

13 Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур / Я. Байер [и др.]; пер. с чеш. З. К. Благовещенской. – М.: Колос, 1984. – 368 с.

14 Коровин, А. И. Растения и экстремальные температуры / А. И. Коровин. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 271 с.

15 Дубенок, Н. Н. Малоинтенсивное дождевание картофеля в условиях юга России: монография / Н. Н. Дубенок, В. В. Бородычев, Р. А. Чечко; РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М.: Проспект, 2017. – 176 с.

16 Агробаза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrobaza.ru>, 2018.

17 Новикова, И. В. Водопотребление и режим орошения картофеля в Ростовской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Новикова Инна Викторовна. – Новочеркасск, 2006. – 28 с.

УДК 631.674.5

С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, М. А. Ляшков

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ПОЛИВНОЙ НОРМЫ

Целью исследования являлась оптимизация работы дождевальной машины за счет применения водосберегающей поливной нормы, которая обеспечит сокращение затрат поливной воды. В данной статье представлена методика, разработанная А. П. Лихачевичем, позволяющая определить затраты поливной воды при орошении сельскохозяйственных культур дождевальными машинами, работающими на нескольких позициях. Это дает возможность повысить эффективность работы дождевальной техники и оптимизировать работу оросительной системы в целом.

Ключевые слова: орошение, дождевальная машина, поливная норма, водопотребление, затраты.

S. M. Vasilyev, Yu. E. Domashenko, M. A. Lyashkov

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

OPTIMIZATION OF THE SPRINKLING MACHINE OPERATION BY MEANS OF WATER-SAVING IRRIGATION RATE APPLICATION

The aim of the study was to optimize the sprinkler's operation by applying a water-saving irrigation rate that would reduce irrigation water costs. A methodology developed by A. P. Likhatsevich which makes it possible to determine the irrigation water costs during irrigation of agricultural crops by sprinkling machines operating at several positions is presented. This makes it possible to increase the efficiency of the sprinkler technique operation and to optimize the irrigation system operation as a whole.

Key words: irrigation, sprinkler, irrigation rate, water consumption, costs.

Введение. На современном этапе мелиорация призвана обеспечивать рациональное использование природного потенциала сельскохозяйственных угодий, повышение их продуктивности, устойчивости и экологической безопасности. Орошение как элемент гидротехнической мелиорации повышает плодородие почвы за счет управления водным, воздушным и питательным режимами, что позволяет динамично развиваться сельскому хозяйству [1, 2].

Дождевание как способ орошения сельскохозяйственных культур обеспечивает растения доступной влагой по принципу дробления поливной воды на отдельные капли

в оптимальном количестве, что способствует ее переводу в состояние почвенной влаги, это позволяет равномерно распределить ее по площади и глубине. Достигается это за счет таких параметров дождевальной машины, как напор и расход, а в совокупности со скоростью перемещения машины или временем дождевания дает возможность реализации различных поливных норм. Эффективное использование дождевальных машин обеспечивает равномерное увлажнение без образования стока за счет эффективной поливной нормы, которая обеспечивает получение максимальной прибавки урожая [3–5].

Количество воды, необходимое орошаемой культуре, зависит от глубины корнеобитаемого слоя почвы, особенностей культуры и фазы ее развития, механического состава и водно-физических свойств почвы, способа и назначения полива и др.

В современных условиях при остром дефиците природной воды и высокой потребности в сельскохозяйственной мелиорации требуется внедрение таких систем и способов орошения, которые способствовали бы экономии воды. Дождевание как один из видов орошения позволяет сократить потребление природной воды в 5–6 раз по сравнению с поверхностным поливом [6].

Материал и методы. Работа дождевальной машины на нескольких позициях обусловлена большим количеством холостых перемещений, таких как транспортировка с позиции на позицию и холостой ход на позиции до положения, удобного для транспортировки. Наличие холостого хода обуславливает увеличение затрат поливной воды, так как перед транспортировкой на другую позицию необходимо произвести сброс воды из дождевальной машины [7].

В связи с этим следует снизить потребление ресурсов до минимума, не уменьшая количество воды, необходимое растениям, и исключая вредное воздействие на почву. Для расчета минимизации затрат поливной воды используем методику, разработанную А. П. Лихацевичем, основанную на принципе минимизации затрат на орошение за счет оптимизации режимов орошения [8].

Результаты и обсуждение. Оптимизацию эксплуатационного режима орошения можно представить в виде:

$$\sum_{z=1}^Z R_z (\Delta Y)^{-1} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\sum_{z=1}^Z R_z$ – сумма удельных затрат (на единицу площади) всех (Z) ресурсов, потребляемых при орошении, руб./га;

ΔY – прибавка урожая при орошении, ц/га.

$$\sum_{z=1}^Z R_z = R_w + R_e + R_s + R_t + R_p + R_{\Delta Y}, \quad (2)$$

где R_w – затраты на воду, руб./м³;

R_e – затраты на электроэнергию, руб./кВт·ч;

R_s – затраты на топливно-смазочные материалы, руб./кг;

R_t – затраты на текущий ремонт, руб.;

R_p – затраты на рабочую силу, руб./чел.-ч;

$R_{\Delta Y}$ – сельскохозяйственные затраты, руб.

$$R_w = c_w [M + n(\Delta m_M + \Delta m_g t + \Delta m_g t_n)], \quad (3)$$

где c_w – эквиваленты единицы воды, МДж/м³ или руб./м³;

M – оросительная норма, м³/га;

n – кратность полива, га/полив;

Δm_M – потери воды при технологических опорожнениях дождевальной машины

в процессе последовательного полива участков в расчете на единицу площади, $\text{м}^3/\text{га}$;

Δm_c – потери воды в процессе полива из оросительной сети за единицу времени, $\text{м}^3/\text{ч}$;

t – полное время, необходимое для полива единицы площади, включая технологические переезды с позиции на позицию, $\text{ч}/\text{га}$;

Δm_g – потери воды в процессе полива из дождевого облака за единицу времени, $\text{м}^3/\text{ч}$;

t_n – время, затраченное на непосредственный полив единицы площади (без учета холостых переездов), $\text{ч}/\text{га}$.

Рассматривая приведенные затраты, необходимые для реализации эксплуатационного режима орошения, следует свести к минимуму все используемые на полив ресурсы.

Оросительная норма при возрастании норм полива приближается к дефициту влагозапасов, а при их снижении – к дефициту водопотребления. Отсюда образуется связь водопотребления сельскохозяйственной культуры с нормой орошения, при этом получим:

$$M = D_E + \nu m, \quad (4)$$

где D_E – дефицит водопотребления сельскохозяйственной культуры, характеризующий засушливость года, $\text{м}^3/\text{га}$;

ν – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность количества поливов, шт.;

m – норма полива, $\text{м}^3/\text{га}$.

Коэффициент пропорциональности также можно назвать и количеством дополнительных поливов для перекрытия дефицита водопотребления, что вытекает и из уравнения:

$$n = \frac{D_E}{m} + \nu. \quad (5)$$

Поскольку сельскохозяйственные издержки не зависят от величины поливной нормы, то уравнение (1) можно представить в более простой форме:

$$\frac{d}{dm} \left(\sum_z R_z \right)_{|m=m_R} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{d^2}{dm^2} \left(\sum_z R_z \right)_{|m=m_R} > 0, \quad (7)$$

где m_R – ресурсосберегающая величина поливной нормы, $\text{м}^3/\text{га}$.

Решая уравнения (6) и (7) и подставив вместо общей суммы (2) только затраты воды на орошение (3), получим норму полива, при которой происходит наибольшая экономия поливной воды. Для этого распишем уравнение (3) с учетом зависимостей (4) и (5):

$$R_w = c_w \left(\nu + \frac{D_E}{m} \right) (m + \Delta m_M + \Delta m_c t + \Delta m_g t_n).$$

Полное время, необходимое для полива единицы площади, складывается из двух составляющих:

$$t = t_n + t_x,$$

где t_x – время, затрачиваемое на холостые перегоны при поливе единицы площади, если таковые необходимы по технологии полива, $\text{ч}/\text{га}$.

В свою очередь в соответствии с принятыми обозначениями:

$$t_n = m \left(Q_H - \Delta m_c - \frac{\Delta m_M}{t_n} - \Delta m_g \right)^{-1}, \quad (8)$$

где Q_H – часть расхода, подаваемая от насосной станции к данной дождевальной машине, м³/ч.

Введем в расчет известный показатель, учитывающий потери воды на испарение из дождевого облака:

$$\beta = \frac{Q_H - \Delta m_c - \Delta m_g}{Q_M},$$

где Q_M – расход дождевальной машины, м³/ч.

С учетом последнего равенства из зависимости (8) получим:

$$t_n = \frac{m + \Delta m_M}{\beta Q_M}.$$

Следовательно, получим:

$$R_w = c_w \left(v + \frac{D_E}{m} \right) \left[\Delta m_c t_x + (m + \Delta m_M) \frac{Q_H}{\beta Q_M} \right].$$

Из уравнения (6) получим:

$$\frac{dR_w}{dm} = \frac{c_w Q_H}{\beta Q_M} \left[v - \frac{D_E}{m^2} \left(\Delta m_M + \beta Q_M t_x \frac{\Delta m_c}{Q_H} \right) \right].$$

Необходимое условие минимума (6) затрат воды на орошение выполняется, если:

$$m_w = \sqrt{\frac{D_E}{v} \left(\Delta m_M + t_x \beta Q_M \frac{\Delta m_c}{Q_H} \right)},$$

где m_w – норма одного полива, при которой затраты воды на орошение минимальны, л/с.

Проверим выполнение условия (7):

$$\frac{d^2 R_w}{dm^2} = 2 \frac{c_w Q_H}{\beta Q_M m^3} \left(\Delta m_M + \beta Q_M t_x \frac{\Delta m_c}{Q_H} \right) > 0.$$

Обозначим отношение дефицита водопотребления к количеству перекрывающих поливов приведенным дефицитом водопотребления сельскохозяйственных культур:

$$D_E^* = D_E / v.$$

Тогда водосберегающая поливная норма определится по формуле:

$$m_w = \sqrt{D_E^* \left(\Delta m_M + t_x \Delta m_c \frac{\beta Q_M}{Q_H} \right)}.$$

Из этого следует, что водосберегающая поливная норма определяется дефицитом водопотребления за оросительный период, отношением расхода дождевальной машины к расходу насосной станции, потерями воды из оросительной сети за время холостых перемещений дождевальной машины, технологическими потерями из машины и потерями из дождевого облака. Поливная норма будет минимальной, если будут исключены холостые перемещения и транспортировка с позиции на позицию.

Затраты времени на холостую транспортировку машины с позиции на позицию определяются как:

$$t_x = 10000 / lV,$$

где 10000 – площадь, соответствующая 1 га, м²/га;

l – длина крыла дождевальной машины, м;

V – скорость холостого переезда, м/ч;

Затраты на спуск воды из водопроводящих труб после завершения полива дож-

девальными машинами на нескольких позициях позволяют установить все необходимые показатели для определения водосберегающей поливной нормы, которая и обеспечит сокращение потребности в природной воде.

Выводы. При оптимизации водопользования на оросительных системах в целом следует учитывать ряд факторов. Поливная норма – один из элементов, которые помогают повысить эффективность работы дождевальной техники, что дает возможность оптимизировать работу всей оросительной системы. Расчеты по данной методике позволяют оптимизировать работу дождевальной машины на нескольких позициях, что способствует сокращению потребления водных ресурсов в орошаемом контуре. В дальнейшем это даст возможность разработать эффективную систему водопользования в рамках функционирования оросительной системы от водозабора до орошаемого участка.

Список использованных источников

1 Семененко, С. Я. Экологическая оптимизация полива дождеванием кормовых культур аридной зоны: монография / С. Я. Семененко. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2012. – 208 с.

2 Васильев, С. М. Цикличность климатических факторов в оценке динамики урожайности зерновых культур на орошаемых землях / С. М. Васильев, А. В. Акопян // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2011. – № 65(01). – С. 1–14. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/01.pdf>.

3 Фокин, Б. П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин: науч. изд. / Б. П. Фокин, А. К. Носов. – Ставрополь, 2011. – 80 с.

4 Колесник, Ф. И. Эффективность использования дождевальной техники: обзор информ. / Ф. И. Колесник, Н. Ф. Соловьева. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1986. – 24 с.

5 Васильев, С. М. Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения / С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, А. Н. Бабичев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 2(26). – С. 1–18. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477-field6.pdf.

6 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, А. В. Колганов, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

7 Бредихин, Н. П. Особенности работы дождевальной машины «Фрегат» на нескольких позициях / Н. П. Бредихин, Т. И. Ильинов // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 5. – С. 34–37.

8 Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск: Белорус. наука, 2005. – 278 с.

УДК 631.587:911.6

А. В. Шевченко, А. А. Белоусов

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

О СОВРЕМЕННЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И ИХ СВЯЗИ С НЕБЛАГОПРИЯТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ И ЯВЛЕНИЯМИ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

В настоящей статье рассмотрены современные геоморфологические процессы и показана их связь с неблагоприятными процессами и явлениями на орошаемых землях. Проведен анализ работы оросительных систем в условиях различных морфогене-