

9. Zur Anwendbarkeit optimaler Versuchspläne für die Schätzung einer polynominalen Regressionsfunktion im Feldversuchswesen. Harpke, Karl. Arch. Acker // Pflanzenbau Bodenkd. – Berlin 34, 1990, 3. – P. 205-212.

10. Zur Bodenstruktur von Hochoder und Schlussfolgerungen zu ihrer Auslastbarkeit durch Wind. Haupt, Rainer Arch. Acker // Pflanzenbau Bodenkd. – Berlin 34, 1990, 6. – P. 393-402.

E-mail: can_volgau@mail.ru

УДК: 631.672:631.347

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-43

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

FUNCTIONAL-TECHNOLOGICAL MODEL OF IRRIGATION SYSTEM

М.Н. Лытов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

В.В. Бородычев¹, академик РАН

О.В. Бочарникова², кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

M.N. Lytov¹, **V.V. Borodychev**¹, **O.V. Bocharnikova**²

¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова

²Волгоградский государственный аграрный университет

¹*Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after. A. N. Kostyakova»*

²*Volgograd State Agrarian University*

Материалы статьи посвящены разработке функциональной технологической модели оросительной гидромелиоративной системы с формированием потоковой компонентно-конструктивной структуры как материальной основы реализации всего комплекса функций. Неразрывная взаимосвязь четырех основных функций: технологической, энергетической, экологической и функции управления оросительными гидромелиоративными системами – постулируется как основа проводимых исследований. Объектом исследований являются гидромелиоративные системы нового поколения, которые рассматриваются как сложный природно-технический комплекс, обеспечивающий регулирование круговорота вещества, энергии и информации в агроландшафтах. На основе общих системных взаимосвязей рассредоточенных конструктивных компонентов оросительных гидромелиоративных систем выделено пять основных структурных элементов технологической функции, реализуемых в рамках единой потоковой функциональной модели. Структурирован конструктивно-компонентный состав функции водозабора, функции водоподготовки, транспорта оросительной воды, функция орошения и водооборотная функция. Содержание каждой из перечисленных функций раскрывается с указанием конструктивных компонентов технической системы. Предложены подходы к выбору функциональных компонентов системы, определены критерии для каждого элемента потоковой структуры технологической функции. Предложенная модель с раскрытой совокупностью конструктивно-компонентных элементов системы может быть использована в качестве структурированной основы сращивания технологической, энергетической, экологической функций оросительной гидромелиоративной системы, а также функции интеллектуального автоматизированного управления.

The materials of the article are devoted to the development of a functional technological model of irrigation system with the formation of a stream component-structural structure as a material basis for the implementation of the whole complex of functions. The indissoluble interrelation of four main functions: technological, power, ecological and management functions of irrigation systems is postulated as a basis of the conducted researches. The object of research is a new generation of irrigation and drainage systems, which are considered as a complex natural and technical complex that provides regulation of the cycle of matter, energy and information in agricultural landscapes. On the basis of the General system interconnections of dispersed structural components of irrigation systems,

five main structural elements of the technological function implemented within the framework of a single stream functional model are identified. Structurally-component composition of water intake function, water treatment function, irrigation water transport function, irrigation function and water circulation function is structured. The content of each of these functions is disclosed with an indication of the structural components of the technical system. The approaches to the choice of functional components of the system are proposed, the criteria for each element of the flow structure of the technological function are determined. The proposed model with the disclosed set of structural and component elements of the system can be used as a structured basis for splicing technological, energy, environmental functions of irrigation system, as well as the function of intelligent automated control.

Ключевые слова: гидромелиоративная система, модель, технологическая функция, конструктивно-компонентная структура.

Key words: hydro land reclaiming system, model, technological function, structural and component structure.

Введение. В современном понятийном поле определение гидромелиоративной системы персонифицируется как сложный природно-технический комплекс, обеспечивающий регулирование круговорота воды, вещества, энергии и информации в агроландшафтах [8]. Прямое воздействие на естественные природные круговороты коренным образом трансформирует окружающую среду, обеспечивая возможность комплексного управления условиями формирования агроландшафтов [5]. При этом важно учитывать и ряд основополагающих процессов, развитие которых объективно и требует учета при реализации технологической функции гидромелиоративных систем [15, 14, 18, 19]:

– развитие негативных экологических процессов из-за массового нарушения природных связей, преобразования естественного гидрологического цикла, сопутствующих факторов, таких как рельеф, почвенно-геологические особенности территории, техническое состояние системы и др.;

– затраты антропогенной энергии на поддержание новых, искусственных условий формирования агроландшафтов.

В связи с этим современные гидромелиоративные системы рассматриваются как неразрывная взаимосвязь четырех основных функций: технологической, энергетической, экологической и функции управления [15]. Системообразующей матрицей формирования этого сложного, многоцелевого технического комплекса является технологическая функция гидромелиоративной системы.

Материалы и методы. Общей целью исследований является концептуальное проектирование гидромелиоративных систем нового поколения в форме обобщенной компонентно-функциональной модели с комплексом мониторинга и интеллектуального управления орошением в режиме реального времени [2, 3]. Настоящая работа является попыткой создания функциональной технологической модели оросительной гидромелиоративной системы с формированием компонентно-конструктивной структуры как материальной основы реализации всего комплекса функций.

Материалами исследования стали современные технико-технологические решения по всей совокупности компонентов гидромелиоративной системы, научный и практический опыт эксплуатации оросительных гидромелиоративных систем, тренды технологического развития мелиораций России и мире [4, 12, 13, 11, 16, 17]. Решения рассматриваются с позиций исполнения технологической функции с возможностью объединения компонентов в отдельные функциональные блоки. В качестве основного методологического подхода исследований принят метод функционально-физического анализа технических систем [1, 7, 10]. Методической основой исследований является установление общих системных взаимосвязей рассредоточенных конструктивных компонентов

гидромелиоративных систем, выявление и структурирование функций рассредоточенных конструктивных компонентов гидромелиоративных систем, выделение функций, непосредственно связанных с выполнением технологического процесса. Объект исследований – гидромелиоративные системы нового поколения. Предмет исследований – компонентно-ориентированная функциональная структура гидромелиоративных систем, содержание функций, технологическая функция.



Рисунок 1 – Компонентно-функциональная модель оросительной гидромелиоративной системы. Технологическая функция

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 детализирована технологическая функция оросительных гидромелиоративных систем нового поколения. Анализ современных технических решений и реализации конструкций оросительных систем в плане практического использования позволяют дифференцировать технологическую функцию на следующие составляющие:

– функция водозабора. Данная функция отвечает за формирование ответвления потока воды для целей мелиорации. В зависимости от принятой модели оросительной системы, обусловленной, в свою очередь, природными условиями ее размещения, водозабор может быть самотечным и с машинным водоподъемом. Самотечные системы в свою очередь могут использовать особенности естественного рельефа местности, либо дополнительные инженерные сооружения для искусственного подъема воды в водоеме. При невозможности (или нецелесообразности) формирования самотечного ответвления потока воды для целей мелиорации возможно использование машинного водозабора, предусматривающего привнесение дополнительной энергии для реализации функции;

– функция водоподготовки. Данная функция отвечает за приведение биохимического состава, мутности и других показателей качества отводимой воды в соответствие с требованиями к качеству воды, используемой для орошения. В зависимости от качества воды в водоисточнике и ограничений по показателям качества воды, используемой для орошения, функция предусматривает возможность осветления воды, удаления механических примесей и биологического загрязнения путем фильтрования, регулирования уровня минерализации воды (опреснение, смешивание) и др. Важным, недоиспользуемым сегодня фактором является возможность регулирования температуры воды на основе сооружений комплекса водоподготовки;

– транспортная функция. Функция предполагает выполнение любых перемещений отбираемых из водоисточника объемов воды к мелиорируемым участкам. Транспортная функция должна обеспечивать плановую водоподачу, учитывать организацию территории и размещение мелиорируемых участков, учитывать рельеф и не мешать проведению сельскохозяйственных работ. Транспорт воды является одним из наиболее энергозатратных мероприятий, поэтому одним из важнейших требований к функции является снижение энергоемкости. В этой связи оптимизируется протяженность транспортной сети, улучшаются параметры шероховатости водоводов, используются особенности естественного рельефа местности, а также возможность и целесообразность его частичного трансформирования в процессе капитального строительства;

– функция орошения. Функция предполагает непосредственное распределение оросительной воды по площади мелиорируемого участка, трансформацию ее в состояние почвенной влаги. В плане практической реализации функция предполагает использование различных способов полива, включая поверхностное, дождеванием, капельное орошение, внутрипочвенное и аэрозольное орошение. В зависимости от способа орошения реализуются варианты исполнения функции. Например, поверхностное орошение предполагает создание слоя воды на поверхности мелиорируемого участка с последующей инфильтрацией в почвенные горизонты. Дождевание предполагает распределение воды по участку в форме капель дождя, имеющих определенную кинетическую энергию. Капельное орошение предполагает точечное смачивание почвы и растягивание влаги в горизонтальном и вертикальном профиле уже непосредственно в почве. Также почвенные силы определяют объемное распределение влаги при внутрипочвенном орошении с той разницей, что источник влаги находится внутри почвенных горизонтов. Особое положение занимает аэрозольное орошение, которое в принципе не направлено на регулирование водного режима почвы, а предполагает смачивание вегетативных органов сельскохозяйственных растений. Основными требованиями к выполнению функции является регулирование водного режима почвы в соответствии с биологическими особенностями орошаемых сельскохозяйственных культур, согласование объемов и интенсивности водоподдачи во избежание формирования поверхностного

стока и инфильтрационного сброса воды, предотвращение развития ирригационной эрозии, сокращение непроизводительного расхода влаги, обеспечение заданного уровня равномерности распределения оросительной воды и учет водных характеристик почвы для создания оптимальных условий развития сельскохозяйственных растений;

– водооборотная функция. Функция предполагает отвод избыточно поданной и не реализованной в плане создания запасов почвенной влаги воды, отвод грунтовых вод и воды бокового почвенного притока для создания благоприятной мелиоративной ситуации на мелиорируемых землях. Реализация функции также предусматривает возможность отвода вод с пониженными качественными характеристиками, не соответствующими требованиям к качеству оросительной воды.

Рассматриваемая модель включает только основные, неотъемлемые компоненты технологической функции оросительной гидромелиоративной системы. Например, по А.И. Голованову [9], оросительная система включает водоисточник. В то же время отмечается, что водоисточник можно рассматривать как часть оросительной системы в случае, когда для орошения небольших участков создают искусственные водоемы, основной целью которых и является аккумуляция воды для целей мелиорации.

Основными инженерными компонентами, реализующими функцию водозабора, являются водозаборные сооружения, плотины, технические средства и сооружения машинного водоподъема. Водозаборные сооружения представляют собой специально отведенную территорию водоисточника, оборудованную инженерными сооружениями и обеспечивающую требуемый дебет расхода воды, отвод требуемых объемов воды в транспортную сеть, защиту от поступления биологического материала. Плотины используются для подъема уровня воды в водоисточнике с целью обеспечения самотечного транспорта воды либо подвода воды к организационно-оптимальной территории водозабора, а также для регулирования дебета водоисточника. Средства машинного водоподъема обеспечивают возможность отвода воды для целей орошения в случае, если рельеф местности не обеспечивает реализацию самотечного транспорта. Технические средства и сооружения машинного водоподъема обеспечивают передачу отводимому для целей мелиорации объему воды кинетической и потенциальной энергии, необходимой для преодоления препятствий естественного рельефа и перепада высот между водоисточником и мелиорируемыми территориями.

Основными инженерными компонентами, реализующими функцию водоподготовки, являются пруды-отстойники осветлители, станции водоподготовки, сооружения для регулирования теплового режима воды, сооружения для регулирования минерализации воды. Пруды-отстойники осветлители используются при повышенной мутности отбираемой для целей орошения воды, осветление которой стандартными средствами трудноосуществимо или нецелесообразно. Данные сооружения позволяют использовать для целей орошения сток с повышенным биологическим загрязнением, которое, как правило, невозможно отделить обычными фильтровальным способом. Технические средства напорного фильтрования являются основными элементами станций водоподготовки. Фильтровальные станции могут использовать разные по конструкции и принципу действия фильтры. С успехом реализуется принцип ступенчатой водоподготовки, когда разные типы фильтров формируют качественные уровни водоподготовки. Важнейшими условиями успешного функционирования станций водоподготовки наряду с регулированием качества оросительной воды является снижение затрат совокупной энергии и автоматизация технологического процесса. Сооружения для регулирования теплового режима оросительной воды сегодня практически не используются, однако имеют хороший потенциал в плане развития технологий комплексного регулирования

факторов жизни сельскохозяйственных растений. Сооружения для регулирования минерализации воды подразумевают направленное изменение минерального химического состава и могут быть реализованы в виде конструкций опреснителей, сооружения для смешивания вод разного качества, разбавления водооборотного стока для повторного использования в целях орошения и т.д. На небольших, внутривозделанных оросительных системах, реализуемых, как правило, на ресурсах местного стока, в плане регулирования минерализации воды может рассматриваться подготовка и введение раствора питательных веществ.

Для реализации транспортной функции используются различные уровни водоводов, включая магистральную водоподводящую сеть, межхозяйственную распределительную сеть, внутривозделанную распределительную сеть и гидротехнические сооружения-регуляторы. Водоподводящая и распределительная сеть может быть реализована в закрытом или открытом варианте, используется также и комбинация способов конструктивного исполнения. Гидротехнические сооружения-регуляторы выполняются в узловых точках транспортной сети, а также при необходимости по длине водоводов и обеспечивают регулирование уровней и расходов воды, сопряжение бьефов, мониторинговые функции и т.д.

Компонентный состав функции орошения включает оросительную технику, орошаемые земли и орошаемые культуры. Оросительная техника представлена широчайшим конструктивным исполнением и реализует функцию используя различные способы полива. К таким способам сегодня относят поверхностное орошение, дождевание, капельное, внутривозделанное и аэрозольное. Современный уровень развития оросительной техники включает возможность комбинированного применения перечисленных способов для использования всех их преимуществ и нивелирования недостатков. К орошаемым участкам предъявляются особые требования, которые в зависимости от способа полива могут подразумевать планирование территории, инженерно-хозяйственную организацию участков, лесомелиоративные опции и др. Орошаемые культуры являются неотъемлемой компонентой функции, так как определяют требования к поливу, режиму орошения, технологии и способу полива, качеству дождя, конструктивным особенностям техники полива.

Основными инженерными компонентами, реализующими водооборотную функцию, являются водосборно-сбросная и коллекторно-дренажная сеть. Первая реализует технические возможности отвода излишних поверхностных вод, а вторая, – почвенных, включая возможность понижения уровня грунтовых вод [6].

В совокупности все рассмотренные выше компоненты техно-природной системы и реализуемые ими функции суммируются и выражаются выполнением технологической функции гидромелиоративной системы.

Заключение. Функционально-физический анализ современных технико-технологических решений, применяемых и перспективных компоновочных схем оросительных гидромелиоративных систем, позволил выделить пять основных структурных элементов технологической функции, реализуемых в рамках единой потоковой функциональной модели. Выполнено описание компонентного состава функции водозабора, водоподготовки, транспортной функции, орошения и водооборотной функции. Каждый из этапов технологической функции является непосредственным узлом сопряжения с другими функциями гидромелиоративной системы. Использование представленной модели позволяет структурировать и привязать непосредственно к компонентам технической системы функции энергетического обеспечения, сохранения экологического равновесия, мониторинга и интеллектуального автоматизированного управления.

Библиографический список:

1. Бердоносков, В.Д. Функционально-стоимостный анализ технических систем [Текст]/ В.Д. Бердоносков, В.П. Гальетов, В.А. Михайлов. – Чебоксары: Изд-во Чувашского университета, 2005. – 39 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. Бородычев, В.В. Аппаратное обеспечение мониторинга работы дождевальной техники на основе технологий глобального спутникового позиционирования [Текст]/ В.В. Бородычев, Е.Э. Головинов, М.Н. Лытов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2 (62). – С. 48-52.
4. Владимиров, С.А. Алгоритм реконструкции и проектирования ландшафтно-мелиоративных систем нового поколения [Текст]/ С.А. Владимиров, В.П. Амелин, Е.И. Гроть // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2009. – № 19. – С. 209-215.
5. Кирейчева, Л.В. Концепция создания устойчивых мелиорированных агроландшафтов [Текст]/ Л.В. Кирейчева, Н.М. Решеткина. – М.: ВНИИГиМ, 1997. – 54 с.
6. Кожанов, А.Л. Принципы построения классификаций мелиоративных систем [Текст]/ А.Л. Кожанов [и др.]. – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2012. – 130 с.
7. Максимов, А.Д. Методы технического творчества [Текст]/ А.Д. Максимов. – М.: МГМУ «МАМИ», 2009. – 64 с.
8. Мелиоративная энциклопедия [Текст]. – М.: ФГНУ: «Росинформагротех», 2003. – Т.1. – 672 с.
9. Мелиорация земель [Текст]/ А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров и др. – М.: Колос, 2011. – 825 с.
10. Нечипоренко, В.И. Структурный анализ и методы построения надежных систем [Текст]/ В.И. Нечипоренко. – М.: Советское радио, 1968. – 256 с.
11. Оросительные системы России: от поколения к поколению [Текст]: монография / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, С.М. Васильев и др. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – Ч.1-2. – 590 с.
12. Основные пути модернизации ирригационных систем и выбор современных технических средств орошения в водохозяйственных бассейнах Казахстана [Текст]/ Р.А. Кван, А.И. Парамонов, А.Е. Байзакова и др. // Наука и Мир. – 2015. – Т. 1. – № 9 (25). – С. 73-77.
13. Хатхоху, Е.И. Основные положения проектирования мелиоративных систем нового поколения [Текст] / Е.И. Хатхоху, Д.В. Прус, Г.Н. Фоминова // Символ науки. – 2016. – № 5-3 (17). – С. 86-89.
14. Шадских, В.А. Основные принципы оптимизации экологической ситуации орошаемых агроландшафтов степной и сухостепной зон Поволжья [Текст] / В.А. Шадских, Л.Г. Романова, В.Е. Кижаяева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 6. – С. 17-20.
15. Энергетическая оценка мелиоративных мероприятий для повышения плодородия почв [Текст]/ Л.В. Кирейчева, И.В. Белова, С.В. Перегудов и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 4 (16). – С. 32-43.
16. Fernández, J.E. Irrigation scheduling from stem diameter variations [Tekst]: a review/ J.E. Fernández, M.V. Cuevas // Agricultural and Forest Meteorology. – 2010. – Т. 150. – № 2. – P. 135-151.
17. Garb, Y. From transfer to translation: using systemic understandings of technology to understand drip irrigation uptake [Tekst]/ Y. Garb, L. Friedlander // Agricultural Systems. – 2014. – Т. 128. – P. 13-24.
18. Morid, S. Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh rud irrigation system [Tekst]/ S. Morid, A.R.M. Bavani // Irrigation and Drainage. – 2010. – Т. 59. – № 2. – P. 226-238.
19. Srinivasa Raju K. Fuzzy data envelopment analysis for performance evaluation of an irrigation system [Tekst]/ Srinivasa Raju K., Nagesh Kumar D. // Irrigation and Drainage. – 2013. – Т. 62. – № 2. – P. 170-180.

Reference

1. Berdonosov, V. D. Funkcional'no-stoimostnyj analiz tehniceskikh sistem [Tekst]/ V. D. Berdonosov, V. P. Gal'tov, V. A. Mihajlov. - Cheboksary: Izd-vo Chuvashskogo universiteta, 2005. - 39 s.
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 jelektifikaciya sel'skogo hozyajstva", 2017. - 154 s.
3. Borodychev, V. V. Apparatnoe obespechenie monitoringa raboty dozhdval'noj tehniki na osnove tehnologij global'nogo sputnikovogo pozicionirovaniya [Tekst]/ V. V. Borodychev, E. Je. Golovinov, M. N. Lytov // Puti povysheniya jeffektivnosti oroshaemogo zemledeliya. - 2016. - № 2 (62). - S. 48-52.
4. Vladimirov, S. A. Algoritm rekonstrukcii i proektirovaniya landshaftno-meliorativnyh sistem novogo pokoleniya [Tekst]/ S. A. Vladimirov, V. P. Amelin, E. I. Gron' // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2009. - № 19. - S. 209-215.
5. Kirejcheva, L. V. Konceptsiya sozdaniya ustojchivyh meliorirovannyh agrolandshaftov [Tekst]/ L. V. Kirejcheva, N. M. Reshetkina. - M.: VNIIGiM, 1997. - 54 s.
6. Kozhanov, A. L. Principy postroeniya klassifikacij meliorativnyh sistem [Tekst]/ A. L. Kozhanov i dr. - Novocherkassk: FGBNU "RosNIIPM", 2012. - 130 s.
7. Maksimov, A. D. Metody tehniceskogo tvorchestva [Tekst]/ A. D. Maksimov. - M.: MGMU "MAMI", 2009. - 64 s.
8. Meliorativnaya jenciklopediya [Tekst]. - M.: FGNU: "Rosinformagroteh", 2003. - T.1. - 672 s.
9. Melioraciya zemel' [Tekst]/ A. I. Golovanov, I. P. Ajdarov, M. S. Grigorov i dr. - M.: Kolos, 2011. - 825 s.
10. Nechiporenko, V. I. Strukturnyj analiz i metody postroeniya nadezhnyh sistem [Tekst] / V. I. Nechiporenko. - M.: Sovetskoe radio, 1968. - 256 s.
11. Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu [Tekst]: monografiya / V. N. Schedrin, A. V. Kolganov, S. M. Vasil'ev i dr. - Novocherkassk: Gelikon, 2013. - Ch.1-2. - 590 s.
12. Osnovnye puti modernizacii irrigacionnyh sistem i vybor sovremennyh tehniceskikh sredstv orosheniya v vodohozyajstvennyh bassejnah Kazahstana [Tekst]/ R. A. Kvan, A. I. Paramonov, A. E. Bajzakova i dr. // Nauka i Mir. - 2015. - T. 1. - № 9 (25). - S. 73-77.
13. Hathohu, E. I. Osnovnye polozheniya proektirovaniya meliorativnyh sistem novogo pokoleniya [Tekst] / E. I. Hathohu, D. V. Prus, G. N. Fominova // Simvol nauki. - 2016. - № 5-3 (17). - S. 86-89.
14. Shadskih, V. A. Osnovnye principy optimizacii jkologicheskoy situacii oroshaemyh agrolandshaftov stepnoj i suhostepnoj zon Povolzh'ya [Tekst] / V. A. Shadskih, L. G. Romanova, V. E. Kizhaeva // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. - 2017. - № 6. - S. 17-20.
15. Jenergeticheskaya ocenka meliorativnyh meropriyatij dlya povysheniya plodorodiya pochv [Tekst]/ L. V. Kirejcheva, I. V. Belova, S. V. Peregudov i dr. // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. - 2009. - № 4 (16). - S. 32-43.
16. Fernández, J.E. Irrigation scheduling from stem diameter variations [Tekst]: a review/ J.E. Fernández, M.V. Cuevas // Agricultural and Forest Meteorology. - 2010. - T. 150. - № 2. - P. 135-151.
17. Garb, Y. From transfer to translation: using systemic understandings of technology to understand drip irrigation uptake [Tekst] / Y. Garb, L. Friedlander // Agricultural Systems. - 2014. - T. 128. - P. 13-24.
18. Morid, S. Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh rud irrigation system [Tekst]/ S. Morid, A.R.M. Bavani // Irrigation and Drainage. - 2010. - T. 59. - № 2. - P. 226-238.
19. Srinivasa Raju K. Fuzzy data envelopment analysis for performance evaluation of an irrigation system [Tekst]/ Srinivasa Raju K., Nagesh Kumar D. // Irrigation and Drainage. - 2013. - T. 62. - № 2. - P. 170-180.