

УДК: 631.674.5:504.064.36

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-2

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМ
МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ**
**CONCEPTUAL APPROACHES TO THE CREATION
OF MONITORING SYSTEMS AND IRRIGATION MANAGEMENT**

А.С. Овчинников¹, *член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор*

В.В. Бородычев², *академик РАН*

М.Н. Лытов², *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*

В.А. Шевченко², *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*

О.В. Бочарникова¹, *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*

A.S. Ovchinnikov¹, **V.V. Borodychev**², **M.N. Lytov**²,
V. A. Shevchenko², **O.V. Bocharnikova**¹

¹ *Волгоградский государственный аграрный университет*

² *ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова*

¹ *Volgograd State Agrarian University*

² *Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian research Institute of hydraulic engineering
and land reclamation named after A. N. Kostyakov»*

Дата поступления в редакцию 04.03.2019
Received 04.03.2019

Дата принятия к печати 15.06.2019
Submitted 15.06.2019

Материалы статьи включают результаты исследований, посвященных концептуальному проектированию комплексов мониторинга и управления орошением в составе оросительных систем нового поколения. Целью исследований является создание концептуального скелета разрабатываемых на новом технико-технологическом уровне систем мониторинга и управления орошением, с преимущественно автоматической реализацией функции управления, использованием интеллектуальных алгоритмов и технологий «больших данных». В качестве методологической основы исследований принята теория стадийного развития техники и технологий, в адаптированной для решения актуальных задач мелиорации форме. Укрупненная функциональная модель оросительных систем нового поколения определяет место и требования к создаваемым комплексам мониторинга и управления орошением. Предложена концептуально-конструктивная структура системы управления орошением, которая позволяет установить самые общие связи и характеристики основных структурных комплексов. Выполнен анализ и разработана функционально ориентированная схема управляющих воздействий, реализация которых потенциально возможна на основе мониторинга показателей состояния агроценоза и работы оросительной техники в режиме реального времени. Предложена иерархическая модель системной организации функции управления, предполагающей последовательный охват укрупненных функциональных модулей оросительной системы как концептуальной стратегии развития технико-технологического комплекса управления орошением. На низшем уровне осуществляется управление элементами технической системы, осуществляющими технологическую функцию непосредственно в границах орошаемых массивов. Высший иерархический уровень предполагает организацию комплексного управления всеми структурно-функциональными элементами оросительной системы по единому алгоритму. Разработаны варианты системной организации информационно-аналитического модуля комплекса мониторинга и управления орошением. Оценка вариантов по совокупности критериев позволяет отдать предпочтение многопользовательским серверным схемам как наиболее гибким в плане развития и практического освоения новейших вычислительных алгоритмов интеллектуального автоматизированного управления.

The materials of the article include the results of research on the conceptual design of irrigation monitoring and control complexes as part of the new generation of irrigation systems. The aim of the research is to create a conceptual skeleton of monitoring and control systems developed at the new technical and technological level, with mostly automatic implementation of the control function, using

intelligent algorithms and “big data” technologies. As a methodological basis of research, the theory of the staged development of technology and technologies has been adopted, in a form adapted for solving actual problems of land reclamation. The new functional model of irrigation systems of the new generation determines the place and requirements for the created irrigation monitoring and control complexes. A conceptual and constructive structure of the irrigation management system has been proposed, which makes it possible to establish the most common links and characteristics of the main structural complexes. The analysis was carried out and a functionally oriented scheme of control actions was developed, the implementation of which is potentially possible on the basis of monitoring indicators of the state of agrocenosis and the operation of irrigation equipment in real time. A hierarchical model of the system organization of the management function, suggesting a consistent coverage of the integrated functional modules of the irrigation system, as a conceptual strategy for the development of the technical-technological complex of irrigation management, is proposed. At the lowest level, the management of the elements of the technical system, carrying out the technological function directly within the boundaries of irrigated arrays, is carried out. The highest hierarchical level involves the organization of integrated management of all structural and functional elements of the irrigation system according to a single algorithm. Variants of the systemic organization of the information and analytical module of the irrigation monitoring and control complex have been developed. Evaluation of options on the basis of a set of criteria allows one to give preference to multi-user server schemes as the most flexible in terms of the development and practical development of the latest computational algorithms of intelligent automated control.

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

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

Цитирование. Овчинников А.С., Бородычев В.В., Лытов М.Н., Шевченко В.А., Бочарникова О.В. Концептуальные подходы к созданию систем мониторинга и управления орошением. *Известия НВ АУК*. 2019. 2(54). 26-39. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-2.

Citation. Ovchinnikov A.S., Borodychev V.V., Lytov M.N., Shevchenko V. A., Bocharnikova O.V. Conceptual approaches to the creation of monitoring systems and irrigation management. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 2(54). 26-39. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-2.

Введение. В современных отечественных и зарубежных научных публикациях все чаще упоминается термин «умное» (smart) орошение. Смысл, вкладываемый в это понятие, достаточно широк; наряду со строгими алгоритмическими решениями, он включает использование новейших достижений в области интеллектуальных технологий, решение нечетких задач в условиях неопределенности, саморазвивающиеся алгоритмы и т.д. [5, 10, 17, 18, 19, 20, 21, 23]. Но любая такая «умная» технология использует определенные достижения науки, закономерности, методы, аналитические взаимосвязи, которые позволяют обоснованно подойти к выработке того или иного управляющего решения.

Разработка и практическое освоение таких технологий в области гидротехнических мелиораций является мировым трендом, активно поддержанным ведущими фирмами-производителями оросительной техники. В качестве примера можно привести системы FieldNET и GrowSmart известного производителя дождевальной техники Lindsay, системы Universal для оросительной техники Bauer, системы BaseStation и AutoPilot Linear фирмы-производителя дождевальной техники Valley и другие [14, 16, 22]. Эти продукты сегодня позиционируются в качестве брендовых направлений развития предлагаемых технологий и занимают значительную долю в стоимости коммерческих предложений.

Сегодня практическое освоение smart-технологий в области управления орошением характеризуется широким использованием возможностей мониторинга технологического процесса в режиме реального времени, включением алгоритмов самодиагностики систем, работой в режиме информационно-советующих систем с организацией мобильного места оператора. Другой принципиальной особенностью современных технико-технологических решений в области управления орошением является их жесткая обусловленность брендовыми конструкциями оросительной техники [2, 12, 15]. Видится перспективность реализации современных систем управления орошением в качестве самостоятельного продукта, адаптирующегося к различными конструктивным решениям в области гидротехнических мелиораций. Концентрация ресурсов на создание подобного продукта позволит совершить качественный скачок в области системного управления гидротехническими мелиорациями, в том числе с расширенными возможностями автоматического управления на основе новейших средств аналитики и интеллектуальных технологий.

Цель исследований – определить концептуальные подходы к созданию систем мониторинга и управления орошением, с преимущественно автоматической реализацией функции управления, в том числе на основе интеллектуальных алгоритмов и динамично развивающихся технологий «больших данных».

Материалы и методы. Методологической основой исследований является теория стадийного развития техники и технологий в адаптированной для решения актуальных задач мелиорации форме. Сформулированные во второй половине XX века законы стадийного развития техники получили фундаментальное обоснование и в значительной мере определяют вектор инженерного творчества в настоящем. Согласно [7], современные технические системы реализуют четыре фундаментальные функции, которые сводятся:

- к реализации технологической функции. Эта функция предполагает реализацию фундаментальной функции технического объекта, реализуемой для достижения той цели, ради которой этот объект создавался. Эта функция характеризует начальную стадию эволюции технической системы, а потребность реализации этой функции является главной причиной ее создания;

- к реализации энергетической функции. Данная функция предполагает обеспечение технологической функции энергетическими ресурсами не за счет человека, а средствами самой технической системы или связанных технических систем;

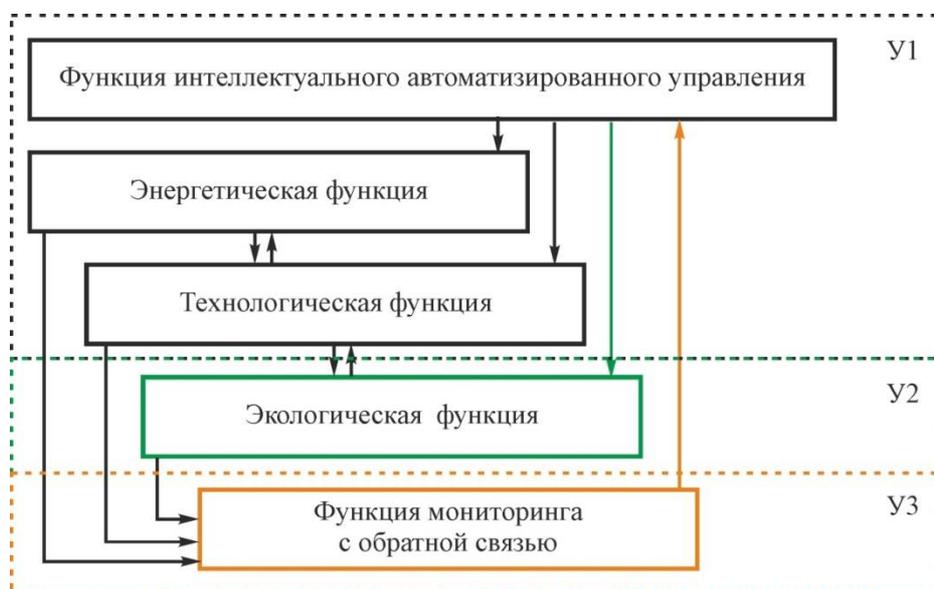
- к реализации функции управления. В данном случае подразумевается возможности самоуправления, когда функция реализуется самой технической системой в автоматическом режиме;

- к реализации функции планирования.

Последняя функция видится расширением третьей функции – функции управления, в плане достижения нового уровня ее реализации с элементами технологии интеллектуального или даже «осознанного» управления. Действительно, рассматривая функциональную структуру технических систем вне теории стадийного развития, мы видим универсальность первых трех функций, которые присущи технической системе на любой стадии развития. Функции в этом случае рассматриваются чуть шире, например, энергетическая функция определяется вектором потребления (выработки) энергии. Функцию управления в этом ключе можно рассматривать как функцию организации и регулирования параметров технологического процесса, без которых этот процесс просто не реализуется, а стало быть, техническая система не функционирует. В этом плане технологическую, энергетическую функции и функцию управления следует рассматривать как фундаментальные функции, без которых технической системы просто не существует. А стадийность развития определяется уровнем реализации этих функций.

Согласно [13], обобщенная функциональная структура оросительных систем нового поколения включает технологическую, энергетическую, экологическую функции и функцию интеллектуального автоматизированного управления. На рисунке 1 предложен модифицированный вариант укрупненной функциональной модели оросительных систем нового поколения.

В соответствии с изложенными выше положениями технологическая и энергетическая функции, а также функция управления здесь представлены на фундаментальном уровне, тогда как экологическая функция отнесена к специальным. Специальные функции, в отличие от фундаментальных, не обладают свойством универсальности и не присущи всем без исключения техническим системам, однако они важны для данной конкретной технической системы. Приоритет экологической функции для оросительных технических систем определяется самой концепцией гидротехнических мелиораций, подразумевающих коренное преобразование среды. В значительной мере области технологической и экологической функций пересекаются, однако есть и объективные факторы, не принадлежащие им обеим одновременно.



Условные обозначения:

У1 - первый уровень, - фундаментальные функции

У2 - второй уровень, - специальные функции

У3 - третий уровень, - связанные функции

Рисунок 1 – Укрупненная функциональная модель оросительных систем нового поколения

Функция управления по определению оказывает регулирующее воздействие на все рассматриваемые выше функции оросительных систем, включая технологическую, энергетическую и экологическую. Это фундаментальная функция, отвечающая за организацию технологического процесса и управление им, управление энергоресурсами, реализующая совокупность управляющих действий для оптимизации взаимодействия системы с окружающей средой. При этом выработка управляющих решений осуществляется посредством системы обратной связи, реализующей мониторинг состояния технической системы и связанных с ней внешних объектов, с возможностью получения и использования данных различных иерархических уровней. Функция мониторинга на ри-

сунке 1 представлена как связанная функция, необходимая для реализации интеллектуального автоматизированного управления. Отметим, что не каждое автоматическое управление подразумевает функцию мониторинга, однако именно оросительные системы нового поколения должны обеспечить выработку оптимизированных решений на основе многофакторной аналитики с использованием мониторинговых данных в режиме реального времени.

Исследования проводятся на концептуальном уровне, включают разработку концептуальной структуры функционально-технического комплекса мониторинга и управления орошением в составе оросительных систем нового поколения, системную оценку потенциальных управляющих воздействий, вырабатываемых на основе анализа мониторинговых данных в режиме реального времени, исследование вариантов организации информационно-вычислительного комплекса как основы технологии интеллектуального автоматизированного управления.

Материалы исследований включают современные практики эксплуатации гидро-мелиоративных систем применительно к техническим реализациям различных поколений, перспективные, в том числе концептуальные решения для реализации технологии мониторинга совокупности процессов и состояний компонентов техно-природной среды, включая природные и инженерные объекты мелиоративной системы, варианты технико-технологической реализации функции управления на основе анализа мониторинговых данных в режиме реального времени [3, 9, 11, 13], методики системного анализа и синтеза технических решений [1, 4, 6, 7].

Результаты и обсуждение. Современное понятие «система мелиоративная» определяется как «совокупность... мелиорируемых природных и техногенных объектов и мелиорирующих элементов» [8]. Это сложная геотехноприродная система, где «коренное улучшение» (мелиорация) обеспечивается за счет дополнительно искусственно организованных каналов поставок мелиорирующих элементов, которые вовлекаются и расширяют естественные природные круговороты. Понятие «орошение» имеет множество определений, характеризующих его как «процесс увлажнения... природной среды», в частности «осуществляемое подачей воды, водных растворов и аэрозолей». Средством орошения, как правило, выступает техническая система. Исходя из этого управление орошением как технологический процесс подразумевает, в первую очередь, управление технической системой, хотя критериями эффективности самого технологического процесса могут выступать и показатели состояния мелиорируемых компонентов природной среды. Основным концептуальным положением, являющимся следствием данного вывода, является то, что управление реализуется в отношении технической системы, тогда как мониторинг охватывает более широкие сферы, включая контроль состояния и природных мелиорируемых объектов, и культурной составляющей агрофитоценозов. Концептуально-конструктивная структура системы управления орошением включает (рисунок 2):

– объекты управления. Как мы уже отмечали выше, это техническая система или элемент технической системы, непосредственно используемый для реализации технологического процесса. Непосредственным элементом такой системы является оросительная техника, однако к объектам управления и все те элементы технической системы, которые оказывают непосредственное влияние на параметры полива или же обеспечивают реализацию технологического процесса в целом;

– предмет управления. Предметом управления является технологический процесс орошения. Технологический процесс орошения как предмет управления рассматривается в самом широком ключе, учитывая такие частности, как включение или от-

ключение, периодичность поливов, которые, в свою очередь, определяются особенностями формирования водного режима почвы, гидротермического режима агрофитотенноза и т.д.;

– средства управления. К средствам управления относятся элементы технической системы, непосредственно реализующие управляющие воздействия. Эти элементы закладываются в конструкции технической системы как регуляторы технологического процесса;

– информационно-аналитический модуль управления орошением. Это специализированный модуль, отвечающий за анализ информационных потоков и выработку оптимальных управляющих действий. Также он может непосредственно транслировать управляющие алгоритмы в автоматическом режиме либо предоставлять исчерпывающие сведения оператору в качестве системы поддержки принятия решений. Информационно-аналитический модуль рассматривается как совокупность методологических, алгоритмических, аналитических, программных решений, реализуемых на базе быстродействующих электронных вычислительных комплексов;

– вычислительный модуль. Представляет собой материальную основу для реализации алгоритмов информационно-аналитического модуля, включает совокупность электронных компонентов, процессоров, обеспечивающих реализацию вычислительного процесса;

– подсистема обратной связи. Представлена совокупностью технико-технологических решений, реализующих в составе технической системы возможность измерения, преобразования, организации информационных комплексов и трансляции данных, характеризующих состояние объекта управления и технологически связанных с ним объектов и являющихся исходным материалом для анализа ситуации и выработки управляющих решений.

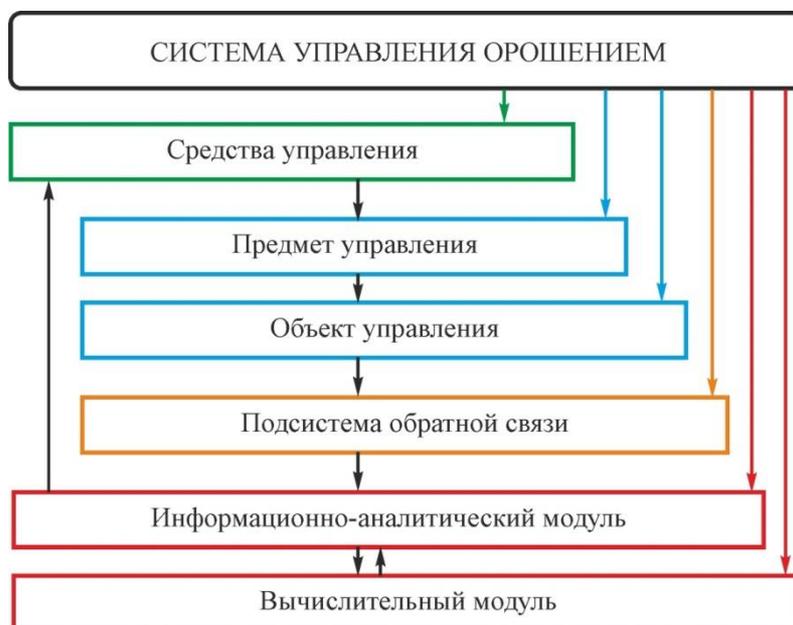


Рисунок 2 – Концептуально-конструктивная структура системы управления орошением

В описании предложенной модели системы управления орошением неоднократно упоминались понятия «техническая система» и «элементы технической системы». Следует четко представлять себе масштабы и структуру этой технической системы, а

также «географию» управляющих воздействий, вырабатываемых на основе мониторинговых данных. На рисунке 3 представлена функционально ориентированная схема управляющих воздействий, реализация которых потенциально возможна на основе мониторинга показателей состояния агроценоза и работы оросительной техники в режиме реального времени. В качестве основы для анализа структуры управляющей функции принята функционально-технологическая модель современной оросительной системы. Исследования показали, что управляющие решения, вырабатываемые на основе мониторинга показателей состояния агроценоза и работы оросительной техники в режиме реального времени, касаются всех, без исключения, конструктивно-функциональных модулей оросительной системы.

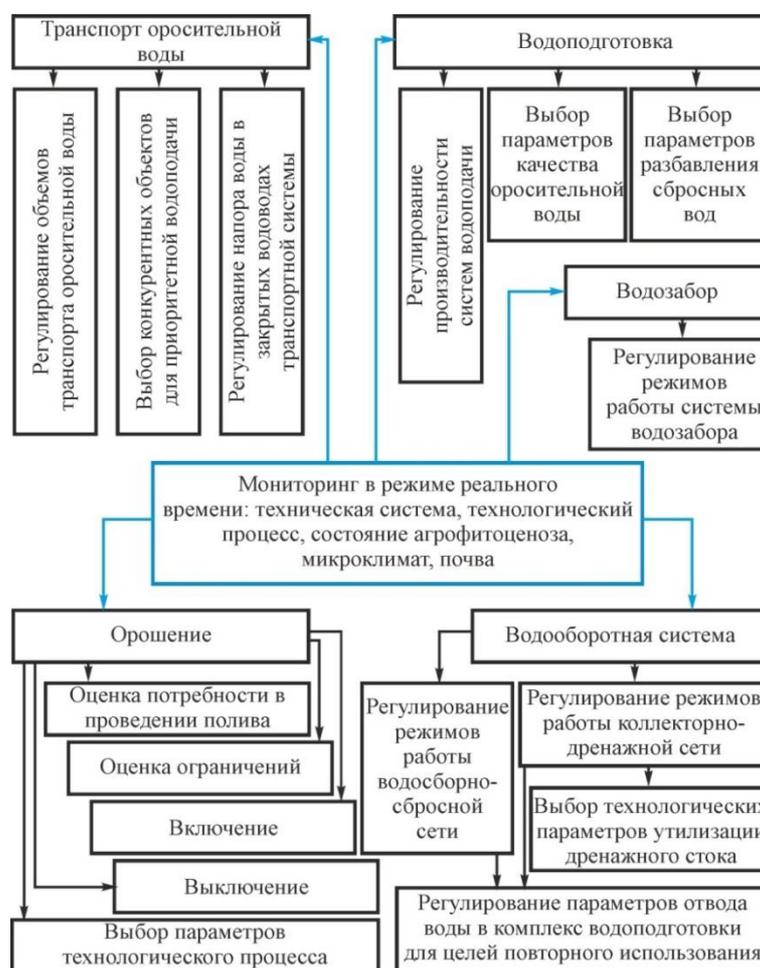
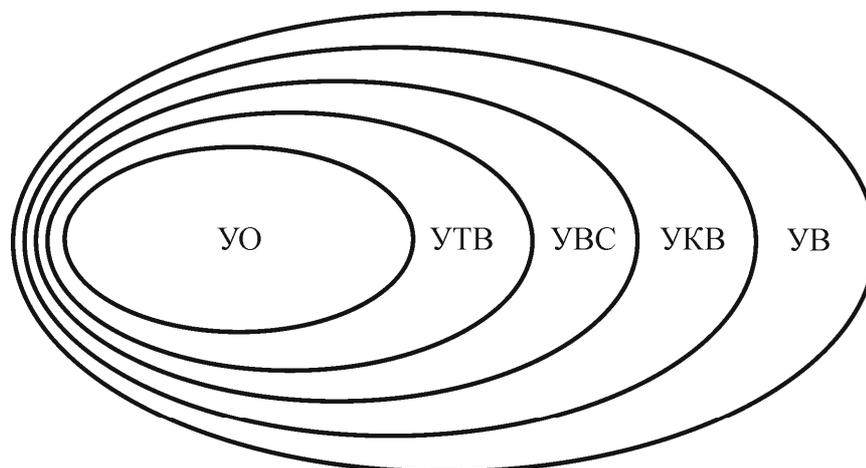


Рисунок 3 – Структурно-функциональная схема управляющих воздействий на основе мониторинга состояния агрофитоценоза и работы оросительной техники в режиме реального времени

Системная организация управляющей функции целесообразна на основе иерархической модели, каждый из новых вовлекаемых уровней которой повышает обоснованность, а в ряде случаев обеспечивает реализуемость управляющих действий на низших уровнях (рисунок 4).

Первый иерархический уровень системы предполагает реализацию управляющей функции в отношении собственно технологического процесса орошения. При этом на основе мониторинговых данных, поставляемых системой в режиме реального вре-

мени, проводится оценка потребности в проведении полива в кратко- и среднесрочной перспективе, качественно и количественно оцениваются ограничения на полив, вырабатываются и реализуются управляющие действия включения или выключения оросительной техники, осуществляется выбор параметров и режимов выполнения технологического процесса.



Условные обозначения:

УО - управление орошением; УТВ - + управление транспортной функцией;

УВС - + управление водооборотной системой, УКВ - +управление комплексом водоподготовки, УВ - + управление водозабором

Рисунок 4 – Иерархическая модель системной организации функции мониторинга и управления орошением

На втором иерархическом уровне в систему вовлекается функция управления транспортом воды. Реализация данной функции предполагает решение оптимизационных задач по водораспределению и выбору конкурентных объектов для водоподдачи, оптимизацию и регулирование напоров воды в трубопроводах закрытой водоподводящей сети, регулирования объема транспорта воды (в технологических пределах технической системы). Решение указанных задач повышает эффективность использования воды на орошение, позволяет согласовать выбор таких управляющих действий, как включение полива или изменение параметров технологического процесса с техническими возможностями системы на более высоком уровне.

Следующий иерархический уровень предполагает включение в общую систему управления водооборотной функции. На этом уровне при использовании данных мониторинга по комплексу показателей состояния орошаемых земель, агрофитоценозов, режимов работы оросительной техники осуществляется выработка оптимальных управляющих решений в плане регулирования режимов работы водосборно-сбросной и коллекторно-дренажной сети, проводится оценка возможности повторного использования сбросных воды с выработкой управляющего решения о подаче этих объемов в комплекс водоподготовки, осуществляется выбор технологических параметров утилизации дренажного стока. Реализация управляющей функции в этом сегменте оросительной системы позволяет оптимизировать мелиоративные режимы, предотвращает развитие негативных экологических процессов, повышает эффективность использования водных ресурсов.

Следующие два уровня иерархической системы управления предполагают последовательный охват функций водоподготовки и водозабора. Функция управления на уровне водоподготовки предполагает регулирование производительности систем во-

доподготовки, обоснование и выбор параметров качества оросительной воды, в том числе за счет подключения ступеней комплекса водоподготовки с реализацией различных технологий регулирования качества воды, обоснование и выбор параметров разбавления сбросных вод при повторном их использовании. На уровне водозабора данные мониторинга орошения позволяют обоснованно подойти к выбору режимов работы системы подачи воды.

Таким образом, современные технологии управления орошением на основе комплексно организованного мониторинга, реализуемого в режиме реального времени, предполагают выработку и осуществление целой системы взаимно связанных управляющих решений, касающихся территориально разнесенных (зачастую в значительной мере) функционально различающихся модулей оросительной системы. Такой подход обеспечивается современным уровнем развития техники с использованием высокопроизводительных вычислительных систем и сети «интернет». Современные информационные технологии предлагают несколько способов организации системы управления, которые могут быть использованы для целей управления орошением (рисунок 5). Все функционально-организационные схемы можно разделить на серверные и без серверные, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Организационная схема управления орошением без сервера предполагает развертывание информационно-аналитического модуля исключительно на мощностях автоматизированного рабочего места оператора управления. При этом автоматизированное рабочее место должно быть реализовано либо в формате стационарного пункта управления, либо следует предполагать дефицит вычислительного ресурса мобильной вычислительной аппаратуры относительно решаемых задач управления. Первое резко снижает конкурентоспособность разрабатываемой системы, второе является объективным, хотя и временным, фактором в свете бурно развивающихся сегодня мобильных технологий.

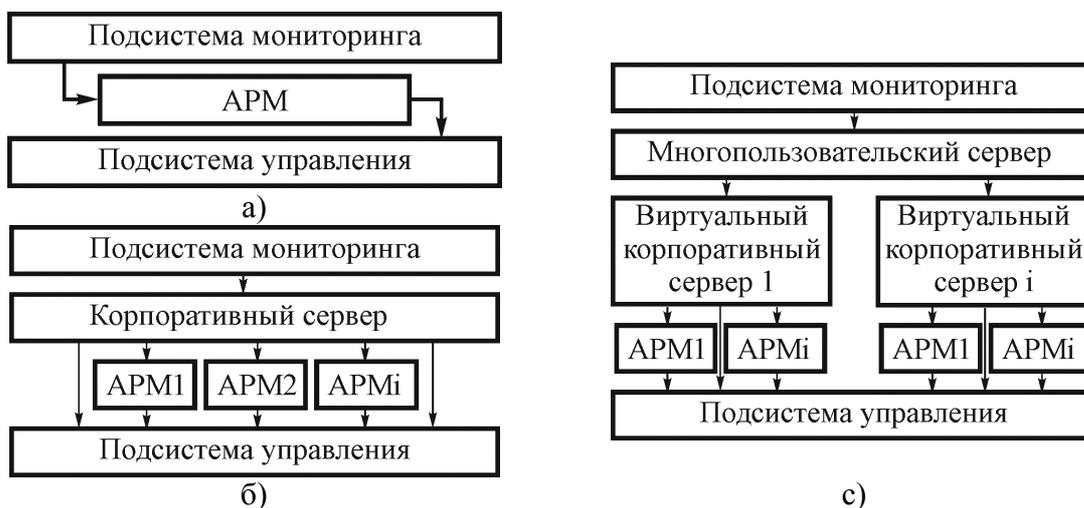


Рисунок 5 – Функционально-организационные схемы мониторинга и управления орошением: а) схема управления орошением без сервера, б) схема управления орошением на основе корпоративного сервера, в) схема управления орошением на основе многопользовательского сервера

Следствием дефицита вычислительной мощности является вынужденное упрощение алгоритмов обработки данных, сужение поля используемой мониторинговой информации и, в итоге, снижение уровня доверия к вырабатываемым управляющим решениям.

Еще одним путем решения проблемы дефицита вычислительной мощности является сокращение каналов управляющих воздействий, в том числе за счет снижения числа обслуживаемых объектов. Другими словами, такого рода системы управления предпочтительно использовать для обслуживания небольших территорий с относительно несложными техническими реализациями гидромелиоративных систем. Также ограничивается возможность системного управления работой всех конструктивно-функциональных элементов гидромелиоративных систем. Другими недостатками схемы организации системы управления орошением без сервера является ограничение возможности модульного развития системы мониторинга и ограничение возможности использования интеллектуальных технологий. Безусловными преимуществами рассматриваемого подхода являются скорость реагирования и обмена информацией и достаточно простая и надежная архитектура обмена данными. Эти показатели имеют ключевое значение для практической реализации систем, работающих в режиме реального времени.

Серверные системы управления орошением подразумевают возможность реализации продукта в рамках корпорации (на основе корпоративного сервера) и на основе многопользовательского сервера. Системы управления на основе сервера, пусть даже и в корпоративном сегменте, как правило, не имеют дефицита вычислительных ресурсов. Это позволяет использовать многофакторные алгоритмы анализа данных и реализовать возможность системного управления работой конструктивно-функциональных элементов оросительной системы, находящихся в ведении корпорации. Важно учитывать, что функциональные модули оросительной системы, расположенные вне сферы обслуживания корпорации, остаются неохваченными корпоративной системой управления, а следовательно, о возможности полностью машинного, автоматического управления речь не идет. Корпоративная система может быть организована как с использованием, так и без использования средств удаленной связи, имеет относительно быструю и надежную технологию обмена данными. Еще одним преимуществом корпоративной системы является возможность организации нескольких автоматизированных рабочих мест с персонифицированными сферами обслуживания. К существенным недостаткам такой схемы организации системы мониторинга и управления орошением следует отнести ограничения по возможности развития применяемых вычислительных алгоритмов, включая интеллектуальные технологии анализа данных.

Многопользовательская серверная система организуется по типу брендового продукта и имеет неограниченные возможности создания автоматизированных рабочих мест, их объединения в корпоративные сети и т.д. К недостаткам многопользовательского подхода следует отнести сложную многоуровневую архитектуру обмена и анализа данных, снижающую быстродействие системы, необходимость подключения к сети «интернет», что требует размещения функциональных модулей в зоне покрытия сети или организации дополнительных каналов передачи данных, работающих в последовательном режиме передачи данных. Еще одним, неявным минусом систем управления орошением на базе многопользовательского сервера может стать реализация принципа морального старения оборудования как маркетингового хода поставщика услуг. Неоспоримыми достоинствами системы управления орошением на основе многопользовательского сервера является возможность системного управления работой всех без исключения конструктивно-функциональных модулей оросительной системы, практически нет ограничений модульного развития системы мониторинга и управления орошением, реализуются гибкие механизмы развития алгоритмов анализа данных, неограниченные ресурсы развития интеллектуальных технологий, в том числе за счет использования «больших данных».

Заключение. Концептуальная структура современных систем управления орошением включает объекты и предмет управления, средства управления, информационно-аналитический модуль, вычислительный модуль и подсистему обратной связи, реализуемой в формате мониторинга совокупности разноплановых параметров и показателей технологического процесса в режиме реального времени. Система управления в значительной мере поглощает функциональное поле системы мониторинга, которая, в свою очередь, определяет возможности реализации управляющих функций в автоматическом режиме, в том числе с использованием интеллектуальных алгоритмов. «География» управляющих действий, вырабатываемых на основе мониторинга показателей состояния агроценоза и работы оросительной техники в режиме реального времени, затрагивает все, без исключения, конструктивно-функциональные модули оросительной системы. При этом системная организация управляющей функции целесообразна на основе иерархической модели, каждый из новых вовлекаемых уровней которой повышает обоснованность, а в ряде случаев обеспечивает реализуемость управляющих действий на низших уровнях. Такой подход, реализующий функции мониторинга и управления территориально удаленных объектов, обеспечивается современным уровнем развития техники с использованием высокопроизводительных вычислительных систем и сети «интернет». Рассмотренные варианты системной реализации информационно-аналитического модуля позволяют отдать предпочтение многопользовательским серверным схемам как наиболее гибким в плане развития и практического освоения новейших вычислительных алгоритмов автоматизированного управления.

Библиографический список

1. Абраменко, Г.В. Практические рекомендации по применению системного анализа к проектированию сложных систем [Текст]/ Г.В. Абраменко, К.В. Власов, М.А. Краснощеков. – М.: Оргсервис-2000, 2015. – 300 с.
2. Бородычев, В.В. Мониторинг и управление орошением в режиме реального времени [Текст]/ В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, Е.Э. Головинов. – М.: Редакция журнала «Механизация и электрификация сельского хозяйства», 2017. – 154 с.
3. Жуков, Б.М. Исследование систем управления [Текст]/ Б.М. Жуков, Е.М. Ткачева. – М.: Дашков и К°, 2014. – 208 с.
4. Мелиорация земель [Текст]/ А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров, В.Н. Краснощеков и др. – М.: Колос, 2011. – 825 с.
5. Михайленко, И.М. Оптимальное управление орошением посевов сельскохозяйственных культур [Текст]/ И.М. Михайленко, В.Н. Тимошин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 34-38.
6. Основы технического творчества и научных исследований [Текст]/ Ю.В. Пахомова, Н.В. Орлова, А.Ю. Орлов, А.Н. Пахомов. – Тамбов: ТГТУ, 2015. – 80 с.
7. Оросительные системы России: от поколения к поколению [Текст]: монография. В. 2 ч. / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, С.М. Васильев, А.А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.
8. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества [Текст]/ А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
9. Словарь-справочник гидротехника-мелиоратора [Текст] : терминологический словарь / А.В. Колганов, В.Н. Шкура, В.Н. Щедрин. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – Ч. 1. – 422 с.
10. Талызов, А.А. Моделирование регулирования стока водопроводящей сети гидромелиоративных систем на основе компьютерных технологий [Текст]/ А.А. Талызов, А.О. Щербачков // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2 (70). – С. 208-212.
11. Тащилина, А.В. Идентификация модели процесса планирования режимов капельного полива для управления автоматизированными системами капельного орошения [Текст]/ А.В. Тащилина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 1 (17). – С. 41-60.

12. Шевченко, В.А. Совершенствование мониторинга мелиорированных сельскохозяйственных земель [Текст]/ В.А. Шевченко, С.Д. Исаева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2 (50). – С. 72-78.
13. Шепелев, А.Е. Требования к приборному оборудованию многоопорных широкозахватных дождевальными машин [Текст]/ А.Е. Шепелев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2 (66). – С. 190-194.
14. Bauer [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://www.bauer-at.com/ru/products/irrigation> (Дата обращения 22.02.2019).
15. Kozyrskij, V. Automatic watering system with regulation of water flow and sprinkler speed of movement [Tekst]/ V. Kozyrskij, V. Mikhalskij, O. Skrygin // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2011. – Vol. 11. – № 3. – P. 103-113.
16. Lindsay Corporation [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://www.lindsayrussia.com/> (Дата обращения 25.02.2019).
17. Maina, M.M. Web geographic information system decision support system for irrigation water management: a review [Tekst]/ M.M. Maina, M.S.M. Amin, M.A. Yazid // Acta Agriculturae Scandinavica. Section B: Soil and Plant Science. – 2014. – Vol. 64. – № 4. – P. 283-293.
18. Mohammad, F.S. Adoption of an intelligent irrigation scheduling technique and its effect on water use efficiency for tomato crops in arid regions [Tekst]/ F.S. Mohammad, H.M. Al-Ghobari, M.S.A. ElMarazky // Australian Journal of Crop Science. – 2013. - Vol. 7. – № 3. - P. 305-313.
19. Nana, E. A model for crop yield and water footprint assessment: study of maize in the po Valley [Tekst]/ E. Nana, C. Corbari, D. Bocchiola // Agricultural Systems. - 2014. - Vol. 127. - P. 139-149.
20. Optimum control model of soil water regime under irrigation [Tekst]/ A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, M.N. Lytov, O.V. Bocharnicova, E.S. Vorontsova // Bulgarian journal of agricultural Science. – №24 (5). – P. 909-913.
- 21 Towards a smart automated surface irrigation management in rice-growing areas in Italy [Tekst] / D. Masseroni, C. Gandolfi, A. Facchi, J. Uddin, R. Tyrrell, I. Mareels // Journal of Agricultural Engineering. – 2017. - Vol. 48. - № 1. - P. 42-48.
22. Valley Irrigation [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://www2.valleyirrigation.com/valley-irrigation/ru> (Дата обращения 20.02.2019).
23. Wang Prof., S. Modeling soil water movement and irrigation management strategies in jujube (*Ziziphus jujuba*) orchard using HYDRUS-1D [Tekst] / S. Wang Prof., H. Ma Prof. // Indian Journal of Agricultural Sciences. - 2014. - Vol. 84. - № 3. – P. 337-342.

References

1. Abramenko, G. V. Prakticheskie rekomendacii po primeneniyu sistemnogo analiza k proektirovaniyu slozhnyh sistem [Tekst]/ G. V. Abramenko, K. V. Vlasov, M. A. Krasnoschekov. - M.: Orgservis-2000, 2015. - 300 p.
2. Borodychev, V. V. Monitoring i upravlenie orosheniem v rezhime real'nogo vremeni [Tekst]/ V. V. Borodychev, M. N. Lytov, E. Je. Golovinov. - M.: Redakciya zhurnala "Mehanzizaciya i jelektrifikaciya sel'skogo hozyajstva", 2017. - 154 p.
3. Zhukov, B. M. Issledovanie sistem upravleniya [Tekst]/ B. M. Zhukov, E. M. Tkacheva. - M.: Dashkov i K^o, 2014. - 208 p.
4. Melioraciya zemel' [Tekst]/ A. I. Golovanov, I. P. Ajdarov, M. S. Grigorov, V. N. Krasnoschekov i dr. - M.: Kolos, 2011. - 825 p.
5. Mihajlenko, I. M. Optimal'noe upravlenie orosheniem posevov sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Tekst]/ I. M. Mihajlenko, V. N. Timoshin // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. - 2016. - № 6. - P. 34-38.
6. Osnovy tehničeskogo tvorčestva i nauchnyh issledovanij [Tekst]/ Yu. V. Pahomova, N. V. Orlova, A. Yu. Orlov, A. N. Pahomov. - Tambov: TGTU, 2015. - 80 p.
7. Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu [Tekst]: monografiya. V. 2 ch. / V. N. Schedrin, A. V. Kolganov, S. M. Vasil'ev, A. A. Churaev. - Novocherkassk: Gelikon, 2013. - 590 p.
8. Polovinkin, A. I. Osnovy inženernogo tvorčestva [Tekst]/ A. I. Polovinkin. - M.: Mashinostroenie, 1988. - 368 p.

9. Slovar'-spravochnik gidrotehnika-melioratora [Tekst] : terminologicheskij slovar' / A. V. Kolganov, V. N. Shkura, V. N. Schedrin. - Novocherkassk: RosNIIPM, 2014. - Ch. 1. - 422 p.
10. Talyzov, A. A. Modelirovanie regulirovaniya stoka vodoprovodyaschej seti gidromeliorativnyh sistem na osnove komp'yuternyh tehnologij [Tekst]/ A. A. Talyzov, A. O. Scherbakov // Puti povysheniya jffektivnosti oroshaemogo zemledeliya. - 2018. - № 2 (70). - P. 208-212.
11. Taschilina, A. V. Identifikaciya modeli processa planirovaniya rezhimov kapel'nogo poliva dlya upravleniya avtomatizirovannymi sistemami kapel'nogo orosheniya [Tekst]/ A. V. Taschilina // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. - 2015. - № 1 (17). - P. 41-60.
12. Shevchenko, V. A. Sovershenstvovanie monitoringa meliorirovannyh sel'skohozyajstvennyh zemel' [Tekst]/ V. A. Shevchenko, S. D. Isaeva // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. - 2018. - № 2 (50). - P. 72-78.
13. Shepelev, A. E. Trebovaniya k pribornomu oborudovaniyu mnogoopornyh shirokozahvatnyh dozhdaval'nyh mashin [Tekst]/ A. E. Shepelev // Puti povysheniya jffektivnosti oroshaemogo zemledeliya. - 2017. - № 2 (66). - P. 190-194.
14. Bauer [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://www.bauer-at.com/ru/products/irrigation> (Дата обращения 22.02.2019).
15. Kozyrskij, V. Automatic watering system with regulation of water flow and sprinkler speed of movement [Tekst]/ V. Kozyrskij, V. Mikhalskij, O. Skrygin // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2011. – Vol. 11. – № 3. – P. 103-113.
16. Lindsay Corporation [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://www.lindsayrussia.com/> (Дата обращения 25.02.2019).
17. Maina, M.M. Web geographic information system decision support system for irrigation water management: a review [Tekst]/ M.M. Maina, M.S.M. Amin, M.A. Yazid // Acta Agriculturae Scandinavica. Section B: Soil and Plant Science. – 2014. – Vol. 64. – № 4. – P. 283-293.
18. Mohammad, F.S. Adoption of an intelligent irrigation scheduling technique and its effect on water use efficiency for tomato crops in arid regions [Tekst]/ F.S. Mohammad, H.M. Al-Ghobari, M.S.A. ElMarazky // Australian Journal of Crop Science. – 2013. - Vol. 7. – № 3. - P. 305-313.
19. Nana, E. A model for crop yield and water footprint assessment: study of maize in the po Valley [Tekst]/ E. Nana, C. Corbari, D. Bocchiola // Agricultural Systems. - 2014. - Vol. 127. - P. 139-149.
20. Optimum control model of soil water regime under irrigation [Tekst]/ A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, M.N. Lytov, O.V. Bocharnicova, E.S. Vorontsova // Bulgarian journal of agricultural Science. – №24 (5). – P. 909-913.
- 21 Towards a smart automated surface irrigation management in rice-growing areas in Italy [Tekst] / D. Masseroni, C. Gandolfi, A. Facchi, J. Uddin, R. Tyrrell, I. Mareels // Journal of Agricultural Engineering. – 2017. - Vol. 48. - № 1. - P. 42-48.
22. Valley Irrigation [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://www2.valleyirrigation.com/valley-irrigation/ru> (Дата обращения 20.02.2019).
23. Wang Prof., S. Modeling soil water movement and irrigation management strategies in jujube (ziziphus jujuba) orchard using HYDRUS-1D [Tekst] / S. Wang Prof., H. Ma Prof. // Indian Journal of Agricultural Sciences. - 2014. - Vol. 84. - № 3. – P. 337-342.

Информация об авторах

Овчинников Алексей Семенович, член-корр. РАН, ректор Волгоградского государственного аграрного университета, (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский пр. , 26), доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7566-108X>. **E-mail:** aleksov50@mail.ru

Бородычев Виктор Владимирович, академик РАН, директор Волгоградского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>. **E-mail:** vkovniigim@yandex.ru

Лытов Михаил Николаевич, ведущий научный сотрудник Волгоградского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), кандидат сельскохозяйственных наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>. E-mail: Lytov@yandex.ru

Шевченко Виктор Александрович, директор Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (127550, Москва, ул. Большая Академическая, 44 корпус 2), доктор с-х наук, профессор. E-mail: mail@vniigim.ru

Бочарникова Олеся Владимировна, доцент Волгоградского государственного аграрного университета, (РФ, 400002, г. Волгоград, Университетский пр. , 26), кандидат сельскохозяйственных наук. E-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.67: 633.853.52

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-3

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ СОИ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

PROBLEMS OF OPTIMAL WATER SUPPLY OF SOY IN TERMS OF IRRIGATION

В.В. Бородычев, академик РАН

М.Н. Лытов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

V.V. Borodychev, M.N. Lytov

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова*

Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian research Institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov»

Дата поступления в редакцию 03.04.2019

Дата принятия к печати 29.05.2019

Received 03.04.2019

Submitted 29.05.2019

Исследования посвящены оценке современных проблем оптимального водообеспечения сои, связанных с формированием неоднородностей увлажнения по площади, глубине и в динамике при орошении способом дождевания. Цель исследований сводилась к изучению особенностей распределения влаги в почве при орошении сои и оценки рисков формирования локальных дефицитов почвенной влаги с учетом динамической составляющей формирования водного режима. Методологической основой исследований являются результаты предметно ориентированных полевых экспериментов. Экспериментальные исследования включали изучение пространственного варьирования влажности почвы относительно микрорельефа опытного участка, послойного распределения почвенной влаги после полива и в динамике с учетом ненормированного поступления влаги атмосферных осадков. Полученные данные подтвердили существенное влияние микрорельефа на равномерность распределения влаги по площади орошаемого участка, которое качественно проявляется в недоувлажении расчетного слоя почвы в верхней трети склона микрорельефа и формировании глубинного сброса в локальных понижениях. На хорошо спланированных, выровненных участках такого перераспределения не наблюдается. Интенсивное водопотребление сои и отбор влаги корнями в процессе вертикального перераспределения влаги после полива де-факто сокращает глубину увлажняемого слоя почвы относительно расчетных значений. Отсутствие обоснованной стратегии орошения сои при поступлении атмосферных осадков в объеме, существенно меньшем реального дефицита влаги в расчетном слое почвы, связано с риском значительного дифференцирования влажности почвы по глубине этого слоя. Безусловно, указанные особенности формирования водного режима почвы оказывают существенное влияние на условия водообеспечения сои при орошении способом дождевания.