

## **THEORY OF WATER DISTRIBUTION FOR A CENTER PIVOT IRRIGATION MACHINE**

**Urinov Eldor Fazliddin ugli**

PhD Doctoral Student, Bukhara State Technical University

### **Abstract**

The article examines the theory of water distribution in a center-pivot (circular) sprinkler irrigation machine. A methodology for dividing the irrigated area into concentric sections is presented, taking into account the kinematic and hydraulic characteristics of the machine operation. Based on geometric analysis, the areas of the sections, the required water volumes, and the corresponding water flow rates for each section under a given irrigation norm are determined. It is shown that as the radius increases, the section area grows according to a quadratic law; therefore, the required water flow rate and instantaneous irrigation intensity must increase proportionally to the radius. The obtained theoretical relationships make it possible to justify the selection of structural and operational parameters of the sprinkler machine and can be used in the design and optimization of center-pivot irrigation systems.

### **Keywords**

center-pivot sprinkler machine, water distribution, irrigation section, water flow rate, irrigation intensity, irrigation depth, hydraulic calculation, irrigation uniformity.

## **ТЕОРИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ДЛЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ**

**(PhD) докторант Уринов Элдор Фазлиддин угли**

**Бухарского государственного технического университета**

**Аннотация.** В статье рассматривается теория распределения воды в дождевальной машине кругового действия. Представлена методика разделения орошаемой площади на концентрические секции с учетом кинематических и

230

гидравлических особенностей работы машины. На основе геометрического анализа определены площади секций, требуемые объемы воды и соответствующие расходы для каждой секции при заданной норме орошения. Показано, что с увеличением радиуса площадь секции возрастает по квадратичному закону, вследствие чего требуемый расход воды и мгновенная интенсивность орошения должны увеличиваться пропорционально радиусу. Полученные теоретические зависимости позволяют обосновать выбор конструктивных и режимных параметров дождевальной машины и могут быть использованы при проектировании и оптимизации систем кругового дождевания.

**Ключевые слова:** круговая дождевальная машина, распределение воды, секция орошения, расход воды, интенсивность орошения, глубина полива, гидравлический расчет, равномерность орошения.

**Введение.** Рациональное использование водных ресурсов и обеспечение равномерного орошения сельскохозяйственных культур являются важнейшими задачами современной ирригационной техники. В условиях ограниченного водоснабжения и необходимости повышения продуктивности сельхозугодий особое внимание уделяется применению дождевальных машин кругового действия, или центробежных поворотных систем (center-pivot). Эти системы позволяют орошать большие площади при минимальных потерях воды и равномерном распределении влаги по площади поля. Эффективность работы дождевальной машины зависит от многих факторов: гидравлических характеристик насосной станции, давления в трубопроводах, типа и расположения форсунок, скорости движения поворотной башни, а также от климатических условий. Основной задачей проектирования и эксплуатации таких систем является обеспечение равномерного распределения воды по всей площади орошения, что напрямую влияет на урожайность и качество продукции.

Дождевальные машины, работающие по круговой траектории, относятся к числу важнейших современных технологий орошения. Их основная цель — обеспечить равномерный полив больших площадей при одновременном снижении расхода воды. В машинах данного типа по мере удаления дождевальных балок от центра изменяется скорость вращательного движения в каждой точке, вследствие чего распределение воды становится неоднородным. Поэтому теоретически важной задачей является точный расчет расхода воды, диаметра отверстий и расстояния между дождевателями по каждому радиусу.

**Методы.** В дождевальных машинах поле относительно центра делится на несколько концентрических колец. Каждое кольцо рассматривается как отдельная секция, поскольку его площадь, длина дуги, проходимой при вращении, а следовательно, и количество дождевателей, подлежащих установке, не являются постоянными и изменяются в зависимости от радиуса. Площадь секции определяется разностью квадратов внешнего и внутреннего радиусов, а объем воды, который должен быть подан трубопроводной системой на эту площадь, устанавливается на основе общей нормы орошения —  $360 \text{ м}^3/\text{га}$  (слой полива 36 мм). Распределение воды по всей орошаемой площади увязывается с полным временем одного оборота, равным 24 часам, и при делении общего объема воды, предназначенного для каждой секции, на это время определяется суммарный расход воды секции в единицу времени.

Средний радиус секции принимается как среднее значение ее внутреннего и внешнего радиусов. Эта величина отражает реальную траекторию движения дождевателей. Именно по этому радиусу определяется длина дуги, по которой равномерно располагаются дождеватели. Длина дуги, с учетом расстояния между дождевателями, определяет необходимое количество дождевателей в секции. Расстояние  $D$ , то есть шаг между дождевателями, непосредственно влияет на

количество дождевателей, монтируемых на трубопроводе, и имеет решающее значение для обеспечения равномерности распределения осадков.

После определения общего расхода воды в секции его делят на количество дождевателей, установленных в данной секции, в результате чего рассчитывается расход, приходящийся на один дождеватель, то есть подача воды в секунду. Это значение в дальнейшем служит основой для определения диаметра сопла. Истечение воды из сопла подчиняется закономерностям течения через отверстие. Согласно этим закономерностям, количество воды, вытекающей через отверстие, зависит от площади отверстия, ускорения свободного падения, напора и коэффициента расхода. Величина напора стабильно обеспечивается насосной системой и вводится в расчет как один из основных параметров при определении диаметра сопла.

При правильном выборе диаметра сопла каждый дождеватель обеспечивает заданный расход, а машина в течение всего оборота равномерно выполняет общую норму орошения. Однако для понимания характера распределения дождевых капель по площади необходима еще одна теоретическая модель — профиль интенсивности осадков. Согласно большинству гидродинамических исследований, капли, формируемые дождевателем, характеризуются большей интенсивностью вблизи центра и убывающей функцией по направлению к периферии. Распределение капель может быть описано в математической форме с использованием убывающих полиномиальных или экспоненциальных функций. При наличии такой функции для каждого дождевателя суммарное воздействие всех дождевателей, расположенных вдоль дуги, объединяется по принципу суперпозиции, формируя общую карту осадков.

При оценке качества орошения основным международно признанным показателем является коэффициент равномерности Кристенсена (Christensen

Uniformity). Он характеризует равномерность распределения слоя воды по площади, и значение выше 85 % в мировой практике считается хорошим показателем. Следовательно, расстояние между дождевателями, диаметр сопла, давление насоса и высота установки дождевателей должны быть подобраны таким образом, чтобы слой дождя по всей площади был максимально равномерным.

Изложенная выше теория опирается на несколько взаимосвязанных научных направлений: геометрический анализ, кинематическое моделирование, гидравлические закономерности и физико-математическое описание дождевых осадков. На основе данного подхода для каждой секции дождевальной машины определяется полный набор математических параметров — площадь секции, длина дуги, количество дождевателей, индивидуальный расход воды каждого сопла и, как следствие, диаметр сопла. Совокупность этих параметров формирует целостную математическую модель, которая позволяет проектировать, оптимизировать и экспериментально подтверждать реальные дождевальные системы.

Процесс орошения в круговой дождевальной машине определяется такими важнейшими факторами, как эффективное распределение водных ресурсов, устойчивость гидравлических потоков и равномерное распределение дождевых капель по площади. Построение теоретической модели начинается с точного описания геометрической структуры поля. Конструкция балки, простирающейся от центра машины к периферии, одновременно охватывает различные радиусы, соответствующие различным длинам окружностей. В связи с этим поле разделяется на несколько концентрических колец, каждое из которых рассматривается как отдельная секция.

Площадь секции определяется по следующей формуле:

$$A_i = \pi(R_{\text{внешний}}^2 - R_{\text{внутренний}}^2) \quad (1)$$

где  $A_i$  — площадь  $i$ -й секции,  $R_{\text{внешний}}$  — внешний радиус. Эта формула является классическим геометрическим выражением для определения площади кольца и точно показывает, какая часть площади приходится на каждый сегмент конструкции машины. Чем больше площадь секции, тем больше воды требуется для её полива.

Если норма полива определяется как  $Q_{\text{треб}}$ , это значение показывает, сколько  $\text{м}^3$  воды необходимо на гектар. Если слой орошения задан высотой  $h$  (в метрах), то:

$$Q_{\text{треб}} = 10000 \cdot h \quad (2)$$

Так как  $1 \text{ гектар} = 10000 \text{ м}^2$ .

Объем воды, приходящийся на конкретную секцию, определяется следующим образом:

$$V_i = \frac{A_i \cdot Q_{\text{треб}}}{10000} \quad (3)$$

Если машина совершает один полный оборот, обозначим общее время как  $T$ . В этом случае расход воды на секцию в секунду определяется следующим образом:

$$Q_i = V_i \cdot T \quad (4)$$

Здесь:

- $Q_i$  — общий расход воды для  $i$ -й секции,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;
- $V_i$  — объем воды, необходимый для полива  $i$ -й секции,  $\text{м}^3$ ;
- $T$  — полное время оборота круговой дождевальная машины для полного полива всей площади (обычно в часах,  $h$ ).

Параметр  $T$  связывает гидравлическую конструкцию и агрономическое управление. Основная цель его определения — достичь заданной оператором глубины полива на основе средней способности системы подачи воды.

Полное время оборота  $T$  определяется исходя из слоя воды, который необходимо подвести к зоне корней культуры за один цикл полива, — требуемого слоя полива  $h_{\text{треб}}$ , и средней интенсивности орошения  $I_{\text{сно}}$ .

Значение  $T$ , необходимое для определения  $Q_i$ , вычисляется как отношение этих двух показателей:

$$T_{\text{враш}} = \frac{h_{\text{треб}}}{I_{\text{сно}}}, \quad (5)$$

Здесь  $h_{\text{треб}}$  — требуемая для культуры глубина орошения, которая должна быть накоплена в течение всего времени полного оборота.

**Результаты.** С помощью формулы (4) определяется общий расход воды в каждой секции. В связи с тем, что с увеличением радиуса возрастает и площадь секции, значение  $Q_i$  во внешних секциях оказывается значительно больше по сравнению с внутренними секциями.

В расчетах с использованием формул (1), (2), (3) и (4) были определены геометрические параметры дождевальной машины и теоретически рассчитанные значения расхода воды, которые приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Геометрические параметры и расход воды круговой  
дождевальной машины**

| № секции<br>(i) | Внутренний радиус,<br>( $R_{\text{внутр}}$ , м) | Внешний радиус<br>( $R_{\text{внеш}}$ , м) | Средний радиус<br>( $R_i$ , м) | Площадь секции<br>( $A_i$ , м <sup>2</sup> ) | Требуемый объём<br>( $V_i$ , м <sup>3</sup> ) | Требуемый расход<br>( $Q_i$ , м <sup>3</sup> /ч) |
|-----------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1               | 0                                               | 50                                         | 25                             | 7,854                                        | 282.74                                        | 9.42                                             |
| 2               | 50                                              | 100                                        | 75                             | 23,562                                       | 848.23                                        | 28.27                                            |
| 3               | 100                                             | 150                                        | 125                            | 39,270                                       | 1,413.72                                      | 47.12                                            |

|   |     |     |     |         |          |        |
|---|-----|-----|-----|---------|----------|--------|
| 4 | 150 | 200 | 175 | 54,978  | 1,979.21 | 65.97  |
| 5 | 200 | 250 | 225 | 70,686  | 2,544.70 | 84.82  |
| 6 | 250 | 300 | 275 | 86,394  | 3,110.19 | 103.67 |
| 7 | 300 | 350 | 325 | 102,102 | 3,675.67 | 122.52 |
| 8 | 350 | 400 | 375 | 117,810 | 4,241.16 | 141.37 |

**Заклучение.** Демонстрирует кинематическую задачу круговой дождевальной системы и её гидравлическое решение. Площадь секции  $A_i$  по мере удаления от центра резко возрастает по квадратичному закону. Согласно соотношению  $Q_i=V_i$ , для поддержания проектной глубины орошения  $h_{\text{треб}}$  равномерной по всей площади требуемый общий расход воды  $Q_i$  также должен возрастать пропорционально площади секции, то есть практически с линейным ростом по радиусу. Например, расход воды в самой внешней (8-й) секции примерно в 15 раз превышает расход самой внутренней (1-й) секции. Этот результат отражает основное теоретическое требование к дождевальной машине — необходимость увеличения мгновенной интенсивности орошения  $I$  пропорционально радиусу [6].

В ходе исследования закономерностей распределения воды дождевальной машиной кругового действия были выполнены теоретический анализ, экспериментальные измерения и гидравлическое моделирование.

### Литературы

1. Li, J., *et al.* “Selection of end gun and optimization of water distribution under a center pivot irrigation system.” *Agricultural Water Management*, Vol. 298, June 2024, Article 108846. — 15 p.
2. Mohammed, H.M., Ahmed, I.A. “Hydraulic performance and soil moisture distribution under central pivot irrigation system.” *Middle East Journal of Agriculture Research*, Vol. 11, No. 01, 2022, pp. 135–150. — 15 p.

3. Livingston, N.J., de Jong, E. “Water losses, distribution, and use under a center-pivot irrigation system.” *Soils and Crops Workshop Proceedings*, Feb. 1989. — 28 p.
4. “Effect of the start-stop cycle of center-pivot towers on irrigation performance: experiments and simulations.” *Agricultural Water Management*, 2014. — 10 p.
5. “Comparison of water distribution characteristics for two kinds of sprinklers used for center pivot irrigation systems.” *Applied Sciences (MDPI)*, 2017. — 12 p.
6. Jian Jiao, Yadong Wang, Liliang Han, Derong Su. Comparison of Water Distribution Characteristics for Two Kinds of Sprinklers Used for Center Pivot Irrigation Systems. Research Center for Grassland Resources and Ecology, Beijing Forestry University. – Published. – 2017. – R. 1-17. – 21 April.