

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ «КАСКАД»

Л. А. Журавлева, кандидат технических наук

В. А. Соловьев, аспирант

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»,
г. Саратов, Россия*

Аннотация

Повышение качества полива требует совершенствования технологии орошения, обеспечивающей рациональное использование воды и энергии, максимальной адаптации к региону применения.

На основании анализа существующей технологии полива электрифицированными дождевальными машинами кругового действия предложены технологические приемы, заключающиеся в корректировке поливных норм в зависимости от обеспеченности почвы влагой при поливе машин с реверсом. Воспользовавшись результатами исследований, можно обеспечить увеличение нормы полива до стока, водосбережение и наиболее щадящий режим полива.

Ключевые слова: *дождевальная машина, поливная норма, скорость, время, орошение, сектор.*

Abstract

L. A. ZHURAVLEVA, V. A. SOLOVIEV

THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL METHODS OF IRRIGATION BY SPRINKLING MACHINES OF CIRCULAR ACTIONS "CASCADE"

Improving the quality of irrigation requires improvement of irrigation technology to ensure rational use of water and energy, maximum adaptation to the region. Based on the analysis of the existing technology of irrigation with electrified circular sprinkling machines, technological methods are proposed. They are to be adjusted irrigation norms depending on the availability of soil moisture during irrigation of machines with reverse. Using the results of research, it is possible to provide increase in the rate of irrigation to runoff, water conservation and the most gentle irrigation regime.

Keywords: sprinkling machine, irrigation rate, speed, time, irrigation, sector.

Введение

В большинстве районов Российской Федерации стабильное развитие сельскохозяйственного производства возможно только при дополнительном к естественной влажности орошении.

Повышение технического уровня дождевальных машин требует совершенствования технологии орошения, которая бы обеспечивала рациональное использование воды и энергии, максимальной адаптации к региону применения, гарантирующей экологическую безопасность, сохранение и повышение плодородия орошаемых почв.

Главными показателями качества работы служат равномерность распределения воды по орошаемой площади без образования поверхностного стока и сохранение структуры почвы. При этом стоит задача выдавать поливную норму в наиболее сжатые сроки. Современные электрифицированные дождевальные машины имеют большой диапазон регулирования поливных норм, режимов движения и возможность выдавать заданную по-

ливную норму разными способами или по различным схемам полива.

Оптимальные варианты определяются исходя из ограничивающих условий. В большинстве случаев это величина эрозионно-допустимой поливной нормы или водопотребления орошаемой сельскохозяйственной культуры.

Материалы и методы

Рассмотрим процессы, происходящие в почве при движении машины и выдаче поливной нормы.

В начале вегетационного периода сельскохозяйственных культур исходные влагозапасы (W_0 , м³/га) определяются по формуле (1):

$$W_0 = 100h\gamma_{\text{ГР}}\beta_{\text{Н}}, \quad (1)$$

где h – расчетный слой увлажнения почвы, мм;

$\gamma_{\text{ГР}}$ – плотность почвы в расчетном слое, кг/м³;

$\beta_{\text{Н}}$ – влажность почвы, равная наименьшей влагоемкости, % от сухой массы почвы.

Уравнение водного баланса активного слоя применительно к одному поливу определяется из выражения (1, 2):

$$0,1 \cdot Et = (W_0 - W_k) + M + P_{OC} + V_{ГР} - \Pi_0, \quad (2)$$

где Et – суммарное водопотребление, равное интенсивности водопотребления (E , мм), за определенный отрезок времени (t , сут.);

W_k – влагозапасы после воздействия дождя (конечные влагозапасы), m^3/ga ;

M – поливная норма;

P_{OC} – осадки;

$V_{ГР}$ – подпитка грунтовыми водами;

Π_0 – потери на сток и фильтрацию, m^3/ga .

Для упрощения величинами P_{OC} , $V_{ГР}$ и Π_0 можно пренебречь или учесть их в поливной норме.

Влагозапас активной зоны (W_k , m^3/ga) до прохода дождевальная машины (3) равен:

$$W_k = W_0 - Et, \quad (3)$$

где t – время от начала полива (начальная точка движения последней тележки по окружности, равной радиусу полива) до подхода к конечной точке полива, сут. Конечная точка полива зависит от выбранной схемы движения. При поливе за круг – это время оборота машины. При поливе половины круга с реверсом – время прохождения некоторой части дуги окружности.

Как только суммарное испарение за сутки превысит запас продуктивной влаги, соответствующей влажности в активном слое почвы 80 % НВ, должен быть назначен полив. Норма полива (M , m^3/ga) рассчитывается по формуле (4):

$$M = 100 h_{ГР} (\beta_{НВ} - \beta_{0,8НВ}), \quad (4)$$

где $\beta_{НВ}$ – влажность, соответствующая наименьшей влагоемкости в расчетном слое почвы;

$\beta_{0,8НВ}$ – влажность, соответствующая предположному порогу 80 % НВ в активном слое почвы.

Рассмотрим полив поля, засеянного одной культурой, пренебрегая колебаниями водопотребления (E , мм/сут) за время полива (t , сут), при отсутствии осадков.

Определяющим условием будет неравенство (1, 2, 3):

$$\beta_H \leq \beta(\varphi, t) \leq 100 \% \text{ НВ}, \quad (5)$$

где $\beta(\varphi, t)$ – влажность расчетного слоя почвы в точке поля с угловой координатой φ в момент времени t , % НВ.

Условие выдачи заданной поливной нормы за несколько проходов можно записать в виде (6):

$$M = M_1(\varphi) + M_2(\varphi) + M_3(\varphi) \dots + M_n(\varphi), \quad (6)$$

где M – заданная поливная норма, m^3/ga ;

$M_1(\varphi)$ – поливная норма в точке начала поля при движении машины из точки $\varphi = 0$ (первый проход), m^3/ga ;

$M_2(\varphi), M_3(\varphi)$ – поливные нормы за второй и третий проходы, m^3/ga ;

$M_n(\varphi)$ – поливная норма за n -й проход.

Рассмотрим случай работы машины с реверсом, когда после прохождения полного круга не происходит ее возвращения в исходную точку. То есть машина возвращается в точку φ , двигаясь в обратном направлении реверсивно. В этом случае полив той же нормой в начале возврата вызывает сток, и требуется упрощенная корректировка. Выдача поливной нормы за два прохода показана на рис. 1.

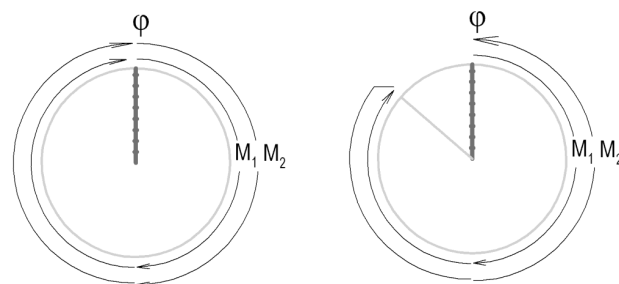


Рисунок 1 – Схема выдачи поливной нормы за два прохода

$$M = M_1(\varphi) + M_2(\varphi). \quad (7)$$

При движении в прямом ходе начальные влагозапасы при $t = 0$ расчетного слоя W_0 непосредственно перед машиной будут уменьшаться на $10Et$ (10 – коэффициент перевода миллиметров в $1 m^3/ga$) (2, 3, 4), сут.:

$$t = \frac{1}{1440 K_{СУТ}} \int_0^\varphi \frac{d\varphi}{V_{CP}(\varphi)}, \quad (8)$$

где 1440 – коэффициент перевода минут в сутки (60×24);

$V_{CP}(\varphi)$ – скорость движения машины, м/мин.;

$K_{СУТ}$ – коэффициент времени.

Слой осадков за проход по кругу равен (9):

$$h = \frac{120 Q_M}{R_M V_{CP}}, \quad (9)$$

Предположим, что дождевальная машина кругового действия должна обеспечить выдачу поливной нормы M (m^3/ga) согласно (2):

$$\frac{M}{10} \equiv h, \quad (10)$$

где h – слой осадков, мм.

$$M = \frac{1200 Q_M}{R_M V_{CP}}, \quad (11)$$

где Q_M – расход машины, л/с;

R_M – радиус полива, равный длине машины, м ($R_M = L_M + R_{КДА}$);

$R_{\text{КДА}}$ – радиус захвата концевым дождевальным аппаратом (при наличии), м;

V_{CP} – средняя скорость движения машины;

$T_{\text{ПОЛ}}$ – среднее время полива ДМ за круг, ч.

При прохождении части круга будет полит сектор с площадью S_{CEK} (рис. 2).

$$S_{\text{CEK}} = \frac{\pi R_M^2 \varphi_C}{360} = \frac{\ell_{\text{CEK}} R_M}{2}. \quad (12)$$

Расстояние, пройденное тележкой, т. е. часть дуги – s .

Тогда при прохождении неполного круга:

$$M_1' = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}}. \quad (13)$$

При прохождении части круга:

$$t = \xi \int_0^\varphi M_1(\varphi) d\varphi, \quad \xi = \frac{s}{432 \cdot 10^3 K_{\text{CVT}} Q_M}. \quad (14-15)$$

Мгновенная интенсивность дождя для машин кругового действия ρ_{MG} (мм/мин.) определяется по формуле:

$$\rho_{\text{MG}} = \frac{1200Q_M}{R_M^2 \varphi_C}, \quad (16)$$

где φ_C – угол сектора захвата в данный момент времени.

Изменение влагозапасов в почве перед машиной в прямом ходе при поливе части круга можно представить, как:

$$f_1(\varphi) = W_0 - 10E\xi \int_0^\varphi M_1'(\varphi) d\varphi. \quad (17)$$

После прохода машины в момент времени t влагозапасы будут определяться:

$$W_1 = f_1(\varphi) + M_1'(\varphi). \quad (18)$$

Если при движении в обратную сторону перед машиной влагозапасы в почве представить функцией $f_2(\varphi)$, то позади нее они определяются из выражения:

$$W_2 = f_2(\varphi) + M_2'(\varphi). \quad (19)$$

Связь между функциями $f_1(\varphi)$ и $f_2(\varphi)$ можно получить исходя из следующих соображений. В точку φ повторно машина попадает через промежуток времени Δt , пройдя путь s .

В общем виде:

$$\Delta t = \xi \int_\varphi^s [M_1'(\varphi) + M_2'(\varphi)] d\varphi = \xi(s - \varphi) M, \quad (20)$$

где s – путь, проходящий последней тележкой.

Максимальное значение пути, пройденное тележкой в одну сторону, соответствует длине дуги окружности траектории движения тележки:

$$s_{\text{MAX}} = \ell = 2\pi R_M. \quad (21)$$

Частный случай – полив половины окружности.

Время Δt складывается из времени достижения половины дуги окружности в прямом проходе и времени обратного движения:

$$\Delta t = \xi \int_\varphi^{s/2} [M_1(\varphi) + M_2(\varphi)] d\varphi = \xi \left(\frac{\ell}{2} - \varphi \right) M. \quad (22)$$

Тогда:

$$f_2(\varphi) = f_1(\varphi) + M_1'(\varphi) - 10E(s - \varphi) M, \quad (23)$$

$$f_2(\varphi) = f_1(\ell) = W_0 = \text{const}, \quad (24)$$

где W_0 – минимально допустимые влагозапасы расчетного слоя почвы, м³/га;

E – интенсивность водопотребления, мм/сут.

Дифференцируя выражение (23) и учитывая (17) и (24), получим:

$$\frac{dM_1'(\varphi)}{d\varphi} - 10E\xi M_1'(\varphi) = -10E\xi M. \quad (25)$$

Тогда с учетом выражения (13):

$$M_1'(\varphi) = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}(\varphi)} [1 - e^{10E\xi(\varphi-s)}], \quad (26)$$

$$M_2'(\varphi) = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}(\varphi)} e^{10E\xi(\varphi-s)}. \quad (27)$$

Таким образом, задавая путь, который проходит последняя тележка, можно определить оптимальное значение нормы при поливе в одну и в обратную сторону. Поскольку конструктивно норма полива меняется при движении не непрерывно, разбиваем общую поливную площадь на сектора, в заданных точках которых будет меняться скорость машины и, следовательно, норма полива.

В зависимости от общего количества секторов и номера сектора, получим:

$$M_i' = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}(\varphi)} \left[1 - \frac{1}{(1 + 10E\xi \ell_{\text{CEK}})^{i-1}} \right], \quad (28)$$

где i – номер участка от начала поля, $i=1, 2, \dots, n$;

n – общее количество участков разбиения;

M_i – поливная норма на i -м участке.

Здесь $\ell_{\text{CEK}} = 2\pi R_M / n$.

Величина осадков, подпитка грунтовыми водами и потери на сток и фильтрацию могут быть учтены для специфических условий эксплуатации корректирующим коэффициентом, зависящим от региона местности, климатических и почвенных условий ψ в границах 0,9–1,1. Его определение требует дополнительных экспериментальных исследований.

$$M_i' = 2\psi \pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}} V_{\text{CP}}(\varphi)} \left[1 - \frac{1}{(1 + 10E\xi \ell_{\text{CEK}})^{i-1}} \right]. \quad (29)$$

При обратном движении нормы полива отсчитываются таким же образом, только в обратном порядке.

Результаты исследований

Рассмотрим пример для полива половины поливного круга с реверсом. Условия: задаваемая

поливная норма – 300 м³/га, длина машины – 300 м, коэффициент использования времени – 0,8, расход машины – 41 л/с, водопотребление – 7 мм/сут. Оптимизация выдачи поливной нормы при делении на 6 участков отражена на рис. 2.

Исследования проводились на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (с. Степное Энгельсского района Саратовской области), УНПК «Агроцентр» СГАУ; ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марковский район). Дождевальные машины – «Кубань ЛК1М» («Каскад») и «КАСКАД» – показаны на рис. 3.

Для широкозахватных дождевальных машин (ДМ) кругового действия наиболее опасным

участком в отношении образования поверхностных стоков и ирригационной эрозии является участок, расположенный в конце водопроводящего трубопровода. Здесь дождеватели используют увеличенный диаметр сопел, значительный расход и крупнокапельный дождь.

Средняя интенсивность дождя ДМ – до 0,5 мм/мин. при диаметре капель до 1,0 мм – обеспечивает возможность экологически безопасного полива, позволяет увеличить достоящую поливную норму, повышая, соответственно, несущие свойства почвы в зоне последних тележек.

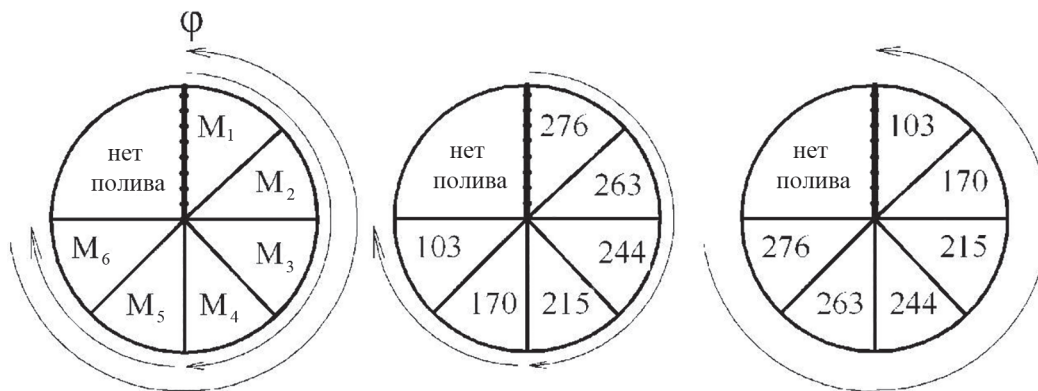


Рисунок 2 – Оптимизация выдачи поливной нормы при делении на 6 участков



Рисунок 3 – Дождевальная машина «КАСКАД»

Из табл. 1 видно также влияние фазы развития растения на величину стока. При росте растений и, соответственно, их защитных свойств для почвы

достоящая норма полива увеличивается. Наиболее щадящий режим полива требуется в начале поливного периода.

Таблица 1 – Характеристики полива

Тип почвы	Марка ДМ	Эффективная норма полива, $m_э$, м ³ /га	Достоковая норма полива, $m_{дост}$, м ³ /га	Величина стока $m_{ст}$ под последним пролетом, м ³ /га	Примечание
Чернозем обыкновенный	«Кубань-ЛК1»	305	530	0	
		400	540	0	
		510	535	0	
Темно-каштановый суглинок	«Кубань-ЛК1М» («КАСКАД»)	300	535	0	кукуруза период цветения
		405	540	0	
		495	550	0	
	«Кубань-ЛК1М» («КАСКАД»)	300	380	0	незащищенная растением почва
		405	385	20	
		500	390	110	

Заключение

В процессе конструирования и эксплуатации ДМ кругового действия необходимо учитывать ряд основных факторов, влияющих на возникновение стока при поливе: расход, скорость движения машины, слой дождя за один проход, интенсивность дождя, характеристики почвы, средний диаметр капель, рельеф местности.

На величину достоковой нормы полива оказывает влияние фаза развития растения. В процес-

се роста растений, при увеличении их защитных свойств по отношению к почве достоковая норма полива увеличивается. Наиболее щадящий режим полива требуется в начале поливного периода.

Повышение качества полива может быть обеспечено изменением поливной нормы в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля на момент их полива, адаптацией режима полива к изменяющимся в течение поливного периода условиям, повышением экологической безопасности за счет исключения переполива и водной эрозии почв.

Библиографический список

1. Рекомендации по научно обоснованным технологиям орошения сельскохозяйственных культур кукурузы на зерно, картофеля, лука и моркови современными стационарными широкозахватными круговыми и фронтальными дождевальными машинами Reinke и Valley в условиях центральной орошаемой зоны Ростовской области / под ред. Н. А. Иванова; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2013. – 30 с.
2. Фокин, Б. П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: дис. ... д-ра техн. наук / Б. П. Фокин. – Ставрополь, 2002. – 313 с.
3. Снопич, Ю. Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: дис. д-ра техн. наук / Ю. Ф. Снопич. – Новочеркасск, 2011. – 340 с.
4. Щедрин, В. Н. Оросительные системы России: от поколения к поколению : монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов. – Новочеркасск, 2013. – 283 с.
5. Лебедев, Б. М. Дождевальные машины / Б. М. Лебедев. – М. : Машиностроение, 1965. – 225 с.

Поступила 06.03.2019