Author's Information

Nesmiyanov Ivan Alekseevich, Vice-Rector for Academic Affairs, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, of the Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400002), tel. +7 (8442) 41-18-49. E-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

Nikolaev Maksim Evgenevich, Head of the Laboratory of the Department of "Mechanics" of the Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400002), tel. +7 (8442) 41-18-49. E-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru

Информация об авторах

Несмиянов Иван Алексеевич, проректор по учебной работе, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), тел. +7 (8442) 41-18-49. E-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

Николаев Максим Евгеньевич, заведующий лабораторией кафедры "Механика" ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), тел. +7 (8442) 41-18-49. E-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37

COMPUTER MODELING AND PARAMETERIZATION IN MathCad ENVIRONMENT OF HUMIDIFICATION CONTOURS DURING DRIP IRRIGATION

A. F. Rogachev, E.V. Melikhova

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 09.09.2021

Submitted 08.11.2021

Summary

Theoretical approaches and software implementation of parameterization of humidification contours in drip irrigation, based on computer modeling methods in MathCad environment, are considered. MathCad worksheets implementing numerical calculations on the example of experimental data are presented.

Abstract

Introduction. The variety and anisotropy of the agrophysical characteristics of the soil, including the dependence of water diffusion parameters on soil moisture, as well as the significant influence of the composition and characteristics of the soil complicate the analytical description of the hydrophysical processes of moisture transfer during drip irrigation, which determine the evolution of the moisture field. Therefore, the problems of analytical description of humidification areas based on the results of experimental studies remain relevant. **Materials and methods.** The aim of the study is to obtain an approximating analytical dependence for a reliable description of the humidity values experimentally determined at characteristic points of the humidification area. The well-known methods of graphic and analytic construction of humidification applets and their classification by the configuration of the humidification field were supplemented by computer modeling and parameterization in MathCad using the built-in *Minimize* (f, a, b, zc) function. Two- and three-parameter descriptions of the humidification field configuration were investigated. **Results and conclusions.** The analysis made it possible to formulate the theoretical prerequisites for the modified classification of humidification contours and to substantiate the basic model in the form of a truncated ellipsoid of rotation. The relationship between the eccentricity of the ellipse and the elongation coefficient of its shape is established. A method of parametrization of an ellipse based on its canonical equation in the environment of mathematical computer modeling is proposed. The estimation of the error of this approach based on experimental data was carried out and the parameters of the developed technical solution «Method of cultivation of root crops with combined irrigation and a device for its implementation» (patent of the Russian Federation No. 2643730) were evaluated. This made it possible to determine the design parameters and optimize the placement of drippers and sprinklers of fine sprinkling. A modified classification of humidification contours in drip irrigation is proposed by the magnitude of the eccentricity of elliptical generators and the dependence of the elongation coefficient of the contour generator on the values of the ellipse eccentricity is constructed. A method of computer modeling of humidification contours in the vertical plane for various irrigation methods, including combined with a combination of drip and fine-dispersed, is proposed. A method has been developed to substantiate the optimized geometry of the location of irrigation droppers, providing overlap of the humidification contours.

Key words: drip irrigation, humidification circuit, computer modeling, parametrization of dependencies, MathCad.

Citation: Rogachev A.F., Melikhova E.V. Computer modeling and parameterization in Mathcad environment of humidification contours during drip irrigation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 367-378 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37.

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 631.4:519.85

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ В СРЕДЕ MathCad КОНТУРОВ УВЛАЖНЕНИЯ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

А. Ф. Рогачев¹, доктор технических наук, профессор,
Е. В. Мелихова¹, доктор технических наук, доцент

¹ Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 09.09.2021

Дата принятия к печати 08.11.2021

Актуальность. Многообразие и анизотропия агрофизических характеристик почвы, включая зависимость параметров диффузии воды от влажности почвы, а также существенное влияние состава и характеристик почвы усложняют аналитическое описание гидрофизических процессов влагопереноса при капельном орошении, которые определяют эволюцию поля влажности. Поэтому проблемы аналитического описания областей увлажнения по результатам экспериментальных исследований сохраняют свою актуальность. **Методы исследований.** Целью исследования является получение аппроксимирующей аналитической зависимости для достоверного описания значения влажности, экспериментально определяемой в характерных точках области увлажнения. Известные методики графоаналитического построения апплет контуров увлажнения и их классификации по конфигурации поля увлажнения были дополнены компьютерным моделированием и параметризацией в среде MathCad с применением встроенной функции *Minimize* (f, a, b, zc). Исследовались двух- и трехпараметрические описания конфигурации поля увлажнения. **Результаты и обсуждение.** Проведенный анализ позволил сформулировать теоретические предпосылки модифицированной классификации контуров увлажнений и обосновать базовую модель в форме усеченного эллипсоида вращения. Установлена взаимосвязь эксцентриситета эллипса и коэффициента вытянутости его формы. Предложена методика параметризации эллипса на основе его канонического уравнения в среде математического компьютерного моделирования. Выполнена оценка погрешности такого подхода по экспериментальным данным и произведена оценка параметров разработанного технического решения «Способ возделывания корнеплодов при комбинированном орошении и устройство для его осуществления» (патент РФ № 2643730). Это позволило определять проектные параметры и оптимизировать размещение капельниц и оросителей мелкодисперсного дождевания. **Выводы.** Предложена модифицированная классификация контуров увлажнения при капельном орошении по величине эксцентриситета эллиптических образующих и построена зависимость коэффициента вытянутости образующей контура от значений эксцентриситета эллипса. Предложена методика компьютерного моделирования контуров увлажнения в вертикальной плоскости для различных способов орошения, в т. ч. комбинированного при сочетании капельного и мелкодисперсного. Разработан способ обоснования оптимизированной геометрии расположения оросительных капельниц, обеспечивающий перекрытие контуров увлажнения.

Ключевые слова: капельное орошение, контуры увлажнения, компьютерное моделирование, параметризация зависимостей, MathCAD.

Цитирование: Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В. Компьютерное моделирование и параметризация в среде MathCAD контуров увлажнения при капельном орошении. *Известия НВ АУК.* 2021. 4(64). 367-378. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37.

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. Проблема математического моделирования процесса влагопереноса в двух плоскостях обусловлена необходимостью ресурсосбережения в аграрном производстве при обеспечении требуемого поливного режима растений при проектировании параметров оросительных систем для [8, 11, 14]. Для капельного орошения (КО), являющегося одним из наиболее ресурсосберегающих, определяющими являются конфигурации областей увлажнения, меняющиеся во времени. Многообразие и анизотропия агрофизических характеристик почвы, включая зависимость параметров диффузии воды от влажности почвы, а также существенное влияние состава и характеристик почвы усложняют аналитическое описание гидрофизических процессов влагопереноса при капельном орошении, которые определяют эволюцию поля влажности.

За последние годы в публикациях российских и зарубежных ученых Ахмедова А. Д. [1], Бочарникова В. С. [17], Кружилина И. П. [17], Пронько Н. А. [2], Храброва М. Ю. [7], Фальковича А. С. [4], Шкуры В. Н. и Штанько А. С. [9], Щедрина В. Н. [11], Ismayilov A., Mikailsoy F. [13], Эдвардса (С. Т. de Wit, J. H. B. Thornley, Charles Edwards) исследованы различные аспекты оценки и моделирования влажности посевов, включая современные дистанционные и спектральные методы [8, 11].

Методика и вопросы графоаналитического построения апплет контуров увлажнения в плане их классификации [9] подробно рассмотрены, например, А. С. Штанько, В. Н. Шкурой (рисунок 1).

Рисунок 1 – Типизация известных конфигураций контуров увлажнения (по материалам [9])

Figure 1 – Typification of known configurations of humidification circuits (based on materials [9])

Представленные на рисунке 1 типы изоплет влажности для капельного орошения в различных почвенно-климатических условиях подробно исследовались в работах 1) О. Е. Ясониди, Б. Б. Шумакова, 2) А. В. Шуравилина, О. Н. Карпенко, 3) А. Д. Ахмедова, 4) М. Ю. Храброва, 5) В. В. Бородычева, 6) В. С. Бочарникова, Д. О. Завадского. Предложенный А. С. Штанько и В. Н. Шкурой [9, 10] подход к моделированию области увлажнения основан на ее глубине $h_{\text{кон}}$, как базовом параметре области, а остальные размеры нормированы по значению $h_{\text{кон}}$. В работе [10] предлагался графоаналитический метод описания контуров увлажнения, который использует эмпирические зависимости:

$$(d_{\text{кон}} / h_{\text{кон}})_{W_{\text{г/ч}}} = 0,51 + 0,009 \cdot W_{\text{г/ч}}, \quad (1)$$

где $h_{\text{кон}}$ – глубина области увлажнения, м; $d_{\text{кон}}$ – расчетный (максимальный) диаметр области увлажнения, м.

Рисунок 2 – Типичный вид эмпирических изоплет влажности контуров увлажнения [9]:

а) конфигурация вертикального сечения эллипсоида увлажнения; б) расчетная схема области увлажнения

Figure 2 – A typical view of empirical moisture isopleths of humidification contours [9]:

а) configuration of the vertical section of the humidification ellipsoid; б) calculation scheme of the humidification area.

Тем не менее, проблема аналитического описания областей увлажнения по результатам экспериментальных полевых и лабораторных исследований, параметризации получаемых зависимостей с использованием различных математических и компьютерных подходов [6] сохраняет свою актуальность, поскольку результаты исследований позволяют более строго обосновывать ресурсосберегающие режимы орошения и нормы поливов.

Материалы и методы. Целью исследования является получение аппроксимирующей аналитической зависимости для достоверного описания значения влажности, экспериментально определяемой в характерных точках области увлажнения.

Предполагаем, что ось Oz направлена в глубину, а для моделируемого случая изотропной модели почвы впитывание оросительной воды по координатным осям Ox и Oy эквивалентно.

Рисунок 3 – Геометрические параметры пространственной области увлажнения в форме эллипсоида вращения

Figure 3 - Geometric parameters of the spatial humidification area in the form of an ellipsoid of rotation

Для случая больших расходов q воды из водовыпуска ($q > 4...6$ л/ч) контур увлажнения можно с достаточной степенью точности аппроксимировать уравнением усеченного эллипсоида вращения (рисунок 2):

$$\frac{x^2 + y^2}{(0.5B)^2} + \frac{z^2}{a_2^2} = 1, \quad (2)$$

где a_2 – глубина от центра эллипсоида до нижней границы увлажнения, м.

Значения полуосей моделирующих эллипсоидов увлажнения во времени изменяются, поскольку границы фронта увлажнения перемещаются в пространстве: $a_2(\tau)$ – под водовыпуском в вертикальном направлении, м; $r(\tau)$ – на уровне водовыпуска в горизонтальном направлении, м; $B(\tau)$ – наибольший диаметр промачивания, м. Последовательные сечения контуров по глубине области увлажнения представляют собой семейство окружностей с радиусами $r(\tau)$, изменяющимися по времени.

Неизвестные параметры эллипсоида определялись по экспериментальным данным методом наименьших квадратов, поля увлажнения были дополнены компьютерным моделированием и параметризацией в среде MathCad с применением ее встроенной функции Minimize (f, a, b, zc). Для повышения достоверности результатов компьютерного оценивания параметров предварительно задавался вектор начальных приближений (a_0, b_0, zc_0), значения которого выбирались по результатам визуальной оценки расположения изолиний, близких к экспериментальным.

Результаты и обсуждение. *Теоретические предпосылки модифицированной классификации контуров увлажнений.* На основе изложенной выше классификации конфигураций контуров увлажнения (таблица 1), используемых при характеристике среднесуглинистых светло-каштановых почв, типичных для волгоградского региона, был принят усеченный эллипсоид вращения типа 1), методика компьютерного моделирования и параметризация которого подробно рассмотрена ниже.

Форма пространственной области увлажнения определяется величиной расхода водовыпусков, температурой воздуха и гранулометрическим составом почв.

Таблица 1 – Предложенная геометрическая классификация контуров увлажнения

Table 1 – Proposed geometric classification of humidification contours

Класс / Class	Вид конфигурации / Type of configuration	Характеристика / Characteristic	Схема на рис. 1 / Diagram in Fig. 1
Элементарные / Elementary	Эллипсоид / Ellipsoid	Усеченный эллипсоид вращения / Truncated ellipsoid of rotation	1
	Параболоид / Paraboloid	Параболоид вращения / Paraboloid	2
	Сфера / Sphere	Шар, усеченный шар / Ball, truncated ball	3
Комбинированные / Combined	Конус / Cone	Совмещенные конус + Усеченный конус / Combined Cone + Truncated Cone	4
	Конусно-цилиндрический / Cone-cylindrical	конус + Цилиндр / Cone-cylindrical	5
	Конусно-гиперболический / Cone-hyperbolic	Гиперболоид вращения + Усеченный конус / Hyperboloid of rotation + Truncated cone	6

Контур увлажнения в вертикальном сечении представляет собой усеченный эллипс, вытянутый вдоль направления оси Oz . Вытянутость эллипса вдоль большей из осей отражает величина ε его эксцентриситета (рисунок 2), определяемого по определению зависимостью (3):

$$\varepsilon = \frac{c}{h} \quad c = \sqrt{h^2 - r^2}, \quad (3)$$

где c – фокальное расстояние, м; h – большая полуось эллипса, м; r – малая полуось эллипса, м.

Относительная величина h/r характеризует вытянутость эллипса.

Для случая, когда геометрический центр эллипса располагается в точке водовыпуска, справедливо соотношение:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{h^2 - r^2}}{h} = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{h}\right)^2},$$

отсюда получаем, что коэффициент вытянутости:

$$\frac{h}{r} = \sqrt{\frac{1}{1 - \varepsilon^2}}. \quad (4)$$

Для качественной характеристики степени вытянутости области увлажнения можно предложить следующие диапазоны эксцентриситета эллипсоида:

- при $0 \leq \varepsilon \leq 0,5$ – близкая к окружности
- при $0,5 \leq \varepsilon \leq 0,75$ – средняя вытянутость;
- при $0,75 \leq \varepsilon \leq 1$ – сильная вытянутость.

Экспериментальное оценивание геометрических параметров областей увлажнения. Анализировались координаты характерных точек изолиний влажности, изоплета которой характеризуется анизотропией поля влажности, при $W=80\%$ НВ, характерной для тяжелосуглинистых почв (рисунок 3). Это соответствует «хорошей» и «удовлетворительной» влагопроницаемости (по Качинскому Н. А.) при выражаемой асимметрии расположения изолиний.

Расчетные значения полуосей эллипса влажности определялись с учетом глубины увлажнения $h_{\text{кон}}$, радиуса области увлажнения $d_{\text{пов}}/2$ на поверхности почвы и наибольшего радиуса эллипсоида $d_{\text{кон}}$ (рисунок 2). Параметры эллипсоида обозначались согласно равенствам $h_{\text{кон}} = a + z_c$, $d_{\text{пов}}/2 = r_{\text{нов}}$, $d_{\text{кон}} = 2b$.

Координаты (x_i, z_i) соответствующих точек апплет использовались в качестве исходных данных компьютерного моделирования. Аналитические функции усеченных эллипсов для искомых зависимостей позволили получить зависимости в координатной форме, реализованные в математической среде Mathcad:

$$xr(zr) := p_2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{zr - p_3}{p_1} \right)^2}, \quad (5)$$

$$xr2(zr) := p1_2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{zr}{p1_1} \right)^2}, \quad (6)$$

где $xr(zr)$ – значения величин радиусов области увлажнения, соответствующих глубине zr , м; $p_1, p_2, p_3, p1_1, p1_2$ – компоненты векторов $\mathbf{p}$ и $\mathbf{p1}$, численно определяемые в среде MathCAD с использованием ее встроенной функции *Minimize* с аргументами (f, a, b, zc) .

Для параметризации уравнений эллипсов вводились целевые функции невязок f и fl (соответственно (7) при вертикальном смещении центра эллипса на величину z_c ; (8) – при отсутствии вертикального смещения центра эллипса):

$$f(a, b, zc) := \sum_{i=1}^n \left[\left[x_i - b \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{z_i - zc}{a} \right)^2} \right]^2 \right], \quad (7)$$

$$fl(a1, b1) := \sum_{i=1}^n \left[\left[x_i - b1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{z_i}{a1} \right)^2} \right]^2 \right]. \quad (8)$$

Фрагмент рабочего листа разработанной программы для численной оценки параметров границ влажности по экспериментальным данным в среде MathCAD («Компьютерное моделирование поля распределения влажности при капельном и комбинированном орошении сельскохозяйственных культур» / Мелихова Е. В. и др. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018619784) представлен на рисунке 4.

Проведенные численные расчеты в программе MathCAD с использованием ее встроенной функции *Minimize* (f, a, b, zc) показали высокую чувствительность к значениям предварительно задаваемого вектора начальных приближений (a_0, b_0, zc_0) . Для

обеспечения достоверных результатов компьютерного оценивания параметров можно рекомендовать принимать упомянутые значения, близкие к экспериментальным, получаемым по результатам визуальной оценки расположения изолиний апплет (рисунок 4).

Результаты компьютерного моделирования параметров границ контуров увлажнения приведены на рисунок 5.

Рисунок 4 – Задание начальных значений для запуска процедуры компьютерной параметризации контуров увлажнения

Figure 4 - Setting the initial values to start the procedure of computer parameterization of humidification circuits

Анализ погрешностей расчетных значений в программе MathCAD проводился по критериям средней относительной ошибки аппроксимации. Для фиксации результатов расчетов в требуемых точках можно рекомендовать использование инструмента «трассировка» среды MathCAD (рисунок 5). Численные расчеты позволили установить, что в диапазоне влажности почвы 75...100 % НВ относительные погрешности составили 9...18 %, при этом погрешность возрастала при уменьшении уровня влажности. Отметим, что в двух точках расчетное значение влажности по обеим моделям совпадает, например (0,09; 0, 23).

Значение относительной погрешности аппроксимации экспериментального определения влажности в анализируемых точках моделируемых областей увлажнения в среднем достигала 8...18 %. Поэтому рассчитанную погрешность аппроксимации уравнением эллипса экспериментальных значений контуров влажности можно считать допустимой.

С использованием описанной методики были обоснованы численные значения параметров разработанной авторами системы «Способ возделывания корнеплодов при комбинированном орошении и устройство для его осуществления» (патент РФ № 2643730, А 01G 1/00. А 01G 25/02, зарег. 05.02.2018.). Предложенное в описании к патенту расположение увлажнителей позволяет определять проектные параметры и оптимизировать размещение капельниц и оросителей мелкодисперсного дождевания, что повышает эффективность использования поливной воды.

Рисунок 5 – Фрагмент рабочего листа параметризации и визуализации контуров влажности

Figure 5 – A fragment of the worksheet for parameterization and visualization of moisture contours

Выводы:

1. Предложена модифицированная классификация контуров увлажнения при капельном орошении по величине эксцентриситета эллиптических образующих и построена зависимость величины коэффициента вытянутости образующей контура от значений эксцентриситета образующей эллипса.
2. Предложена методика компьютерного моделирования контуров увлажнения в вертикальной плоскости для различных способов орошения, в т. ч. комбинированного, включающего сочетание капельного и мелкодисперсного дождевания.
3. Разработан способ обоснования оптимизированной геометрии расположения оросительных капельниц, обеспечивающий перекрытие контуров увлажнения (патент РФ № 2643730, А 01G 1/00, А 01G 25/02, зарег. 05.02.2018.).

Библиографический список

1. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю. Контурь увлажнения почвы при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3 (270). С. 183-188.
2. Мелихова Е. В. Математическое моделирование процессов влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1. С. 228-234.
3. Обоснование водного режима почвы при капельном орошении семенных посадок картофеля в Нижнем Поволжье / Н. Н. Дубенок [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3. С. 18-26.
4. Причины вторичного засоления орошаемых почв Нижнего Поволжья и его прогнозирование на основе математического моделирования влагопереноса / А. С. Овчинников, Н. А. Пронько, А. С. Фалькович, В. В. Бородычев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С. 9-17.

5. Расчет поливных норм при капельном орошении в условия сухостепного Заволжья / Н. А. Пронько [и др.] // Основы рационального природопользования: материалы VI Национальной конференции с международным участием. Саратов, 2020. С. 55-59.
6. Рогачёв А. Ф. Параметризация эконометрических зависимостей методом наименьших модулей // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2011. № 3. С. 0421100034.
7. Храбров М. Ю., Губин В. К., Колесова Н. Г. Определение технологических параметров систем капельного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 1 (61). С. 132-136.
8. Цифровые технологии оптимизации параметров увлажнения расчетного слоя почвы / Д. А. Соловьев, В. В. Корсак, Г. Н. Камышова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2021. № 1. С. 86-89.
9. Штанько А. С., Шкура В. Н. Внутриконтурное распределение влажности почвы при капельном орошении // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 4 (28). С. 62-78.
10. Штанько А. С., Шкура В. Н. Способ графоаналитического построения очертания контуров капельного увлажнения почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 1 (29). С. 67-85.
11. Экспериментальное определение влажности почвы по гиперспектральным изображениям / В. В. Подлипов [и др.] // Компьютерная оптика. 2018. Т. 42. № 5. С. 877-884.
12. Influence of irrigation methods on agrophysical properties and productivity of dark chestnut soils of dry steppe on the left bank of the Volga river / V. Korsak [et al.] // Advances in Dynamical Systems and Applications. 2021. V. 16. № 1. P. 121-132.
13. Ismayilov A., Mikailsoy F. Mathematical models of fertility for the soils of Azerbaijan // Eurasian Journal of Soil Science. 2015. V. 4 (2). P. 118-125.
14. Melikhova E. V. Computer simulation and optimization of parameters of configuration of the contour of moistening under drip irrigation of agricultures // Studies in Computational Intelligence. 2019. V. 826. Pp. 1193-1201.
15. Neuromodeling in irrigation management for sustainable agriculture / D. Soloviev [et al.] // Advances in Dynamical Systems and Applications. 2021. V. 16. № 1. P. 159-170.
16. Rogachev A. F., Shokhnekh A. V., Melikhova E. V. Monitoring and Economic & Mathematical Modeling of Manufacture and Consumption of Agricultural Products as a Tool of Food Security Management // Revista Espacios. 2018. Vol. 39. № 01. Page 1.
17. Water pressure monitoring in irrigation piping as quality management tools of sprinkler irrigation / I. P. Kruzhilin [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13. № 13. P. 4181-4184.

Conclusions:

1. A modified classification of humidification contours in drip irrigation is proposed by the magnitude of the eccentricity of elliptical generators and the dependence of the elongation coefficient of the contour generator on the values of the eccentricity of the ellipse generator is constructed.
2. A method of computer modeling of humidification contours in the vertical plane for various irrigation methods, including combined, including a combination of drip and fine sprinkling, is proposed.
3. A method has been developed to substantiate the optimized geometry of the location of irrigation droppers, providing overlap of the humidification circuits (RF Patent No. 2643730, A 01G 1/00. A01G 25/02, dated 05.02.2018.)

References

1. Akhmedov A. D., Galiullina E. Yu. Contours of soil moistening during drip irrigation // Izvestiya Nizhnevolzhsky agrouniversitetskogo kompleks: science and higher professional education. 2012. № 3 (270). P. 183-188.

2. Melikhova E. V. Mathematical modeling of moisture transfer processes in drip and subsurface irrigation // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Science and higher professional education*. 2016. No. 1. P. 228-234.
3. Substantiation of the water regime of the soil during drip irrigation of potato seed plantings in the Lower Volga region / N. N. Dubenok [et al.] // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: science and higher professional education*. 2018. No. 3. P. 18-26.
4. The causes of secondary salinization of irrigated soils of the Lower Volga region and its prediction based on mathematical modeling of moisture transfer / A. S. Ovchinnikov, N. A. Pronko, A. S. Falkovich, V. V. Borodychev // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: science and higher professional education*. 2018. No. 2 (50). P. 9-17.
5. Calculation of irrigation norms for drip irrigation in the conditions of the dry-steppe Volga region / N. A. Pronko [et al.] // *Fundamentals of rational nature management: materials of the VI National Conference with international participation*. Saratov, 2020. P. 55-59.
6. Rogachev A. F. Parametrization of econometric dependencies by the method of least modules // *Management of economic systems: electronic scientific journal*. 2011. No. 3. P. 0421100034.
7. Khrabrov M. Yu., Gubin V. K., Kolesova N. G. Determination of technological parameters of drip irrigation systems // *Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture*. 2016. № 1 (61). P. 132-136.
8. Digital technologies for optimizing the parameters of humidification of the calculated soil layer / D. A. Solovyov, V. V. Korsak, G. N. Kamyshova [et al.] // *Agrarian Scientific Journal*. 2021. No. 1. P. 86-89.
9. Shtanko A. S., Shkura V. N. Intra-contour distribution of soil moisture during drip irrigation // *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Problems of Melioration*. 2017. № 4 (28). Pp. 62-78.
10. Shtanko A. S., Shkura V. N. Method of graphoanalytic construction of contours of drip moistening of soils // *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Problems of Land Reclamation*. 2018. № 1 (29). Pp. 67-85.
11. Experimental determination of soil moisture from hyperspectral images / V. V. Podlipnov [et al.] // *Computer optics*. 2018. Vol. 42. No. 5. P. 877-884.
12. Influence of irrigation methods on agrophysical properties and productivity of dark chestnut soils of dry steppe on the left bank of the Volga river / V. Korsak [et al.] // *Advances in Dynamical Systems and Applications*. 2021. V. 16. № 1. P. 121-132.
13. Ismayilov A., Mikailsoy F. Mathematical models of fertility for the soils of Azerbaijan // *Eurasian Journal of Soil Science*. 2015. V. 4 (2). P. 118-125.
14. Melikhova E. V. Computer simulation and optimization of parameters of configuration of the contour of moistening under drip irrigation of agricultures // *Studies in Computational Intelligence*. 2019. V. 826. Pp. 1193-1201.
15. Neuromodeling in irrigation management for sustainable agriculture / D. Soloviov [et al.] // *Advances in Dynamical Systems and Applications*. 2021. V. 16. № 1. P. 159-170.
16. Rogachev A. F., Shokhnekh A. V., Melikhova E. V. Monitoring and Economic & Mathematical Modeling of Manufacture and Consumption of Agricultural Products as a Tool of Food Security Management // *Revista Espacios*. 2018. Vol. 39. № 01. Page 1.
17. Water pressure monitoring in irrigation piping as quality management tools of sprinkler irrigation / I. P. Kruzhilin [et al.] // *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. V. 13. № 13. P. 4181-4184.

Author's Information

Alexey F. Rogachev, Professor, Department of Mathematical Modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskiy Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation), Doctor of Technical Sciences, Professor <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Melikhova Elena Valentinovna, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Mathematical Modeling and Computer Science" of Volgograd State Agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), <https://orcid.org/0000-0002-4041-4270>, melv07@mail.ru

Информация об авторах

Рогачев Алексей Фруминович, профессор кафедры "Математическое моделирование и информатика" Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), доктор технических наук, профессор <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Мелихова Елена Валентиновна, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), <https://orcid.org/0000-0002-4041-4270>, melv07@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-38

CONSTRUCTION OF CHANNEL PLATES USING COMPOSITE REINFORCEMENT

S. Ya. Semenenko, S. S. Marchenko, D.P. Ar'kov

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 09.09.2021

Submitted 08.11.2021

Summary

The high degree of deterioration of water supply facilities of state irrigation systems requires modern engineering solutions that reduce repair costs and improve the quality of reclamation infrastructure. The study considers the possibility of using non-metallic composite reinforcement for reinforcing the protective layer of anti-filtration clothing of the main channels of irrigation systems and provides recommendations for its use.

Abstract

Deals with the problem of using composite reinforcement in hydraulic engineering construction, namely, when installing anti-filtration clothing of main irrigation canals of state irrigation and irrigation systems. Data on water losses during transportation in irrigation systems, as well as the need for anti-filtration clothing of irrigation systems of the Volgograd and Astrakhan regions are presented. The positive and negative aspects of the use of non-metallic composite reinforcement (NCR) are described, comparative strength calculations of plates with reinforcement with non-metallic composite reinforcement of different production technologies are given, conclusions are drawn about the prospects of using non-metallic composite reinforcement in hydraulic engineering construction. **Introduction.** The water strategy of the Russian Federation requires to exclude inappropriate losses of fresh water, which is hindered by such factors as critical wear of reclamation systems, deterioration of the condition of reclaimed land, especially in the zone of the main transportation network. A well-proven anti-filtration technology is the use of multilayer anti-filtration clothing, including an anti-filtration polymer and a protective reinforced concrete layer. The high demand for reinforced concrete elements of anti-filtration protection requires the use of engineering solutions to reduce their cost and extend their service life, which is hindered by the high price of steel. Thus, research aimed at replacing expensive steel with cheaper and more practical analogues in hydraulic engineering construction is of practical interest. **Object.** The object of the study is a protective layer of anti-filtration clothing of the main channels of irrigation systems. Goal - Determination of the possibility of using non-metallic composite reinforcement for reinforcing channel plates used as a protective layer in the channels of irrigation systems. **Materials and methods.** The work used a general scientific methodology with methods of empirical (observation, description, comparison, measurement) and theoretical (analysis and synthesis) levels. **Results and conclusions.** Based on the strength characteristics of non-metallic composite reinforcement, using the accepted methods, the selection of sections of working reinforcement for plates of the most popular form factor was made, the most suitable type of non-composite reinforcement was determined. The advantage of using non-metallic composite reinforcement for this type of hydraulic structures is shown and recommendations for its use are given.

Key words: *anti-filtration cladding, irrigation system, main channel, non-metallic composite reinforcement.*