

А. В. Бобрышов¹, Б. П. Фокин¹, Г. И. Гедроить²

¹ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»
г. Ставрополь, Российская Федерация
E-mail: Alex_st_52@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: ggedroit@tut.by

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПОЛИВА ФРОНТАЛЬНЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ В ПРОЦЕССЕ ОРОШЕНИЯ ПОЛЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы определения оптимальных схем полива разных типов почв в увязке с процессами водопотребления посевов, представлен разработанный математический аппарат и основные результаты расчетов.

Ключевые слова: дождевальная машина, схема полива, поливные нормы, водопотребление, гидропривод, потери воды.

A. V. Bobryshov¹, B. P. Fokin¹, G. I. Gedroit²

¹FSBEI HE "Stavropol State Agrarian University"
Stavropol, Russian Federation
E-mail: Alex_st_52@mail.ru

²EI "Belarusian State Agrarian Technical University"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: ggedroit@tut.by

SELECTION OF IRRIGATION TECHNOLOGICAL SCHEMES BY FRONT-MOUNTED SPRINKLERS IN THE PROCESS OF IRRIGATION OF FIELDS

Abstract. The article considers the issues of determining the optimal irrigation schemes for different types of soils in connection with the processes of water consumption of crops, presents the developed mathematical apparatus and the main results of calculations.

Keywords: sprinkler machine, irrigation scheme, irrigation norms, water consumption, hydraulic drive, water loss.

Введение

В сельскохозяйственном производстве уже несколько десятков лет применяются многоопорные дождевальные машины (ДМ) фронтального действия. В начале это были ДМ типа «Кубань», а теперь и зарубежные машины производства разных фирм [1]: Valmont Irrigation (США); Wade Rain (США); T-L Irrigation Company (Канада); RKD (Испания); Bauer (Австрия) и др. Однако реализовывать высокие технологические возможности таких машин без соответствующего научного обеспечения весьма затруднительно и прежде всего это относится к организации их перемещения при поливе.

Под схемой полива будем понимать один из основных элементов технологического процесса – перемещение машин в пределах орошаемых полей. Оптимальной схемой принимается та, которая удовлетворяет таким условиям, как: простота реализации, т. е. наименьшее число переключений режимов работы в процессе полива и наименьшее количество проходов для выдачи заданной поливной нормы; избежание пересыхания почвы на границах (концах) полей (нижний предел содержания влаги – 70 % наименьшей влагоемкости); недопущение стока на конкретной почве и обеспечение высокого уровня технико-эксплуатационных показателей машин [2, 3].

Цель работы – разработать и провести оптимизацию схем полива полей ДМ.

Основная часть

С целью выбора оптимальной схемы прежде всего поставлена задача определения изменения содержания влаги в почве при поливе ДМ «Кубань». При решении задачи принимается постоянной интенсивность водопотребления культуры (E , мм/сут) за время полива (t , сут) и предполагается отсутствие осадков в этот период [4]. Для упрощения расчетов принимается выдача заданной поливной нормы (M , м³/га) за один или два прохода в прямом и обратном направлении соответственно. В последнем случае условие выдачи поливной нормы можно записать так:

$$M = m_1(x) + m_2(x), \quad (1)$$

где $m_1(x)$ – поливная норма в точке x в прямом проходе, м³/га; $m_2(x)$ – поливная норма в точке x в обратном проходе, м³/га; x – ось координат, направленная вдоль оросительного канала, точка $x = 0$ соответствует началу поля.

При движении в прямом ходе начальные влагозапасы расчетного поля почвы (W_0 , м³/га) непосредственно перед машиной будут уменьшаться на величину $10Et$, м³/га (здесь t – время с начала полива, сут). Выражая время через известные соотношения [4]:

$$t = \frac{1}{1440K_{\text{сут}}} \int_0^x \frac{dx}{V(x)} \text{ и } m_1(x) = \frac{600Q}{\beta BV(x)},$$

получим

$$t = \delta \int_0^x m_1(x) dx, \text{ причем } \delta = \frac{\beta B}{864 \cdot 10^3 K_{\text{сут}} Q}, \quad (2)$$

где $K_{\text{сут}}$ – отношение времени полива за сутки ко времени суток; $V(x)$ – скорость движения машины, м/с; Q – расход машины, м³; β – коэффициент потерь, равный 1,1–1,3; B – ширина захвата машины, м.

Теперь изменение влагозапасов в почве непосредственно перед машиной в прямом ходе можно представить функцией

$$f_1(x) = W_0 - 10E\delta \int_0^x m_1(x) dx. \quad (3)$$

Сразу же после машины в момент времени t , соответствующий нахождению ее в точке x , влагозапасы будут равны

$$W_1 = f_1(x) + m_1(x).$$

Далее, если аналогично при движении в обратном проходе содержание влаги в почве перед машиной представить функцией $f_2(x)$, то позади нее влагозапасы определятся из выражения

$$W_2 = f_2(x) + m_2(x).$$

Связь между функциями $f_1(x)$ и $f_2(x)$ можно получить, исходя из следующих соображений. В точку x повторно машина попадает через промежуток времени Δt , складывающийся из времени достижения конца поля в прямом проходе и времени обратного движения. С учетом уравнений (1) и (2)

$$\Delta t = \delta \int_x^L [m_1(x) + m_2(x)] dx = \delta(L-x)M,$$

где L – общая длина поля, м.

Теперь очевидно, что

$$f_2(x) = f_1(x) + m_1(x) - 10E\delta(L-x)M. \quad (4)$$

Условие, позволяющее поливать предельно большие площади без пересыхания почвы, можно записать в виде

$$f_2(x) = f_1(L) = W_{win}, \quad (5)$$

где W_{win} – минимально допустимые влагозапасы расчетного слоя почвы, м³/га. Это условие, к тому же, позволяет начинать полив при наименьших начальных влагозапасах без иссушения в дальнейшем сверх допустимого активного слоя почвы [5].

Дифференцируя выражение (4) и учитывая (5), получим линейное дифференциальное уравнение первого порядка относительно $m_1(x)$, решая которое с использованием соотношения (1), найдем

$$m_1(x) = M \left[1 - e^{10E\delta(x-L)} \right], \quad (6)$$

$$m_2(x) = M e^{10E\delta(x-L)}, \quad (7)$$

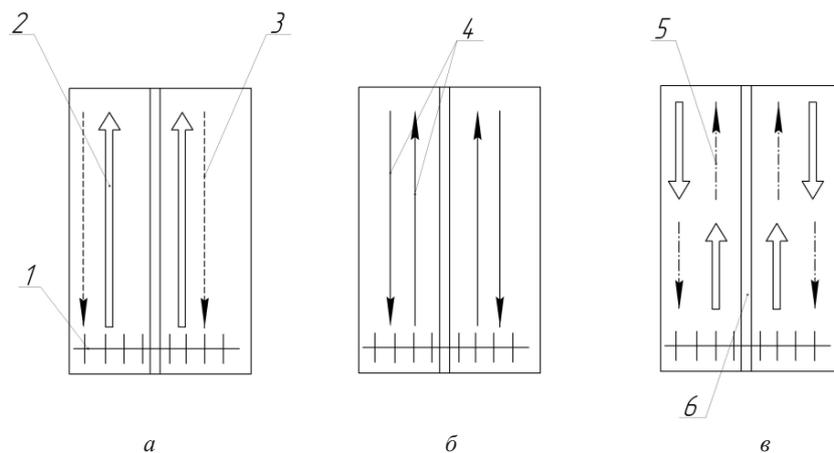
где e – основание натуральных логарифмов.

Выражения (6) и (7) получены в непрерывных функциях и не учитывают дискретных уравнений задания режимов движения ДМ «Кубань». Поэтому для практических целей решение задачи трансформировалось в разбиение всей длины поля на равные части, на каждой из которых $m_1(x)$ и $m_2(x)$ принималось постоянным. С помощью аналогичных рассуждений можно сказать, что в этом случае оптимальные значения поливных норм в первом проходе определяются из уравнения

$$M_i = M \left[1 - \frac{1}{\left(1 + 10E\delta \frac{L}{n} \right)^{n+1-i}} \right], \quad (8)$$

где M_i – поливная норма в первом проходе на i -м участке, м³/га; n – общее число участков разбиения; i – номер участка от начала поля ($i = 1, 2, \dots, n$).

Для расчетов необходимо знать водно-физические свойства конкретных почв, режим орошения и интенсивность водопотребления сельскохозяйственных культур, число рабочих смен в сутках, эксплуатационную и техническую характеристику ДМ, площади орошаемых полей. Для основных почвенно-климатических зон Ставропольского края расчетами установлено, что наиболее рациональными оказались следующие схемы выдачи поливной нормы: 1) за один проход (см. рисунок, а); 2) за два прохода половинчатыми поливными нормами (см. рисунок, б); 3) за два прохода с переключением режима движения ДМ в середине поля (см. рисунок, в); 4) за два прохода с переключением режима движения на $\frac{1}{3}$ и на $\frac{2}{3}$ длины поля (схема аналогична рисунку, в, но переключается ДМ 2 раза). Более сложные схемы никаких технологических преимуществ не дают.



Схемы перемещения ДМ «Кубань» (с выдачей поливной нормы: а – за один проход; б – за два прохода половинчатыми поливными нормами; в – за два прохода с переключением режима движения ДМ в середине поля) при поливе: 1 – исходная позиция ДМ; 2 – полив наибольшей допустимой поливной нормой; 3 – движение ДМ без полива; 4 – полив половинчатыми поливными нормами; 5 – полив сниженными нормами; 6 – канал

В качестве примера в нижеприведенной таблице указаны рекомендуемые схемы полива при интенсивности водопотребления культур 6 и 9 мм/сут и расходе ДМ 180 л/с. С возрастанием номера схемы усложняется ее реализация, но зато увеличивается площадь, которую может обслуживать ДМ. Во всех случаях полив необходимо начинать при снижении содержания влаги в активной зоне почвы до 75–80 % НВ.

Оптимальные схемы полива ДМ с шириной захвата 800 м при норме 500 м³/га и трехсменной работе для основных типов почв Ставропольского края

Площадь, га	Водопотребление, мм/сут	Черноземы		Каштановые почвы	
		Номер схемы	Поливные нормы в 1-м проходе	Номер схемы	Поливные нормы в 1-м проходе
80	6	1	500	1	500
		2	250	2	250
	9	1	500	–	–
		2	250	2	250
120	6	2	250	2	250
	9	2	250	3	300, 200
160	6	2	250	3	300, 200
	9	3	300, 200	4	300, 250, 150

Исходное положение ДМ принимается в начале поля, а поливные нормы схем 3 и 4 даны по участкам разбиения длины поля от начала к концу. Причем, как показали полевые исследования, для черноземных почв досточковые нормы равны 480 м³/га, а для темно-каштановых почв – 360 м³/га, т. е. для этих почвогрунтов результаты расчетов удовлетворяют условиям безнапорного впитывания. Если же досточковые нормы не превышают 100–150 м³/га, то полив в этих условиях столь малыми нормами на проход, особенно в жаркие месяцы, неэффективен и необходимо предусматривать агротехнические мероприятия по повышению впитывающей способности почвы.

Заключение

Используя предложенный способ, можно для конкретных условий методом перебора определить предельные размеры полей, которые могут орошаться, например, ДМ «Кубань», без снижения содержания влаги в почве ниже допустимого предела за время полива (т. е. сезонную нагрузку на машину). Оценка вариантов производится по величине функций $f_1(L)$. Например, для Ставропольского края при максимальной интенсивности водопотребления основных сельскохозяйственных культур в критический период вегетации 9–10 мм/сут предельная площадь при двухсменной работе и размещении под машиной одной культуры в зоне неустойчивого увлажнения равна 100 га, а в засушливых зонах – 80 га (при $f_1(L) = 70$ % НВ). При трехсменной работе пределы увеличиваются до 160 и 140 га соответственно.

В настоящее время на практике, как правило, применяются простые схемы полива – 1 и 2, что оправдано только для небольших полей – до 80–100 га. На больших площадях, особенно в июле – августе, необходимо применять схемы 3 и 4. Это позволит избежать пересыхания границ (концов) полей и повысить отдачу орошаемого гектара.

Список использованных источников

1. Jonson, G. Analysis of center pivot irrigation systems operating in a humid area environment / G. Jonson // Transaction of the ASAE. – 1987. – Vol. 30, № 6. – P. 1720–1725.
2. Фокин, Б. П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин / Б. П. Фокин, А. К. Носов. – Пятигорск : Севкавказгипроводхоз, 2011. – 76 с.
3. Фокин, Б. П. Влияние обработок почвы на впитывание оросительной воды / Б. П. Фокин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 24–27.
4. Фокин, Б. П. Метод расчета размещения пролетов дождевальных машин / Б. П. Фокин, А. В. Бобрышов, В. А. Лиханос // Сельский механизатор. – 2015. – № 1. – С. 6.
5. Фокин, Б. П. Орошение надежный фактор интенсивности сельскохозяйственного производства / Б. П. Фокин, А. В. Бобрышов, В. А. Лиханос // Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., в рамках XVIII Междунар. агропром. выставки «Агроуниверсал-2016», Ставрополь, 30 марта – 1 апр. 2016 г. / ред. А. Т. Лебедев. – Ставрополь, 2016. – С. 198–202.