

Н.Н. Дубенок, академик РАН, профессор

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

РФ, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Г.В. Ольгаренко, член-корреспондент РАН, профессор

Б.С. Гордон, кандидат технических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»

РФ, 140483, Московская область, Коломенский р-н, пос. Радужный, д. 38

E-mail: prraduga@yandex.ru

УДК 631.67

DOI:10.30850/vrsn/2020/4/4-7

РАСЧЕТЫ ПАРАМЕТРОВ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КОМБИНИРОВАННОГО ФРОНТАЛЬНО-КРУГОВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Если дождевальная техника кругового и фронтального действия имеет свою, индивидуальную технологию орошения, то дождевальная машина комбинированного перемещения при поливе одного поля, поочередно, использует принципы работы по кругу и фронтально. Цель работы – создание теоретической базы для расчетов параметров более совершенных дождевальных машин и модернизации существующей дождевальной техники. Объект исследования – характеристики дождя дождевальных машин комбинированного фронтально-кругового перемещения, обеспечивающие равномерность орошения, в зависимости от технологии полива и эксплуатационных показателей, размера и конфигурации площади сезонной нагрузки, а также от режима орошения. Указанная цель достигается решением поставленной задачи по исходным данным норм и сроков полива, а также эксплуатационным характеристикам и конфигурации площади полива вычисляются расчетные гидромодули дождевальной машины при работе по кругу и фронтально. Моделирование применения на машине разбрызгивающих устройств осуществляется по одной универсальной формуле, когда на поливаемых участках в режиме работы по кругу и фронтально добиваются равенства обеспечиваемых гидромодулей соответствующим расчетным значениям. При этом учитываются возможные сочетания частей общей площади обслуживания, орошаемых по разным технологиям.

Ключевые слова: дождевальные машины комбинированного перемещения, дождевальные машины ипподромного типа, параметры дождевальных машин.

N.N. Dubenok, Academician of RAS, Professor

K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University – MTAA

RF, 127550, g. Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49

G.V. Olgarenko, Corresponding member of RAS, Professor

B.S. Gordon, PhD in Engineering sciences

All Russia Scientific and Research Institute for Irrigation and Farming Water Supply Systems “Raduga”

RF, 140483, Moskovskaya oblast’, Kolomenskij r-n, pos. Raduzhnyj, d. 38

E-mail: prraduga@yandex.ru

CALCULATION PARAMETERS OF SPRINKLING MACHINES WITH COMBINED FRONTAL AND CIRCULAR MOVEMENT

If the center pivot or linear moving irrigation machines are operated with their own individual irrigation technologies, but the irrigation machines with combined center-pivot and linear moving mode are operated on one field in turn as a center pivot and as a linear. The goal of this work is creation of theoretical base for calculation of improved irrigation machines parameters and existing irrigation equipment modernizing, according to the different natural conditions. The research object is investigation of characteristics of rain delivered from irrigation machines with combined center-pivot and linear moving mode, assuring uniform irrigation distribution according to the irrigation technology and operation parameters, size and configuration of seasonal norm as well as to the irrigation scheduling. The pointed goal is achieved by the given problem solving, when having basic data on the irrigation norm and time, as well as operation characteristics and the irrigation area configuration, the predicted hydro modulus are calculated for the irrigation machine working in a center pivot and in a linear mode. The simulation of sprinkling devices operation on the machine is made by one universal formula, when on the plots irrigated in center pivot and linear mode is achieved equality of arranged hydro modulus to the corresponding calculated data. At that, are considered all the possible combinations of the total irrigated area parts, irrigated with different technologies.

Key words: Irrigation machines with combined center pivot and linear moving mode, hippodrome type irrigation machines, parameters of irrigation machines.

Дождевальная техника на оросительных системах – конечное устройство, преобразующее поступающий в нее водный поток в искусственный дождь. Его параметры должны отвечать различным требованиям, в том числе, условиям равномерного распределения слоя осадков. При этом необходимо удовлетворить потребности выращиваемых культур в воде в определенные сроки в течение установленного интервала времени. [1]

При поливе одного поля дождевальная машина комбинированного перемещения работает по кругу и фронтально. Центральная ее опора подвижная и к ней от гидрантов оросительной сети по гибкому шлангу подается вода под напором. Площадь полива своим контуром напоминает ипподром, поэтому прямолинейные участки орошаются фронтальным перемещением, а торцевые – движением по кругу. В связи с этим, дождевальную машину комбини-

рованного перемещения будем называть машиной ипподромного типа.

При комбинированной технологии полива возникает задача выбора разбрызгивающих устройств к подобной технике, которую следует решать из условия обеспечения заданных параметров режима орошения, технических, технологических и эксплуатационных характеристик машины.

Существуют методы моделирования применения дождевальных аппаратов и насадок к машинам кругового или фронтального действия [2], в которых контролируемым параметром в вычислениях служит расчетный гидромодуль. С помощью других методов [3, 4] исследуют равномерность слоя осадков и не рассматривают факторы режима орошения и технологии полива машинами ипподромного типа, когда характеристики работы по кругу и фронтально взаимосвязаны и могут зависеть не только от эксплуатационных параметров техники, но и от величины площади орошения и ее конфигурации.

Цель работы – обосновать выбор разбрызгивающих устройств при сочетании двух технологий в одной машине.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Из расчетов режима орошения определено, что для использования машины на ипподромной площади при сезонной нагрузке F_o должен быть обеспечен гидромодуль q_o при поливе нормой m_o за период времени T_o .

В зависимости от исходных условий задачи, необходимо установить характеристики дождевальной машины ипподромного типа для моделирования применения на ней разбрызгивающих устройств. Исходный гидромодуль – величина, принятая из расчетов режима орошения и определяемая для площади сезонной нагрузки машины по известной формуле:

$$q_o = \frac{m_o}{T_o} \quad (1)$$

Расчетный гидромодуль q_p – это отношение расхода воды к площади сезонной нагрузки при поливе только по одной технологии – по кругу или фронтально при условии равномерного орошения.

Вычислить его можно путем несложного преобразования формулы определения сезонной нагрузки (С.Х. Гусейн-заде и др. – М.: Колос, 1984):

$$q_p = q_o K, \quad (2)$$

где K – коэффициент потерь, учитывающий потери воды на испарение, использование времени суток, плановые потери времени и возможные по независящим от машины причинам.

В работе составляющие параметра K не рассматриваем.

Уравнение (2) связывает техническую характеристику q_p с величиной режима орошения q_o и эксплуатационным показателем потерь K .

Общий гидромодуль q_m дождевальной машины ипподромного типа – отношение ее расхода воды

ко всей ипподромной площади сезонной нагрузки при равномерном поливе, определяется по формуле:

$$q_m = q_o K_m, \quad (3)$$

где K_m – коэффициент потерь машины при орошении всей площади сезонной нагрузки ипподромного типа.

Обеспечиваемый гидромодуль – отношение расхода воды, создаваемого дождем разбрызгивающих устройств машины на элементарной части площади орошения к ее площади. Для дождевальной машины кругового действия элементарные части – это концентрические кольца бесконечно малой ширины с центром в месте установки поворотной опоры, а для фронтальной – полосы бесконечно малой ширины, расположенные на площади в направлении движения машины.

Если у дождевальной техники кругового действия сезонная нагрузка не круг, а сектор с центральным углом β , то элементарные части полностью расположены на его площади и представляют собой кольцевые сектора с тем же углом, бесконечно малой ширины и центром в месте установки поворотной опоры.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчетный гидромодуль машин, применяющих только одну технологию или фронтального или кругового перемещения, можно найти по формуле (2) и сравнивать его с обеспечиваемыми гидромодулями на площади при моделировании использования разбрызгивающих устройств. Для дождевальной техники ипподромного типа вопрос определения ее гидромодуля актуален и требует уточнения.

На рис. 1 (и другие рисунки на 2-й стр. обл.) изображена площадь размерами R и A , поливаемая дождевальной машиной ипподромного типа, когда, например, сначала орошается верхний ее участок f_F в режиме фронтальной машины, затем полукруг f_k – в режиме круговой, далее – нижний прямоугольник площадью f_F и правый полукруг f_k .

Для дальнейших рассуждений и простоты изложения, условимся, ипподромной фронтальной называть машину, которая орошает в движении фронтально (сезонная нагрузка F_p), а ипподромной круговой, поливающую по кругу (сезонная нагрузка F_k).

Отношения F_k (два полукруга f_k) и F_F (два прямоугольника f_F) ко всей площади F_o обозначим соответственно через α_k и α_F . При одной и той же величине площади орошения F_o значения α_F , R и A могут быть различны (рис. 2).

Чтобы не менять режимы работы насосной станции, расходы воды круговой и фронтальной ипподромных машин должны быть равны. Время T_o состоит из времени полива ипподромной круговой t_k и времени орошения t_F фронтальной машиной. Поэтому справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{F_k}{t_k} K_k = \frac{F_F}{t_F} K_F \\ T_o = t_k + t_F \end{cases}, \quad (4)$$

где K_k и K_F – коэффициенты потерь ипподромной круговой и фронтальной машины соответственно.

В левой и правой части первого уравнения системы записаны скорости орошения площадей, соответствующих технологиям перемещения и параметрам K_k и K_F .

Решая (4) относительно времени t_k и t_F , с учетом (1), получим формулы для расчетов гидромодулей ипподромных фронтальной q_{pF} и круговой q_{pk} машин, которые зависят от соотношения площадей сезонных нагрузок, коэффициентов потерь и исходного гидромодуля:

$$q_{pF} = g_0 \frac{\alpha_k K_k + \alpha_F K_F}{\alpha_F} \quad (5)$$

$$q_{pk} = g_0 \frac{\alpha_k K_k + \alpha_F K_F}{\alpha_k} \quad (6)$$

Кроме того, выполняется равенство:

$$q_{pF} \alpha_F = q_{pk} \alpha_k \quad (7)$$

При равномерном поливе обеспечиваемые гидромодули круговой и фронтальной ипподромных машин должны быть равны соответствующим расчетным значениям q_{pk} и q_{pF} .

Формулы (5, 6) связывают эксплуатационные и технические параметры машины ипподромного типа с исходной характеристикой режима орошения.

Общий гидромодуль q_m находим из уравнения, полученного с учетом его определения и зависимостей (5, 6):

$$q_m = q_0 (\alpha_k K_k + \alpha_F K_F), \quad (8)$$

где $(\alpha_k K_k + \alpha_F K_F) = K_m$.

Делением q_m на α_k или α_F можно вычислить гидромодули для ипподромной круговой или фронтальной машины соответственно.

Все приведенные формулы выведены из условия равномерного распределения расхода воды машины по всей площади орошения. Однако на элементарных частях этот расход формируется дождем разбрызгивающих устройств и определяется обеспечиваемыми гидромодулями, которые при равномерном поливе должны быть равны расчетным значениям.

У дождевальных машин или кругового или фронтального действия на площади полива имеется область за длиной трубопровода, где выпадает дождь концевой и других разбрызгивателей. На ней слой осадков и обеспечиваемый гидромодуль уменьшаются до нуля. Тогда, если учесть допустимое снижение обеспечиваемого гидромодуля на 25 % расчетной величины, граница площади орошения F_0 будет определена радиусом R_0 и шириной L_0 эффективного орошения [2] круговой и фронтальной машины соответственно.

Определение расхода воды дождевальной техники кругового и фронтального действия по произведению расчетного гидромодуля на площадь сезонной нагрузки не всегда точно, но для предварительных расчетов вполне допустимо. Расчетные гидромодули – только контрольные параметры, их нельзя обеспечить на всей площади орошения, в том числе и на участке за длиной водопроводящего трубопровода машины. Поэтому расход и эффективно орошаемая площадь определяются при выборе разбрызгивателей.

Площадь сезонной нагрузки ипподромной фронтальной машины (рис. 3 а) состоит из двух площадей f_F (рис. 1), состыкованных торцами, площадь сезонной нагрузки ипподромной круговой машины (рис. 3 б) включает два соединенных полукруга f_k (рис. 1). Указанные на них размеры L_0 и R_0 равны величине R , так как они определяются в зоне 4, где выпадает дождь концевой и других разбрызгивателей, допустимым снижением обеспечиваемого гидромодуля на 25 % расчетной величины.

Для фронтальной и круговой ипподромных машин моделирование применения разбрызгивающих устройств осуществляется согласно обозначениям параметров на рис. 3 в системах координат XOY по уравнению (9). Отдельно к каждой из них выбирается свой комплект аппаратов, насадок и т. п. Используя конкретные распределения интенсивности дождя $p_k(x, y)$ разбрызгивателей, вычисляются обеспечиваемые гидромодули q_i на i -х элементарных частях соответствующих площадей. Полученные значения можно обрабатывать статистическими методами для оценки равномерности орошения и сравнивать с расчетными для них величинами q_{pF} или q_{pk} .

$$q_i = \frac{1}{L_i} \sum_1^n \int_{S_i} p_k(x, y) ds, \quad (9)$$

где $p_k(x, y)$ – распределение интенсивности дождя k -м разбрызгивателем; L_i – длина i -й средней линии S_i элементарной части площади орошения, соответствующей R_i ; n – количество разбрызгивающих устройств с нумерацией k от 1 до n , дождь которых выпадает на рассматриваемую элементарную часть; S_i – кривая линия, по отрезкам ds которой проводится интегрирование.

В уравнении (9) под знаком суммы записан криволинейный интеграл первого рода от функции распределения интенсивности дождя $p_k(x, y)$ вдоль линии S_i . В результате моделирования уточняют расход дождевальной машины, радиус R_0 и ширину L_0 эффективного орошения.

Конфигурация площади полива машиной ипподромного типа, показанной на рис. 1, может быть другой. В частности, возможно отсутствие одного полукруга, орошаемого ипподромной круговой машиной. В этом случае вместо элементарных колец орошения рассматриваются кольцевые сектора полукруга f_k с длиной i -й средней линии S_i равной πR_i . Кроме того, две ипподромные машины могут орошать всю площадь, когда каждая из них поливает свои два участка f_F и f_k . Несмотря на это, полученные математические зависимости для ипподромных ма-

шин будут верны и для этих случаев, если учесть, что сезонная нагрузка F_F ипподромной фронтальной машины — это сумма площадей, поливаемых фронтально, а F_k ипподромной круговой машины равна сумме площадей, орошаемых по кругу.

Заключение.

При моделировании применения разбрызгивающих устройств по универсальной формуле (9) работа дождевальной машины ипподромного типа включает две отдельные, но взаимосвязанные технологии орошения: по кругу и фронтально. Для каждой определены расчетные гидромодули — исходные контрольные величины в моделировании применения дождевальных аппаратов, насадок и т. п. Установлена математическая связь этих гидромодулей, которая зависит не только от величины площади орошения, но и от ее конфигурации и коэффициентов потерь. Формулы определения расчетных гидромодулей верны для различных вариантов конфигурации ипподромной площади.

Решения поставленной задачи приобретают особое значение при создании и модернизации дождевальных машин ипподромного типа для разных природных условий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дубенок, Н.Н. Гидротехнические сельскохозяйственные мелиорации (учебное пособие практикум) / Н.Н. Дубенок, К.Б. Шумакова: под ред. Н.Н. Дубенка. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Проспект — 2016. — 336 с.

2. Ольгаренко, Г.В. Параметры дождя дождевальных машин и показатели распределения слоя осадков / Г.В. Ольгаренко, Б.С. Гордон // Вестник российской сельскохозяйственной науки. — 2019. — № 3. — С. 68–72.

3. De Oliveira, Henrique F.E.; Colombo, Alberto; Faria, Lessandro C. Effects of wind speed and direction on water application uniformity of traveler irrigation systems // Engenhariaagricola — Т. 32. — Вып. 4. — 2012. — Р. 669–678.

4. Molle, B.; Le Gat, Y. Model of water application under pivot sprinkler. II: Calibration and results // Journal of irrigation and drainage engineering — Т. 126. — Вып. 6. — 2000. — Р. 348–354.

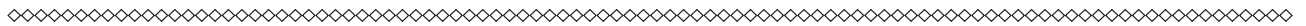
LIST OF SOURCES

1. Dubenok, N.N. Gidrotekhnicheskie sel'skohozyajstvennye melioracii (uchebnoe posobie praktikum) / N.N. Dubenok, K.B. Shumakova: pod red. N.N. Dubenka. — 2-e izd., pererab. i dop. — M.: Prospekt — 2016. — 336 s.

2. Ol'garenko, G.V. Parametry dozhdya dozhdeval'nyh mashin i pokazateli raspredeleniya sloya osadkov / G.V. Ol'garenko, B.S. Gordon // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. — 2019. — № 3. — S. 68–72.

3. De Oliveira, Henrique F.E.; Colombo, Alberto; Faria, Lessandro C. Effects of wind speed and direction on water application uniformity of traveler irrigation systems // Engenhariaagricola. — Т. 32. — Вып. 4. — 2012. — R. 669–678.

4. Molle, B.; Le Gat, Y. Model of water application under pivot sprinkler. II: Calibration and results // Journal of irrigation and drainage engineering — Т. 126. — Вып. 6. — 2000. — R. 348–354.



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Объявляет конкурсы на соискание **золотых медалей и премий** имени выдающихся ученых, каждая присуждается в знаменательную дату, связанную с жизнью и деятельностью ученого, именем которого названа медаль или премия.

Золотые медали присуждаются за выдающиеся научные работы:
имени В.С. Пустовойта — в области селекции масличных культур.
Срок представления работ до 14 октября 2020 года.

имени В.В. Докучаева — в области почвоведения.
Срок представления работ до 1 декабря 2020 года.

имени П.П. Лукьяненко — в области селекции зерновых культур.
Срок представления работ до 9 марта 2021 года.

имени М.Ф. Иванова — в области животноводства.
Срок представления работ до 20 июня 2021 года.

Премии присуждаются за выдающиеся работы:

имени Н.В. Рудницкого — в области селекции и технологии возделывания сельскохозяйственных культур для условий северного земледелия.
Срок представления работ до 4 марта 2021 года.

имени М.И. Хаджинова — в области генетики, селекции и семеноводства кукурузы.
Срок представления работ до 10 июля 2021 года.