OPTIONS OF IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF THE HYDROMELIORATIVE SYSTEM FOR REGULATION OF THE HYDROTHERMAL REGIME AND INTEGRATED PROTECTION OF CROPS FROM CLIMATIC RISKS

V.V. Borodychev, M. N. Lytov

*Federal State Budget Science Center «All-Russian Scientific Research Institute
of Hydrotechnics and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»*

Received 11.05.2021

Submitted 25.10.2021

Summary

A system of options for the implementation of functional elements of an irrigation and drainage system with expanded possibilities of regulating the hydrothermal regime of agro-phytocenosis is proposed for use in the operation of an algorithm for technical synthesis and search for optimal solutions based on the method of morphological combinatorics.

Abstract

Introduction. This study is an integral part of the work on a model for creating technical systems for regulating the hydrothermal regime of agro-phytocenosis using the method of morphological combinatorics. The method is easily formalized, due to which it can be used to solve problems of automatic synthesis and search for optimal design solutions based on machine algorithms. The purpose of the study is to develop a system of options for the implementation of functional elements of irrigation and drainage systems with expanded possibilities for regulating the hydrothermal regime of agro-phytocenosis for use in the operation of an algorithm for technical synthesis and search for optimal solutions based on the method of morphological combinatorics. **Object.** The object of research is a new generation of irrigation and drainage systems with enhanced functionality for regulating the hydrothermal regime of agro-phytocenosis and complex protection of crops from climatic risks. **Materials and methods.** The methodological basis of research is the search, analysis and formation of a system of known design solutions, as well as potentially promising options for the implementation of functional elements of the irrigation and drainage system with advanced technological capabilities. Implementation options for design solutions are systematized by groups of design features for each of the selected functional elements of the system. A prerequisite for the inclusion of design features in the working groups of options is the presence of two or more alternative options for implementation. **Results and conclusions.** A set of options for the implementation of functional elements of a hydro-reclamation system is proposed, which provides an expansion of technological capabilities for regulating the hydrothermal regime of agro-phytocenoses and complex protection of crops from climatic risks. The main functional elements of the irrigation and drainage system, identified as the most promising for technical improvement and the creation of new effective structures, are drip and sprinkler outlets, an irrigation pipeline, a distribution pipeline, an additional water supply system, a differential pressure system, a filtration system, a hydraulic feeder, water conduits of a conducting irrigation network of different orders. The options for the implementation of design features for these, the main functional elements of the improved structures of the irrigation and drainage system are given in two main formats. The first of them is a list one, when the implementation options are presented in the form of a sequentially organized list, and each element of the list is some kind of fundamental design decision regarding the functional element in question. The second format is interval format, when any quantitative feature of a functional element varies from minimum to maximum with a certain step. The proposed system includes both well-known and already tested options for design solutions, and potentially promising options for implementation, which are still defining the requirements for the created design solutions.

Key words: *irrigation and drainage system, structures, functional element, constructive feature, implementation options, morphological combinatorics.*

Citation. Borodychev V.V., Lytov M.N. Options of implementation of constructive solutions of the hydromeliorative system for regulation of the hydrothermal re-gime and integrated protection of crops from climatic risks. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 306-324 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-32.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

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

УДК 631.67:581.55

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И КОМПЛЕКСНОЙ ПРОТЕКЦИИ ПОСЕВОВ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ

В. В. Бородычев, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН
М. Н. Лытов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 11.05.2021

Дата принятия к печати 25.10.2021

Актуальность. Настоящее исследование является составной частью работы над моделью создания технических систем для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза с использованием метода морфологической комбинаторики. Метод легко формализуется, благодаря чему может быть использован для решения задач автоматического синтеза и поиска оптимальных конструктивных решений на основе машинных алгоритмов. Цель исследования – разработать систему вариантов реализации функциональных элементов ГМС с расширенными возможностями регулирования гидротермического режима агрофитоценоза для использования в работе алгоритма технического синтеза и поиска оптимальных решений на основе метода морфологической комбинаторики. **Объект.** Объектом исследований является гидромелиоративные системы нового поколения с расширенными функциональными возможностями по регулированию гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков. **Материалы и методы.** Методологической основой исследований является поиск, анализ и формирование системы известных конструктивных решений, а также потенциально перспективных вариантов реализации функциональных элементов гидромелиоративной системы с расширенными технологическими возможностями. Варианты реализации конструктивных решений систематизируются по группам конструктивных признаков для каждого из выделенных функциональных элементов системы. Необходимым условием включения конструктивных признаков в состав рабочих групп вариантов является наличие двух и более альтернативных вариантов реализации. **Результаты и выводы.** Предложена совокупность вариантов реализации функциональных элементов гидромелиоративной системы, обеспечивающей расширение технологических возможностей по регулированию гидротермического режима агрофитоценозов и комплексной протекции посевов от климатических рисков. Основными функциональными элементами гидромелиоративной системы, выделенными в качестве наиболее перспективных для технического совершенствования и создания новых эффективных конструкций, являются водовыпуски капельного и дождевального типа, поливной трубопровод, распределительный трубопровод, система добавочного водообеспечения, система дифференцированных напоров, система фильтрации, гидроподкормщик, водоводы проводящей оросительной сети разных порядков. Варианты реализации конструктивных признаков по этим, основным функциональным элементам совершенствуемых конструкций гидромелиоративной системы заданы в двух основных форматах. Первый из них – списочный, когда варианты реализации представлены в форме последовательным образом организованного списка, а каждый элемент

списка – это какое-то принципиальное конструктивное решение относительно рассматриваемого функционального элемента. Второй формат интервальный, когда какой-либо количественный признак функционального элемента варьируется от минимума до максимума с определенным шагом. Предложенная система включает как известные и уже апробированные варианты конструктивных решений, так и потенциально перспективные варианты реализации, только еще определяющие требования к создаваемым конструктивным решениям.

Ключевые слова: гидромелиоративные системы, конструкции гидромелиоративных систем, морфологическая комбинаторика, регулирование гидротермических режимов.

Цитирование. [Бородычев В. В.], Лытов М. Н. Варианты реализации конструктивных решений гидромелиоративной системы для регулирования гидротермического режима и комплексной протекции посевов от климатических рисков *Известия НВ АУК*. 2021. 4(64). 306-324. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-32.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Автоматизированные гидромелиоративные системы с расширенным функционалом по регулированию гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков являются перспективным направлением развития современных гидромелиоративных технологий [1, 3, 10, 11, 13]. Сохраняя все преимущества возделывания сельскохозяйственных культур в открытом грунте, такие системы дают эффективные инструменты для обеспечения максимальной защиты растений от различного рода неблагоприятных условий окружающей среды, включая критические и стрессовые факторы. Разработка таких технических систем уже начата, предложены и апробированы первые конструктивные решения, построенные на идее комбинирования разных способов орошения [2, 4, 5, 6]. Уже сейчас эти конструкции зачастую имеют принципиально различные решения. Область технического совершенствования таких систем чрезвычайно широка и на сегодня практически не освоена. Использование методов автоматического синтеза и поиска оптимальных конструктивных решений относительно гидромелиоративных систем с расширенными возможностями регулирования гидротермического режима агрофитоценоза является как никогда актуальным. Одним из таких, хорошо формализуемых методов, является метод морфологической комбинаторики [7, 14]. Настоящее исследование является составной частью работы над моделью создания технических систем для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза с использованием метода морфологической комбинаторики. Цель исследования – разработать систему вариантов реализации функциональных элементов ГМС с расширенными возможностями регулирования гидротермического режима агрофитоценоза для использования в работе алгоритма технического синтеза и поиска оптимальных решений на основе метода морфологической комбинаторики.

Материалы и методы. Объектом исследований являются гидромелиоративные системы нового поколения с расширенными функциональными возможностями по регулированию гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков. Предмет исследований – варианты реализации конструктивных решений по функциональным элементам гидромелиоративной системы с расширенными возможностями регулирования гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков. Методологической

основой исследований является поиск, анализ и формирование системы известных конструктивных решений, а также потенциально перспективных вариантов реализации функциональных элементов гидромелиоративной системы с расширенными технологическими возможностями [8, 9, 12, 15]. Варианты реализации конструктивных решений систематизируются по группам конструктивных признаков для каждого из выделенных функциональных элементов системы. Необходимым условием включения конструктивных признаков в состав рабочих групп вариантов является наличие двух и более альтернативных вариантов реализации.

Конструктивные признаки группируются относительно функциональных элементов технической системы. Чтобы выделить совокупность конструктивных признаков, используются некоторые общие подходы. В частности, оценивается взаимное расположение функциональных элементов, составляющих техническую систему. Качественная либо количественная характеристика взаимного расположения функциональных элементов системы является конструктивным признаком. Если техническую систему можно разбить на функциональные элементы, то, безусловно, будут и взаимосвязи между ними. То, как устроены эти связи, тоже является конструктивным признаком технической системы. К конструктивным признакам относится геометрическая форма, соотношение размерных оценок, материал, из которого изготовлен конструктивный элемент. Эти, общепринятые сегменты не ограничивают поиска конструктивных признаков, причем для каждой технической системы всегда можно сформировать наиболее важные параметры.

Результаты и обсуждение. Особенностью конструкции гидромелиоративной системы для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков является объединение функционала сразу нескольких способов полива и их совокупного использования в определенном режиме. При этом реализуется возможность наилучшего использования их преимуществ и минимизация совокупного действия отрицательных факторов. В качестве основного конструктивного концепта на начальном этапе используется комбинация из капельного способа орошения и дождевания. Такая техническая система имеет следующие, наиболее важные и перспективные с точки зрения конструктивного совершенствования, функциональные элементы:

- водовыпуск системы капельного типа;
- водовыпуск системы дождевального типа;
- трубопровод системы поливной;
- трубопровод системы распределительный;
- система добавочного водообеспечения;
- система обеспечения дифференцированных напоров;
- система фильтрации и комплексной водоочистки;
- функциональный узел приготовления и дозирования растворов;
- трубопроводы проводящей оросительной сети разных порядков.

Для каждого из функциональных элементов выделена совокупность конструктивных признаков, различные варианты реализации которых обуславливают создание новых технических решений. Собственно, разработка и систематизация вариантов реализации конструктивных признаков составляет элемент инженерного творчества, тогда как остальная работа, включая составление допустимых комбинаций, параметрическую оптимизацию, определение показателей приоритета технического решения, может выполняться в автоматическом режиме, с применением машинных алгоритмов и вычислительных мощностей.

По положению капельного водовыпуска относительно поливного трубопровода выделено два качественных и один интервальный вариант реализации (предполагающий множественные реализации на определенном интервале). Капельный водовыпуск на поливном трубопроводе может размещаться через определенное расстояние, которое задается в интервальном формате, от минимального (А) до максимального (В) значения (таблица 1). В зависимости от расстояния между капельницами можно сформировать полосовое или очаговое увлажнение. Однако даже для формирования наиболее распространенного, полосового увлажнения можно использовать капельные ленты с существенно различающимися интервалами расстановки капельниц. Следует понимать, что при более частой расстановке используются, как правило, конструктивно упрощенные варианты капельных водовыпусков. В комбинированных системах к капельным водовыпускам предъявляют особые требования, из-за чего мы вынуждены допустить возможность усложнения их конструкции. В этом плане такой интервальный параметр, как расстояние между капельницами на поливном трубопроводе, может сыграть определенную роль в создании более совершенных конструкций комбинированных систем орошения. Другие варианты реализации конструктивного признака по положению капельниц относительно поливного трубопровода, – списочные, и предполагают установку капельного водовыпуска либо за пределами поливной трубы, либо встроенными в нее. В первом варианте может рассматриваться возможность подпочвенно-капельного, как правило очагового увлажнения.

Второй вариант в настоящее время получил большее распространение, так как дает более технологичную в плане развертывания системы конструкцию. Однако развертывание систем комбинированного орошения, само по себе, предполагает создание новой технологии. Вариант с капельными водовыпусками, вынесенными за пределы поливного трубопровода, в этом случае может оказаться более выгодным.

Варианты реализации конструктивного признака по производительности капельного водовыпуска задаются в интервальном формате. Следует учитывать, что в зависимости от производительности капельного водовыпуска меняется геометрия контура увлажнения почвы. Поэтому варианты реализации этого конструктивного признака должны быть увязаны с шагом расстановки капельных водовыпусков на поливном трубопроводе, а также с почвенными характеристиками увлажняемого участка. Нужно также помнить, что в комбинированных системах орошения используются водовыпуски как минимум двух- и более типов. Должна учитываться возможность совместной их работы при известных ограничениях пропускной способности поливных трубопроводов.

Одной из главных функциональных особенностей капельного орошения является дозированная водоподача, которая обеспечивается конструктивной компенсацией производительности водовыпусков при разных напорах. Системы орошения для комплексного регулирования гидротермического режима агрофитоценозов, основанные на комбинации разных способов полива, предполагают технологическую ступень изменения рабочих напоров, что требует расширения функциональных возможностей компенсаторного механизма по производительности капельных водовыпусков. Варианты реализации конструктивного признака заданы в списочном формате. На начальном этапе рассматриваются перспективы использования компенсаторного механизма лабиринтного, мембранного и поплавкового типов, однако допускается и расширение этого списка реализаций.

Конструктивный признак прерывания водного потока в капельных водовыпусках специфичен для систем орошения, основанных на использовании комбинации способов полива. В настоящем апробированы системы комбинированного орошения без прерывателя потока на капельницах. Однако устройство такого прерывателя позволит исключить сочетанный расход воды водовыпусками разного типа, что перспективно в плане снижения материалоемкости и увеличения возможностей масштабирования системы.

Таблица 1 – Варианты реализации конструкций водовыпусков технической системы для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза

Table 1 – Options for the implementation of structures of technical system water outlets to regulate the hydrothermal regime of agrophytocenosis

Функциональный элемент Element	Конструктивный признак / Constructive feature	Варианты реализации / Implementation options
1	2	3
Водовыпуск капельного типа / Drip type water outlet	1.1 Положение относительно поливного трубопровода / Position from drip line	1.1.1 Интервал между капельными водовыпусками от А до В с шагом b / Drip interval from A to B with step b 1.1.2 Интегрирован с трубопроводом / integrated 1.1.3 Вынесен за пределы трубопровода / Separately
	1.2 По производительности / Outlet speed	1.2.1 Производительность от А до В с шагом b / Capacity from A to B with step b
	1.3 Компенсация расхода воды при разных напорах / Compensation	1.3.1 Компенсация лабиринтного типа / labyrinth 1.3.2 Компенсация мембранного типа / membrane type 1.3.3 Компенсация поплавкового типа / float type
	1.4 Прерывание потока / Interrupting a stream	1.4.1 Без прерывателя потока / No breaker 1.4.2 С интегрированным в конструкцию прерывателем потока / With breaker
	1.5 Взаимосвязь с системой / Interconnection with the system	1.4.1 Прямой контакт с водным потоком / Direct contact 1.4.2 Соединение посредством старт-коннектора с водоподводящей трубкой / External connection
Водовыпуск дождевального типа / Sprinkler type outlet	2.1 Положение относительно поливного трубопровода / Position from drip line	2.1.1 Интервал между дождевателями вдоль поливного трубопровода от А до В с шагом b / Sprinkler interval 2.1.2 Установка дождевальных аппаратов на каждом поливном трубопроводе / On every pipeline 2.1.3 Установка дождевальных аппаратов через: от С до D поливных трубопроводов с шагом в n трубопроводов / Through from C to D pipelines
	2.2 Взаимосвязь с системой / Interconnection with the system	2.2.1 Посредством водопроводящей штанги, интегрированной в поливную трубопровод / Integrated boom 2.2.2 Соединение посредством старт-коннектора с водоподводящей трубкой / Through a water pipe
	2.3 Прерывание потока / Interrupting a stream	2.3.1 Без прерывателя потока No breaker 2.3.2 С электромеханическим прерывателем потока / With electromechanical breaker 2.3.3 С гидромеханическим прерывателем потока / With hydromechanical breaker
	2.4 Конструктивные особенности / Design features	2.4.1 Дефлекторные с неизменяемой геометрией водовыпуска Deflector not adjustable 2.4.2 Дефлекторные с регулируемой геометрией водовыпуска Deflector adjustable 2.4.3 Щелевые не регулируемые / Slotted not adjustable 2.4.4 Щелевые регулируемые / Slotted adjustable 2.4.5 Струйные с вращающимся водовыпуском / Inkjet with rotating water outlet 2.4.6 Многоструйные с круговым поливом / Multi-jet with circular irrigation

Окончание таблицы 1

1	2	3
Водвы- пуск дож- девального типа / Sprinkler type outlet	2.5 Параметры дождя / Rain options	2.5.1 Мелкокапельный (аэрозоль, до 0,4 мм) / Droplet 2.5.2 Крупнокапельный (0,7 мм и более) / Coarse droplet 2.5.3 С регулируемой крупностью капель / Adjustable drop
	2.6 Производительность / Sprinkler power	2.6.1 Производительность от А до В с шагом b / Capacity from A to B with step b
	2.7 Дальность эффектив- ного увлажнения / Effective humidification range	2.7.1 Дальность факела дождя от А до В с шагом b / Rain torch range from A to B with step b

Конструктивный признак по взаимосвязи функционального элемента (в данном случае – капельного водовыпуска) с системой предполагает два списочных варианта реализации, которые должны быть согласованы с вариантами реализации в плане положения капельницы относительно поливного трубопровода.

Следующим из рассматриваемых функциональных элементов является система водовыпусков дождевального типа. По положению дождевальных водовыпусков относительно поливного трубопровода выделен один списочный и два интервальных варианта реализации. Списочный вариант реализации предполагает установку дождевальных водовыпусков на каждом поливном трубопроводе. При этом обеспечивается наименьшая пропускная нагрузка на каждый из задействованных поливных трубопроводов, однако конструкция самого трубопровода должна быть рассчитана на ступенчатое изменение напора. При установке дождевальных водовыпусков не на каждом поливном трубопроводе, а с определенным интервалом, конструкция не задействованных трубопроводов может быть упрощена, так как к ним не предъявляются особые требования. С другой стороны, пропускная нагрузка на задействованные поливные трубопроводы в этом случае существенно возрастает, и это противоречие, безусловно, требует решения оптимизационной задачи. Данный вариант реализации представлен в интервальном формате, где установка дождевальных аппаратов осуществляется через некоторое целое число поливных трубопроводов, которое изменяется от С (минимум) до D (максимум) с шагом n.

Еще один интервальный вариант реализации конструктивного признака задан относительно расстояния между дождевальными аппаратами вдоль поливного трубопровода. Это расстояние, безусловно, должно быть согласовано со схемой расстановки дождевальных аппаратов по поливным трубопроводам. Но тут есть и еще один момент. Ведь если дождевание используется для регулирования тех или иных факторов микроклимата растений, то, собственно, совсем необязательно осуществлять увлажнение посева сплошную. Факторы микроклимата характеризуются высокой степенью диффузии, поэтому даже выборочное точечное увлажнение может оказать существенное влияние на весь посев. С другой стороны, чем больше расстояние между зонами орошения, тем меньше возможность управлять микроклиматом посева. Эта задача также требует поиска наиболее выгодного варианта реализации при варьировании расстояния между дождевальными аппаратами вдоль поливного трубопровода от А до В с шагом b.

Конструктивный признак относительно взаимодействия дождевателей с системой задан двумя списочными вариантами реализации. Дождеватели с системой могут быть соединены посредством гибкой водоподводящей трубки. При этом сами дождевальные аппараты устанавливаются на штанги простейшей конструкции. Второй вариант реализации предполагает, что установочная штанга может сама использоваться в качестве водоподводящего элемента. Это усложняет конструкцию установочных элементов, но позволяет расширить их функциональность и тем самым исключает необходимость использования избыточных конструктивных модулей.

Конструктивный признак по прерыванию потока воды в дождевальные аппараты также является специфичным для систем комбинированного орошения. В настоящее время выделены три возможности реализации данного конструктивного признака. Первая из них не предполагает использования прерывателей потока, вторая опирается на использование электромеханических клапанов, а третья предусматривает использование прерывателей потока гидромеханического типа. Преимущество электромеханических прерывателей потока заключается в возможности организации любого режима включения дождевателей по программе, независимо от энергетических параметров водного потока. В то же время возникает потребность в организации систем управления и силового питания такого рода прерывателей. Гидромеханические прерыватели потока срабатывают при изменении напора воды в системе и не требуют дополнительных систем управления. Однако, если система не предполагает дифференцирования напоров, то реализовать этот принцип на практике не представляется возможным.

Конструктивные особенности дождевателей сегодня имеют достаточно большое число вариантов реализаций. Применительно к системам комбинированного орошения выделена возможность использования дефлекторных, щелевых и струйных дождевальных аппаратов. Струйные аппараты могут быть со вращающимся водовыпуском, а также с организацией кругового действия за счет умножения водовыпусков. Другими вариантами реализации данного конструктивного признака может стать использование изменяемой геометрии водовыпуска. Для гидромелиоративных систем, предполагающих регулирование не только водного режима почвы, но и комплексную протекцию посевов от климатических рисков такой подход особенно важен. Как уже говорилось, для достижения поставленной цели на начальном этапе предполагается комбинирование капельного орошения и дождевания. Но параметры дождя могут быть разными, и в зависимости от этого могут эффективно решаться разные задачи. Например, для защиты от заморозков дождевание может быть эффективным только при формировании достаточно крупных фракций дождя, а для регулирования микроклимата капли, наоборот, должны быть максимально мелкими. Аэрозольные поливы, обеспечивающие мелкокапельное дождевание посевов, вообще выделены как отдельный способ орошения. Регулирование геометрии водовыпусков дождевальных аппаратов в совокупности с дифференцированием рабочих напоров системы позволяет изменять параметры дождя для наилучшего достижения поставленных целей.

Параметры дождя, которые непосредственно связаны с конструкцией дождевального водовыпуска и расходно-напорных характеристик системы, выделены в качестве самостоятельного конструктивного признака и имеют три списочных варианта реализации. Согласно этим вариантам, дождь может быть мелкокапельным (аэрозоль, до 0,4 мм), крупнокапельным (0,7 мм и более), а также с регулируемой крупностью капель.

Производительность дождевального водовыпуска является конструктивным признаком, который в случае с комбинированными системами орошения требует решения оптимизационной задачи. Увеличение производительности дождевального аппарата повышает нагрузку на водоподводящие трубопроводы. А так как в качестве водоподводящих трубопроводов используются капельные ленты (трубки), то вопрос оптимизации производительности дождевателей стоит особенно остро. Варианты реализации этого конструктивного признака заданы в интервальном формате с изменением от А до В с шагом b.

Дальность эффективного увлажнения рассматривается как самостоятельный конструктивный признак, также требующий решения оптимизационной задачи. Повышение зоны эффективного действия факела дождя позволяет увеличить шаг расстановки дождевателей и снизить потребность в их общем количестве. В то же время увеличение факела

дождя может быть связано с необходимостью увеличения производительности дождевальных аппаратов, повышения энергетических характеристик водного потока, а также может быть ограничено требованиями к параметрам дождя. Реализация этого конструктивного признака задана в интервальном формате с минимумом, максимумом и шагом вариации.

Поливной трубопровод является еще одним важным функциональным элементом, совершенствование которого перспективно с точки зрения создания современных эффективных технических систем для регулирования гидротермического режима агрофитоценозов и комплексной протекции посевов от климатических рисков (таблица 2). Относительно этого функционального элемента нами в настоящее время выделены три перспективных конструктивных признака, для которых разработаны различные варианты реализации. Один из таких важных конструктивных признаков – геометрические параметры поливного трубопровода. И, пожалуй, главный из них – диаметр поливного трубопровода. От диаметра поливного трубопровода напрямую зависят его пропускная способность и совокупная производительность всех работающих одновременно водовыпусков. Пропускная способность в купе с оптимизацией системы водовыпусков определяет возможности масштабирования системы. Большой диаметр определяет возможности большего масштабирования. Вместе с тем с увеличением диаметра трубопровода резко возрастает материалоемкость и стоимость системы. Кроме того, современной промышленностью отработаны несколько вариантов по диаметру капельных трубопроводов и видится целесообразным ориентироваться именно на них. Варианты реализации по этому параметру заданы в интервальном формате, где диаметр возрастает от величины A до B с шагом b .

Следующие варианты реализации конструктивного признака имеют списочный характер и включают альтернативу использования капельных лент или капельных трубок. Опытами доказана возможность использования и тех и других при выполнении определенных требований относительно технических характеристик. В то же время капельная лента сегодня – это, как правило, более дешевый вариант с малой толщиной стенки и некомпенсированными капельницами. Для систем комбинированного орошения такой вариант менее предпочтителен, хотя и может конкурировать при изготовлении небольших по площади обслуживания модулей.

Еще один интервальный вариант реализации задан относительно толщины стенки поливного трубопровода. Здесь необходимо учитывать возможность коннекторного соединения с водопроводящей трубкой дождевателя, дифференцирование напоров в системе при разных режимах работы, а также показатели материалоемкости изготавливаемого трубопровода. Толщина стенки изменяется от некоей минимальной величины C до максимальной величины D с шагом d .

Следующий конструктивный признак предполагает оценку вариантов технического исполнения капельного трубопровода. Контролем здесь является вариант без особенностей, что означает использование типовых капельных трубопроводов. Другими вариантами реализации этого конструктивного признака могут являться капельные линии со встроенным узлом присоединения старт-коннектора, либо трубопроводы с отводами для встраивания штанги дождевального водовыпуска. Предлагаемые варианты отражают специфику комбинированных систем орошения и непосредственно связаны с выбором установочной конструкции дождевателей (способа соединения с системой).

Еще один конструктивный признак поливного трубопровода совершенствуемой системы орошения рассматривается относительно прерывания потока воды в районе узла водоотведения. В качестве контроля рассматриваются поливные трубопроводы без прерывателя потока. Конструкции таких систем известны и апробированы в условиях производства. Недостатком таких конструкций является необходимость кратного увеличения про-

пускной способности водоподводящей сети при работе системы в режиме, когда задействованы водовыпуски всех типов. Диаметр трубопроводов водоподводящей сети нескольких последних рангов приходилось увеличивать, что в значительной мере повышает материалоемкость таких проектов. Использование прерывателей потока позволяет организовать работу системы в режиме «Волна». Вариант такой конструкции с присоединяемыми электромеханическими прерывателями потока разработаны и испытаны во ВНИИГиМ [2]. Другими вариантами реализации конструктивного признака являются конструкции поливного трубопровода со встроенными электромеханическими прерывателями потока, а также со встроенными или присоединяемыми гидромеханическими прерывателями потока, предполагающими импульсное управление потоком воды.

Таблица 2 – Варианты реализации конструкций трубопроводов поливного модуля технической системы для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза

Table 2 – Options for the implementation of pipeline structures for the irrigation module of the technical system for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenosis

Функциональный элемент / Element	Конструктивный признак / Constructive feature	Варианты реализации / Implementation options
Поливной трубопровод / Irrigation pipeline	3.1 Геометрические параметры / Geometric parameters	3.1.1 Диаметр от А до В с шагом b / Diameter change 3.1.2 Лента / Ribbon 3.1.3 Трубка / A tube 3.1.4 Толщина стенки от С до D с шагом d / Variable mils
	3.2 Конструктивные особенности / Design features	3.2.1 Без особенностей (типовая) / Typical 3.2.2 Со встроенным узлом присоединения старт-коннектора / With built-in start connector 3.2.3 С отводами для встраивания штанги дождевального водовыпуска / With taps for recessed sprinkler boom
	3.3 Прерывание потока (система «волна») / Interrupting a stream	3.3.1 Без прерывания потока / No breaker 3.3.2 Со встроенным электромеханическим прерывателем потока / With built-in electromechanical flow breaker 3.3.3 С присоединяемым электромеханическим прерывателем потока / With external electromechanical flow breaker 3.3.4 Со встроенным гидромеханическим прерывателем потока / With built-in hydromechanical flow breaker 3.3.5 С присоединяемым гидромеханическим прерывателем потока / With external hydromechanical flow breaker
Распределительный трубопровод / Distribution pipeline	4.1 Конструктивные особенности / Design features	4.1.1 Один трубопровод для работы в режиме низконапорного капельного и высоконапорного орошения дождеванием / Single type of pipeline 4.1.2 Два трубопровода для разделения низко- и высоконапорных потоков оросительной воды для питания системы в режиме капельного орошения и в режиме дождевания / Double piping
	4.2 Конструкционный материал / Construction material	4.2.1 Полимер / Polymer 4.2.2 Сталь / Steel 4.2.3 Металло-полимерные решения / Metal-plastic 4.2.4 Композит / Composite

Следующим функциональным элементом рассматриваемой технической системы, совершенствование которого кажется перспективным для создания эффективных систем комбинированного орошения, является распределительный трубопровод. Здесь выделено два конструктивных признака: конструктивные особенности распределитель-

ного трубопровода и используемый конструкционный материал. Относительно конструктивных особенностей распределительного трубопровода в настоящее время включено два списочных варианта реализации. Первый из них наиболее очевиден и предполагает использование одного распределительного трубопровода для работы системы в режиме низконапорного капельного и высоконапорного орошения дождеванием. Второй вариант предполагает использование двух трубопроводов для разделения низко- и высоконапорного потоков оросительной воды. На первый взгляд, такой подход не оправдан, так как повышает материалоемкость и стоимость системы. С другой стороны, такая конструкция дает возможность задействовать для работы в режиме дождевания (аэрозольного орошения) не все капельные линии, а лишь некоторые из них. В этом случае только используемые капельные трубопроводы должны быть рассчитаны на кратное повышение напора воды, иметь сложные и дорогостоящие конструкции компенсированных капельниц, тогда как к остальным капельным трубопроводам таких требований не предъявляется. В этом случае повышение затрат на дополнительный распределительный трубопровод может быть кратно компенсировано экономией и поливных капельных трубопроводах.

В качестве конструкционных материалов для распределительного трубопровода на данном этапе предполагается возможность использования полимеров, стали, металло-полимерных решений и композитов.

Следующий выделенный функциональный элемент специфичен для систем комбинированного орошения, в основу которых положена возможность полива сразу несколькими способами одновременно. Этот функциональный элемент – система добавочного водообеспечения (таблица 3). Потребность в дополнительном водообеспечении возникает при совокупной работе сразу нескольких типов водовыпусков и характеризует тот дополнительный объем воды, который определяется производительностью дополнительно установленных водовыпусков. Конструктивные признаки, которые выделены для этого функционального элемента, характеризуются положением компонентов системы добавочного водообеспечения относительно стандартных модулей капельного орошения и некоторыми конструктивными особенностями ее исполнения.

По положению в составе технической системы выделены два варианта реализации. Один из вариантов предполагает централизованное исполнение, тогда как другой ориентирован на децентрализованные, а в ряде случаев – и на распределенные конструкции.

Конструктивные особенности на настоящий момент включают два возможных варианта реализации. Это реализация в составе стандартных модулей системы, и внешнее исполнение с организацией водонакопителя. Реализация функции в составе стандартных модулей системы предполагает, что никаких принципиальных конструктивных изменений в систему не вносится. Гидравлический расчет системы комбинированного орошения в этом случае ведется на максимальное водопотребление, которое возможно при совокупной работе всех типов водовыпусков. Это существенно увеличивает материалоемкость системы, а также, например, в случае с регулированием микроклимата, требует практически непрерывной ее работы. Центральная насосная станция и все водоводы системы находятся в рабочем режиме и в том случае, когда нужды в проведении увлажнительных поливов нет. Существенно усложняется задача оптимального комплектования гидромодуля системы, высоко вероятными становятся все большие пики водопотребления. Поиск решения этой проблемы ведется с момента изготовления первого опытного образца системы комбинированного орошения. Одним из принципиальных решений проблемы является внешнее исполнение системы добавочного водообеспечения с организацией водонакопителей.

Таблица 3 – Варианты реализации конструкций для дополнительного регулирования водного потока гидромелиоративной системы комбинированного типа

Table 3 – Options for the implementation of structures for additional regulation of the water flow of the irrigation and drainage system of the combined type

Функциональный элемент / Element	Конструктивный признак / Constructive feature	Варианты реализации / Implementation options
Система добавочного водообеспечения / Additional water supply system	5.1 Положение в составе технической системы / Execution	5.1.1 Централизованное исполнение / Centralized 5.1.2 Децентрализованное исполнение / Decentralized
	5.2 Конструктивные особенности / Design features	5.2.1 Реализация в составе стандартных модулей системы / Using standard modules 5.2.2 Внешнее исполнение с организацией водонакопителя / External design with water storage
Система дифференцированных напоров / Differential head system	6.1 Положение в составе технической системы / Execution	6.1.1 Централизованное исполнение / Centralized 6.1.2 Децентрализованное исполнение / Decentralized
	6.2 Конструктивные особенности / Design features	6.2.1 Расширение функционала основной насосной системы в плане обеспечения дифференцированных напоров / Regulation by the main pumping station 6.2.2 Использование регуляторов давления / Using pressure regulators 6.2.3 Использование дополнительного насосного оборудования / Using additional pumping equipment

Еще одним, специфичным для конструкций комбинированного орошения функциональным элементом является система обеспечения дифференцированных напоров. Необходимость дифференцирования давления воды в системе в конструкциях комбинированного орошения определяется разными рабочими напорами, с которыми работают водовыпуски разных типов. Например, рабочее давление воды для нормального функционирования дождевальных насадок в 1,5-4 раза больше, чем при капельном орошении. Рабочие напоры для аэрозольного орошения могут быть еще выше, чем при дождевании. Различия в рабочих напорах таких водовыпусков настолько велики, что требуется ступенчатое изменение давление воды в системе. Относительно этого функционального элемента системы комбинированного орошения выделены два конструктивных признака, разработка вариантов реализации которых может быть наиболее перспективна. Это положение в составе технической системы и конструктивные особенности системы дифференцирования напоров.

По положению в составе технической системы выделены два варианта реализации конструктивного признака. Это централизованное исполнение, когда система обеспечения дифференцированных напоров непосредственно связана с конструкцией и возможными режимами работы основной насосной станции, и децентрализованное исполнение, когда регулирование напоров осуществляется сегментарно, непосредственно в поливных модулях.

Конструктивные особенности включают три списочных варианта реализации. Первый из них предполагает расширение функционала основной насосной системы для обеспечения дифференцированных напоров. Такое конструктивное решение возможно только в рамках централизованного исполнения системы. Использование регуляторов давления, – еще один из вариантов реализации конструктивного признака. Исполнение

системы в этом случае может быть как централизованное, так и децентрализованное. Следует понимать, что регуляторы давления обеспечивают возможность контролируемого снижения напора в заданном (обслуживаемом) сегменте. При этом насосная станция должна быть ориентирована на создание максимальных напоров, необходимых при работе системы в пиковых режимах.

Еще один, на наш взгляд перспективный вариант реализации системы дифференцированных напоров предполагает использование дополнительного насосного оборудования. Это исключительно периферийное исполнение, в котором вспомогательное насосное оборудование устанавливается непосредственно перед обслуживаемым сегментом системы. Дополнительное насосное оборудование ориентировано на создание повышенного напора при работе системы в пиковых режимах и включается по мере необходимости.

Система фильтрации воды является важным неотъемлемым функциональным элементом комбинированных систем орошения (таблица 4). Повышенные требования к качеству воды предъявляют технологии капельного орошения и мелкодисперсного дождевания, интегрированные в единую техническую систему. Это предполагает и высокие требования к надежности, а также эффективности процесса фильтрации воды.

Таблица 4 – Варианты реализации конструкций модуля водоподготовки технической системы для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза

Table 4 – Options for the implementation of designs of the water treatment module of the technical system for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenosis

Функциональный элемент / Element	Конструктивный признак / Constructive feature	Варианты реализации / Implementation options
Система фильтрации / Filtration system	7.1 Положение в составе технической системы / Execution	7.1.1 Централизованное исполнение / Centralized 7.1.2 Децентрализованное исполнение / Decentralized
	7.2 Конструктивные особенности / Design features	7.2.1 Песчано-гравийный фильтр / Sand and gravel 7.2.2 Гидроциклон / Hydrocyclone 7.2.3 Сетчатый фильтр / Strainer 7.2.4 Дисковый фильтр / Disc filter 7.2.5 Отстойник / Sump 7.2.6 Многоступенчатая система с комбинацией конструкций по пункту 7.2.1-7.2.5 / Combination according to 7.2.1-7.2.5
Гидроподкормщик / Hydraulic feeder	8.1 Положение в составе технической системы / Execution	8.1.1 Централизованное исполнение / Centralized 8.1.2 Децентрализованное исполнение / Decentralized
	8.2 Взаимосвязи с технической системой / Relationship with the technical system	8.2.1 Стационарное исполнение с интеграцией в систему посредством запорно-регулирующей арматуры / Stationary execution 8.2.2 Мобильный гидроподкормщик с унифицированным интерфейсом присоединения к технической системе / Mobile hydraulic feeder
	8.3 Конструктивные особенности / Peculiarities	8.3.1 С трубкой Вентури / With venturi tube 8.3.2 С насосом-дозатором / With metering pump

По положению в составе технической системы этот конструктивный элемент имеет два варианта реализации. Станция фильтрации воды может быть установлена централизованно и обслуживать всю систему в целом. Вариант имеет как преимущества, так и недо-

статки. К последним следует отнести возможность формирования органических образований непосредственно в трубопроводах системы и засорения водовыпусков системы даже при исправно работающей центральной станции. Децентрализованное исполнение предполагает, что система фильтрации может быть разнесена в пространстве. Это могут быть полнофункциональные фильтрационные комплексы, устанавливаемые непосредственно перед обслуживаемым сегментом, могут быть дополнительные фильтрационные элементы, обеспечивающие доочистку воды на периферии в режиме совместной работы с централизованно установленной фильтрационной станцией.

Конструктивные особенности устройства станции водоочистки для систем комбинированного орошения включают возможности использования песчано-гравийного фильтра, гидроциклона, сетчатого фильтра, дискового фильтра, отстойника, а также различные комбинации перечисленных конструкций с организацией многоступенчатого фильтрационного узла. Гидроподкормщик – еще один функциональный элемент, существенно расширяющий возможности современных гидромелиоративных систем. Конструкции комбинированных систем орошения, помимо регулирования гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков, в значительной мере расширяют функциональные возможности в плане проведения удобрительных поливов. Комбинация различных способов и технологий орошения позволяет использовать сочетание традиционных удобрительных поливов с, например, некорневыми подкормками, приповерхностным внесением микроэлементов и др.

Конструктивные признаки этого функционального элемента, для которых в настоящем исследовании предложены различные варианты реализации, включают положение в составе технической системы, взаимосвязи с технической системой, конструктивные особенности.

По положению в составе технической системы рассматривается централизованный и децентрализованный варианты исполнения гидроподкормщика. Централизованное исполнение гидроподкормщика может быть оправдано на относительно небольших сегментах гидромелиоративных систем комбинированного орошения. Следует понимать, что рабочий раствор при этом поступает сразу во все одновременно работающие модули; поэтому режимы работы централизованного гидроподкормщика и полива различных групп сельскохозяйственных культур необходимо согласовывать. Недостатком децентрализованного исполнения гидроподкормщика является усложнение конструкции, необходимость устройства дополнительных интерфейсов с соединительными и запорно-регулирующими конструкциями, дублирование функционального элемента.

Последний из указанных недостатков может быть преодолен за счет использования мобильного гидроподкормщика с унифицированным интерфейсом присоединения к технической системе. Классической альтернативой такому варианту реализации являются гидроподкормщики стационарного типа.

Относительно конструктивных особенностей гидроподкормщика в настоящий момент предложены два списочных варианта реализации. Это гидроподкормщик с трубкой Вентури и с насосом-дозатором. Последний вариант является более технологичным и обеспечивает наиболее точное дозирование питательного раствора, однако требует наличия дополнительного энергетического источника для привода.

Водоводы проводящей оросительной сети разных порядков завершают список основных функциональных элементов, перспективных в плане совершенствования конструкций гидромелиоративных систем нового поколения с расширенными возможностями по регулированию гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков (таблица 5). По этой позиции в настоящее

время выделены два конструктивных признака, для которых предложены различные варианты реализации. Это конструктивные особенности функционального элемента и конструкционные материалы, применяющиеся для его овеществления.

Таблица 4 – Варианты реализации водоводов проводящей оросительной сети технической системы для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза

Table 4 – Options for the implementation of water pipelines of a conducting irrigation network of a technical system for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenosis

Функциональный элемент/ Element	Конструктивный признак / Constructive feature	Варианты реализации / Implementation options
Водоводы проводящей оросительной сети разных порядков / Conducting irrigation pipelines	9.1 Конструктивные особенности / Design features	9.1.1 Каналы с противофильтрационной облицовкой / Channels with anti-filtration lining 9.2.2 Трубопроводы / Pipelines
	9.2 Конструкционные материалы / Construction materials	9.2.1 Бетон / Concrete 9.2.2 Полимеры / Polymers 9.2.3 Сталь / Steel 9.2.4 Композиты / Composites

Предполагается возможность использования каналов с противофильтрационной облицовкой либо закрытых водоводов – водопроводящих трубопроводов. Необходимо учитывать, что использование открытой оросительной сети, помимо известных потерь воды и экологических рисков, связано с необходимостью устройства совокупности насосных станций, обеспечивающих создание рабочих напоров непосредственно в исполнительных модулях системы. Использование трубопроводов позволяет осуществлять централизованную запитку системы с использованием одной или нескольких энергетических установок. Кроме того, использование трубопроводов предпочтительнее, так как предотвращает непроизводительные потери воды на испарение в процессе транспортировки, исключает попадание различного рода примесей в процессе транспортировки воды, снижает экологические риски для окружающей среды.

По конструкционным материалам в список возможных вариантов реализации внесены бетон (это, преимущественно, открытая оросительная сеть), сталь (закрытая оросительная сеть), полимеры и композиты (могут использоваться как при устройстве открытой, так и закрытой оросительной сети). Одним из наиболее перспективных и, что немаловажно, реализуемых сегодня на практике вариантов, является использование полимерных трубопроводов для устройства закрытой водопроводящей оросительной сети.

Выводы. Синтез и анализ комбинаций возможных вариантов реализации функциональных элементов технической системы является основой одного из наиболее эффективных методов создания технических решений – метода морфологической комбинаторики. Метод хорошо формализуем, его можно без потерь трансформировать в машинную алгоритмику и в значительной мере автоматизировать процесс автоматизированного поиска оптимальных технических решений. Основой и материалом для работы подобных алгоритмов являются варианты реализации функциональных элементов технической системы, разработанные и систематизированные относительно совокупности основных конструктивных признаков. Настоящим исследованием предложена система такого рода вариантов реализации для основных функциональных элементов гидромелиоративной системы, обеспечивающей расширение технологических возможностей по регулированию гидротермического режима агрофитоценозов и комплексной протек-

ции посевов от климатических рисков. Основными функциональными элементами гидромелиоративной системы, выделенными в качестве наиболее перспективных для технического совершенствования и создания новых эффективных конструкций, являются водовыпуски капельного и дождевального типа, поливной трубопровод, распределительный трубопровод, система добавочного водообеспечения, система дифференцированных напоров, система фильтрации, гидропокойщик, водоводы проводящей оросительной сети разных порядков. Варианты реализации конструктивных признаков по этим, основным функциональным элементам совершенствуемых конструкций гидромелиоративной системы заданы в двух основных форматах. Первый из них – списочный, когда варианты реализации представлены в форме последовательным образом организованного списка, а каждый элемент списка – это какое-то принципиальное конструктивное решение относительно рассматриваемого функционального элемента. Второй формат интервальный, когда какой-либо количественный признак функционального элемента варьируется от минимума до максимума с определенным шагом. Предложенная система включает как известные и уже апробированные варианты конструктивных решений, так и потенциально перспективные варианты реализации, только еще определяющие требования к создаваемым конструктивным решениям. Предложенная система вариантов реализации функциональных элементов технической системы ни в коей мере не позиционируется как окончательная, но является открытой системой, предполагающей непрерывное пополнение вновь разрабатываемыми техническими решениями.

Библиографический список

1. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Технологические функции технической системы для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 307-319.
2. Дубенок Н. Н., Майер А. В. Разработка систем комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1 (49). С. 9-19.
3. Закономерности энергомассообмена в среде "почва-растение-атмосфера" в современных климатических и хозяйственных условиях использования орошения / О. И. Жовтоног, Л. А. Филиппенко, В. В. Полищук, А. Ф. Салюк, А. В. Хоменко // Меліорація і водне господарство. 2018. № 2 (108). С. 19-28.
4. Курбанов С. А., Майер А. В., Амшонов Б. Х. Система внутрпочвенного мелкоструйчатого локального орошения многолетних насаждений в сочетании с аэрозольным увлажнением // Проблемы развития АПК региона. 2018. № 3 (35). С. 51-55.
5. Майер А. В. Управление гидротермическим режимом и физиологическая активность плодовых культур // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 4 (76). С. 65-70.
6. Мелихова Е. В. Техника комбинированного орошения овощных культур // Овощи России. 2019. № 2 (46). С. 84-87.
7. Мелихова Е. В., Бородычев В. В., Рогачев А. Ф. Функционально-морфологический анализ и совершенствование технических средств комбинированного орошения // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 4. С. 30-36.
8. Рыжак А. Н. Универсальная структурно-компоновочная схема системы капельного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 1 (65). С. 107-111.
9. Терпигорев А. А., Гжибовский С. А. Технические средства и конструкция автоматизированной стационарно-сезонной системы надкранового увлажнительного дождевания // Тагирский вестник аграрной науки. 2017. № 3 (11). С. 124-131.

10. A smart capillary barrier-wick irrigation system for home gardens in arid zones / A. Al-Mayahi, S. Al-Ismaïly, A. Al-Maktoumi, H. Al-Busaidi, A. Kacimov, R. Janke, J. Bouma, J. Šimůnek // *Irrigation Science*. 2020. V. 38. N. 3. P. 235-250.
11. Brody M., Golub A. A., Eshchanov B. R. Approaches to optimize Uzbekistan's investment in irrigation technologies // *Economic Policy*. 2020. V. 15. N. 2. P. 136-147.
12. Communar G., Friedman S. P. Relative water uptake rate as a criterion for trickle irrigation system design: i. coupled source-sink steady water flow model // *Soil Science Society of America Journal*. 2010. V. 74. N. 5. P. 1493-1508.
13. Hasan F. U., Fatima B., Heaney-Mustafa S. A critique of successful elements of existing on-farm irrigation water management initiatives in Pakistan // *Agricultural Water Management*. 2021. V. 244. N. 106598.
14. Lazareva T. Modeling of the content of the creative learning process by the improving of engineers' equipment // *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. 2012. N. 37. P. 81-88.
15. Schifris S. Inhibition of root penetration in subsurface driplines by impregnating the drippers with copper oxide particles // *Irrigation Science*. 2015. V. 33. N. 4. P. 319-324.
16. Shentsova O. M. The heuristic methods in engineering and design as a trend in modern architectural education // *Modern Science*. 2019. N. 1. P. 136-141.

Conclusions. The synthesis and analysis of combinations of possible options for the implementation of functional elements of a technical system is the basis of one of the most effective methods for creating technical solutions - the method of morphological combinatorics. The method is well formalized, it can be transformed without loss into machine algorithms and to a large extent automate the process of automated search for optimal technical solutions. The basis and material for the operation of such algorithms are options for the implementation of functional elements of a technical system, developed and systematized with respect to a set of basic design features. This study proposes a system of this kind of implementation options for the main functional elements of the irrigation and drainage system, providing an expansion of technological capabilities for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenoses and complex protection of crops from climatic risks. The main functional elements of the irrigation and drainage system, identified as the most promising for technical improvement and the creation of new effective structures, are drip and sprinkler outlets, an irrigation pipeline, a distribution pipeline, an additional water supply system, a differential pressure system, a filtration system, a hydraulic feeder, water conduits of a conducting irrigation network of various orders. The options for the implementation of design features for these, the main functional elements of the improved structures of the irrigation and drainage system are given in two main formats. The first of them is a list one, when the implementation options are presented in the form of a sequentially organized list, and each element of the list is some kind of fundamental design decision regarding the considered functional element. The second format is interval format, when any quantitative feature of a functional element varies from minimum to maximum with a certain step. The proposed system includes both well-known and already tested options for design solutions, and potentially promising options for implementation, which are still defining the requirements for the created design solutions. The proposed system of options for the implementation of functional elements of a technical system is in no way positioned as final, but is an open system that assumes continuous replenishment of newly developed technical solutions.

References

1. Borodychev V. V., Lytov M. N. Tehnologicheskie funktsii tehnikeskoy sistemy dlya regulirovaniya gidrotermicheskogo rezhima agrofitocenoza i kompleksnoy protektsii posevov ot klimaticheskikh riskov // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2020. № 2 (58). P. 307-319.

2. Dubenok N. N., Majer A. V. Razrabotka sistem kombinirovannogo orosheniya dlya poliva sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 1 (49). P. 9-19.
3. Zakonomernosti jnergomassoobmena v srede "pochva-rastenie-atmosfera" v sovremennyh klimaticheskikh i hozyajstvennyh usloviyakh ispol'zovaniya orosheniya / O. I. Zhovtonog, L. A. Filippenko, V. V. Polischuk, A. F. Salyuk, A. V. Homenko // Melioraciya i vodne gospodarstvo. 2018. № 2 (108). P. 19-28.
4. Kurbanov S. A., Majer A. V., Amshokov B. H. Sistema vnutripochvennogo melkostrujchatogo lokal'nogo orosheniya mnogoletnih nasazhdenij v sochetanii s a]rozol'nym uvlazhneniem // Problemy razvitiya APK regiona. 2018. № 3 (35). P. 51-55.
5. Majer A. V. Upravlenie gidrotermicheskim rezhimom i fiziologicheskaya aktivnost' plodovyh kul'tur // Puti povysheniya jeffektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2019. № 4 (76). P. 65-70.
6. Melihova E. V. Tehnika kombinirovannogo orosheniya ovoschnyh kul'tur // Ovoschi Rossii. 2019. № 2 (46). P. 84-87.
7. Melihova E. V., Borodychev V. V., Rogachev A. F. Funkcional'no-morfologicheskij analiz i sovershenstvovanie tehniceskikh sredstv kombinirovannogo orosheniya // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2018. № 4. P. 30-36.
8. Ryzhakov A. N. Universal'naya strukturno-komponovoch'naya sxema sistemy ka-pel'nogo orosheniya // Puti povysheniya jeffektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2017. № 1 (65). P. 107-111.
9. Terpigorev A. A., Gzhibovskij S. A. Tehnicheskie sredstva i konstrukciya avtomatizirovannoj stacionarno-sezonnoj sistemy nadkronovogo uvlazhnitel'nogo dozhdevaniya // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2017. № 3 (11). P. 124-131.
10. A smart capillary barrier-wick irrigation system for home gardens in arid zones / A. Al-Mayahi, S. Al-Isma'ili, A. Al-Maktoumi, H. Al-Busaidi, A. Kacimov, R. Janke, J. Bouma, J. Šimůnek // Irrigation Science. 2020. V. 38. N. 3. P. 235-250.
11. Brody M., Golub A. A., Eshchanov B. R. Approaches to optimize Uzbekistan's investment in irrigation technologies // Economic Policy. 2020. V. 15. N. 2. P. 136-147.
12. Communar G., Friedman S. P. Relative water uptake rate as a criterion for trickle irrigation system design: i. coupled source-sink steady water flow model // Soil Science Society of America Journal. 2010. V. 74. N. 5. P. 1493-1508.
13. Hasan F. U., Fatima B., Heaney-Mustafa S. A critique of successful elements of existing on-farm irrigation water management initiatives in Pakistan // Agricultural Water Management. 2021. V. 244. N. 106598.
14. Lazareva T. Modeling of the content of the creative learning process by the improving of engineers' equipment // Проблеми інженерно-педагогічної освіти. 2012. N. 37. P. 81-88.
15. Schiffris S. Inhibition of root penetration in subsurface driplines by impregnating the drippers with copper oxide particles // Irrigation Science. 2015. V. 33. N. 4. P. 319-324.
16. Shentsova O. M. The heuristic methods in engineering and design as a trend in modern architectural education // Modern Science. 2019. N. 1. P. 136-141.

Authors Information:

Borodychev Viktor Vladimirovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Volgograd Branch of the Federal State Budget Scientific Institution All-Russian Scientific Research Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova (400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

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

Lytov Michail Nikolaevich, Leading Researcher, Volgograd Branch of the Federal State Budget Scientific Institution All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation A.N. Kostyakova (400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), Candidate of Agricultural Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825> LytovMN@yandex.ru

Информация об авторах:

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> LytovMN@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-33

**TO THE QUESTION ABOUT SAPROPELS AND THEIR INFLUENCE ON WATER
PHYSICAL PROPERTIES IN MIXTURES WITH SAND DURING CONSTRUCTION
AND OPERATION OF ENGINEERING AND RECLAMATION SYSTEMS**

V.S. Bocharnikov¹, A.A. Borovikov²

¹*Volgograd State Agrarian University, Volgograd*

²*Belarusian State Agricultural Academy, Gorki*

Received 18.09.2021

Submitted 20.11.2021

Summary

The article deals with freshwater silts – sapropels, their water-physical properties, and the influence of sapropel content on water-physical properties in sand-sapropel mixtures. The properties of mixtures with mineral soils are compared. Analysis of the compression dependencies of various sapropels showed that their maximum molecular moisture capacity is not lower than that of Montmorillonite clays, which indicates the presence of a large number of particles capable of molecular binding water in large quantities. This made it possible to conclude that it is possible, when calculating the suffusion stability, to increase the size of solid particles by the size of physically bound water films.

Abstract

Introduction. The use of local materials in the construction of hydraulic structures of reclamation systems during their construction and reconstruction instead of expensive imported montmorillonite clays will significantly reduce their cost. **Object.** The objects of research are sapropels, sands and mixtures based on them. **Materials and methods.** Standard methods were used to determine the water-physical properties of sapropels, sands and their mixtures. **Results and conclusions.** Analysis of compression dependencies and calculations of the phase composition of sapropels showed that their maximum molecular moisture capacity is not lower than that of montmorillonite clays, which indicates the presence of molecularly active particles capable of binding water in large quantities. Highly active particles of the organic component of sapropels bind and retain much more water in the soil structure than mineral particles of similar size. This makes it possible to recommend the use of sapropels instead of imported montmorillonite clays, as well as to increase the particle size (reduce the pore size) by the size of the molecular water film when testing mixtures for filtration strength.

Key words: *sapropel, sand-sapropel mixture, water-physical properties.*

Citation. Bocharnikov V.S., Borovikov A.A. To the question about sapropels and their influence on water physical properties in mixtures with sand during construction and operation of engineering and reclamation systems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 324-334 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-33.

Author's contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare no conflicts of interest.