирования АСУ на оросительных системах Ростовской области / О. П. Кисаров, В. К. Шереметов // Методы системного анализа в управлении водохозяйственными системами. – Новочеркасск: НИМИ, 1979. – С. 3-9.

44 Селюков, В. И. Система поддержки принятия решений при планировании водопользования в управлениях оросительных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Селюков Валерий Иванович. – Новочеркасск, 1994. – 23 с.

45 Селюков, В. И. Управление водопользованием на оросительных системах, современное состояние и пути совершенствования / В. И. Селюков, В. Н. Щедрин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ГУ ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2001. – С. 36-43.

46 Мелиорация земель / А. И. Голованов [и др.]; под общ. ред. А. И. Голованова. – М.: Колосс, 2011. – 824 с.

47 Колганов, А. В. Проблемы и пути совершенствования управления процессами эксплуатации оросительных систем / А. В. Колганов, В. Н. Щедрин, В. И. Коржов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. – Новочеркасск, 2000. – С. 10-18.

48 Разработать модели оптимального планирования внутриводхозяйственного водопользования для автоматизированной системы управления Ростовского Облводхоза: отчет о НИР (заключ.): 4.12 / ЮжНИИГиМ; рук.: Кисаров О. П. – Новочеркасск, 1980. – 134 с. – Исполн.: Головкин А. В. – № ГР 79020074. – Инв. № Б992054.

49 Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

50 Марчук, Г. И. Математическое моделирование и проблемы окружающей среды / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1992. – 319 с.

51 Системные принципы водоучета и управления водораспределением на оросительной сети / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 235 с.

52 Шумаков, Б. А. Изучение водопотребления сельскохозяйственных культур – основа для проектирования режима орошения / Б. А. Шумаков // Биологические основы земледелия. – М., 1957. – 21 с.

53 Режимы орошения сельскохозяйственных культур на юге Европейской части РСФСР: рекомендации / В. И. Ольгаренко [и др.]; под общ. ред. Б. Б. Шумакова. – Ростов-на-Дону, 1986. – 64 с.

54 Шумаков, Б. Б. Гидромелиоративные системы нового поколения / Б. Б. Шумаков. – М.: Рома, 1997. – 120 с.