

УДК 631.674.5

DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-89-104

**М. А. Ляшков**

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

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ В РАМКАХ НЕСКОЛЬКИХ ОРОШАЕМЫХ УЧАСТКОВ**

Целью работы являлась оптимизация работы дождевальной машины в рамках нескольких орошаемых участков с учетом условий транспортирования между позициями. Использована методика Н. П. Бредихина и Т. И. Ильинова при расчете холостых и рабочих перемещений дождевальной машины на разных позициях. Оптимизация работы дождевальной машины за счет использования систем автоматизации, таких как датчик положения машины, датчиков влажности почвы и двигателя, регулирующего скорость движения последней тележки, позволяет увеличивать скорость движения тележек по секторам, исключая остановку машины во время полива, что делает процесс непрерывным и сокращает холостой ход машины. В первом варианте рассмотрена работа машины на двух позициях. При перемещении дождевальной машины между гидрантами со стороны центральной опоры уменьшение холостого хода составит 17,9 %. Во втором варианте представлена работа машины на трех позициях: сокращение холостого хода при перемещении со стороны центральной опоры составит 19,5 %, а со стороны центральной опоры и консольной части 19,3 %. В третьем варианте приведены результаты работы машины на четырех позициях. Со стороны центральной опоры рассчитанный холостой ход сократится на 25,7 %, со стороны центральной опоры и консольной части – на 21,6 %. Результаты исследования позволяют установить оптимальный режим работы дождевальной машины при использовании различных технологических схем, а также еще на стадии проектирования оценить эффективность работы дождевальной машины при различных схемах перемещения с позиции на позицию.

Ключевые слова: дождевальная машина, оптимизация, холостой ход, рабочий ход, технологическая схема, центральная опора, консольная часть.

**M. A. Lyashkov**

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

## **OPTIMIZATION OF A SPRINKLING MACHINE OPERATION WITHIN A FRAMEWORK OF SEVERAL IRRIGATED PLOTS**

The aim of the work was to optimize the sprinkler operation in several irrigated plots taking into account the conditions of transportation between positions. The methods used by N. P. Bredikhin and T. I. Il'inoва are used in calculating free and working movements of the sprinkler in different positions. Optimization of the sprinkler operation through the use of automation systems, such as the position sensor of the machine, soil moisture sensors and the engine that regulates the speed of the last carriage, increases the speed of movement of carts across sectors, eliminating the machine stoppage during irrigation, which makes the process continuous and reduces idle action of the car. When moving the sprinkler between the hydrants from the side of the central support the reduction of idling will be 17.9 %. In the sec-

ond variant, the work of the machine in three positions is presented: reduction of idling when moving from the side of the central support will be 19.5 %, and from the side of the central support and the cantilever it will be 19.3 %. The third version shows the results of the machine in four positions. From the central support, the calculated idling speed will be reduced by 25.7 %, from the central support and the cantilever part – by 21.6 %. The results of the study allow to determine the optimum mode of sprinkler operation when using various technological schemes, as well as at the design stage to evaluate the efficiency of the sprinkler with different schemes of movement from position to position.

Keywords: sprinkler, optimization, idling, operation run, technological scheme, central support, cantilever part.

**Введение.** Стабильное развитие АПК и обеспечение продовольственной безопасности России опираются на мелиорированные земли. Оросительные системы, являясь основным фактором стабильного сельскохозяйственного производства, должны оставаться на высоком техническом уровне. Снижение уровня технического состояния приведет к деградации различных сфер функционирования АПК в целом [1, 2].

Дождевальные машины (ДМ), как заключительное звено в системе распределения воды от источника на поля, осуществляя полив различных сельскохозяйственных культур, должны динамично развиваться с целью достижения равномерного увлажнения поверхности почвы во избежание перенасыщения ее влагой. Кроме того, с их помощью можно повысить агро-мелиоративный потенциал поливной воды за счет применения микроудобрений, а также производить протравливание путем опрыскивания сельскохозяйственных культур ядохимикатами. Эффективность использования ДМ повышает и ускоряет окупаемость капиталовложений [3–7].

Орошение дождеванием постоянно совершенствуется, а именно изменяются требования к устройствам и технологиям орошения, в т. ч. способам передвижения ДМ и установок, что позволяет осуществить равномерное распределение оросительной воды на поле при необходимой норме подачи в нужное время [8–10].

Анализ источников (К. В. Губер, Ф. И. Колесник, Ю. Ф. Снопич и др.) [5, 11, 12] показал, что перспективное направление орошения самоходными круговыми машинами позволит достичь высоких показателей

урожайности сельскохозяйственных культур при минимальных затратах поливной воды и повысить плодородие земель за счет эффективного распределения ее в пределах орошаемого участка.

Целью исследований является оптимизация работы дождевальной машины в рамках нескольких орошаемых участков с учетом условий транспортирования между позициями.

**Материалы и методы.** По методике, разработанной Н. П. Бредихиным и Т. И. Ильиным, буксируемые ДМ применяются, как правило, на одной-двух позициях. Но также они могут использоваться на трех и четырех позициях, если реализовывать различные схемы установки [13].

При работе на одной позиции скорость движения машины и число полных оборотов зависят от принятой нормы полива и их числа. Перерыв между двумя последовательными оборотами зависит от принятой продолжительности межполивного периода. Этот технологический процесс аналитически можно выразить в виде следующих зависимостей:

$$S_p = 2\pi Rk,$$

$$T_p = \sum_{i=1}^{i=k} 2\pi Rk / V_{pi},$$

где  $S_p$  – рабочий путь за оросительный период, м;

$R$  – радиус окружности, описываемой последней опорой, м;

$k$  – число полных оборотов машины за поливной период;

$T_p$  – продолжительность всех рабочих циклов, ч;

$i$  – номер круга;

$K$  – количество кругов;

$V_{pi}$  – скорость движения последней тележки на  $i$ -м круге, м/ч.

При работе машины на двух позициях возможны два случая ее перемещения с позиции на позицию. Рассмотрим каждый в отдельности.

Перемещение машины от первого гидранта ко второму и обратно производится только со стороны центральной опоры.

Совершив один полный рабочий оборот вокруг первого гидранта, машина располагается так, что ее можно за центральную опору транспортировать ко второму гидранту.

После завершения одного полного рабочего оборота вокруг второго гидранта машина занимает такое положение, при котором ее невозможно переместить к первому гидранту за центральную опору. Чтобы выполнить эту операцию, машина должна совершить еще половину рабочего оборота. В дальнейшем необходимость в дополнительной половине оборота будет возникать поочередно то на первой, то на второй позиции. В результате технологический процесс можно выразить в виде следующих зависимостей:

$$S_{xn} = 4Rm,$$

$$S_{pn} = 4\pi Rm + 2\pi R(2m - 1) = (6m - 1)\pi R,$$

где  $S_{xn}$  – общая протяженность холостых перемещений за оросительный период, м;

$m$  – число полных перемещений – циклов машины (каждое полное перемещение включает в себя перемещение с первой позиции на вторую и возвращение на первую позицию);

$S_{pn}$  – общая протяженность рабочих ходов, м.

С другой стороны, учитывая отмеченную выше цикличность перемещений, можно записать, что общая протяженность холостых и рабочих ходов определится как:

$$S_{он} = 4R + 5\pi R + (4R + 6\pi R)(m - 1),$$

где  $S_{он}$  – общая протяженность холостых и рабочих ходов, м;

$4R + 5\pi R$  – суммарная протяженность холостых и рабочих ходов после первого цикла перемещений;

$(4R + 6\pi R)(m - 1)$  – суммарная протяженность холостых перемещений и рабочих ходов последующих циклов.

Перемещение машины от первого гидранта ко второму производится

со стороны центральной опоры, а от второго гидранта к первому – со стороны консольной части.

Технологические операции при работе машины по этой схеме выражаются следующими зависимостями:

$$S_{xn} = 4Rm,$$

$$S_{pn} = 4\pi Rm,$$

$$S_{оп} = 4R - 5\pi R + (4R + 4\pi R)(m - 1).$$

Для полноты общей картины также рассмотрены особенности работы ДМ на трех и четырех позициях, что может иметь место в районах, характеризующихся достаточной влагообеспеченностью, но в которых периодически отмечаются непродолжительные засухи.

**Результаты и обсуждение.** Рассмотрим несколько технологических схем работы ДМ на разных позициях. Определим следующие показатели технологических схем:

- площадь поля, на котором производится полив, – 30 га;
- расстояние от центральной опоры до последней тележки 285 м;
- количество поливов за поливной период равно семи, отсюда число полных перемещений (циклов) семь.

Расчетные формулы и примеры решений по всем приведенным технологическим схемам приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Расчетные формулы и примеры решений по технологическим схемам применения ДМ**

Технологическая схема		Протяженность перемещения		Полученное значение	
		холостой ход	рабочий ход	холостой ход, м	рабочий ход, м
1		2	3	4	5
Перемещение со стороны центральной опоры	Работа на двух позициях	$4Rm$	$\pi R(6m - 1)$	7980	36691
	Работа на трех позициях	$6Rm$	$\pi R(8m - 2/3)$	11970	49494
	Позиции расположены по треугольнику				

Продолжение таблицы 1

1		2	3	4	5	
	Работ на четырех позициях	Позиции расположены по квадрату	$8Rm$	$\pi R(10m - 0,5)$	15960	62203
Перемещение со стороны центральной опоры и консольной части	Работа на двух позициях		$4Rm$	$4\pi Rm$	7980	25057
	Работа на трех позициях	Позиции расположены по треугольнику	$6Rm$	$8\pi Rm$	11970	50114
	Работа на четырех позициях	Позиции расположены по квадрату	$8Rm$	$\pi R(12m - 1,5)$	15960	73829

Определим общую протяженность холостых и рабочих ходов, а также их суммарную протяженность для всех схем по методике Н. П. Бредихина.

1 Работа машины на двух позициях:

а) перемещение ДМ между гидрантами осуществляется только со стороны центральной опоры.

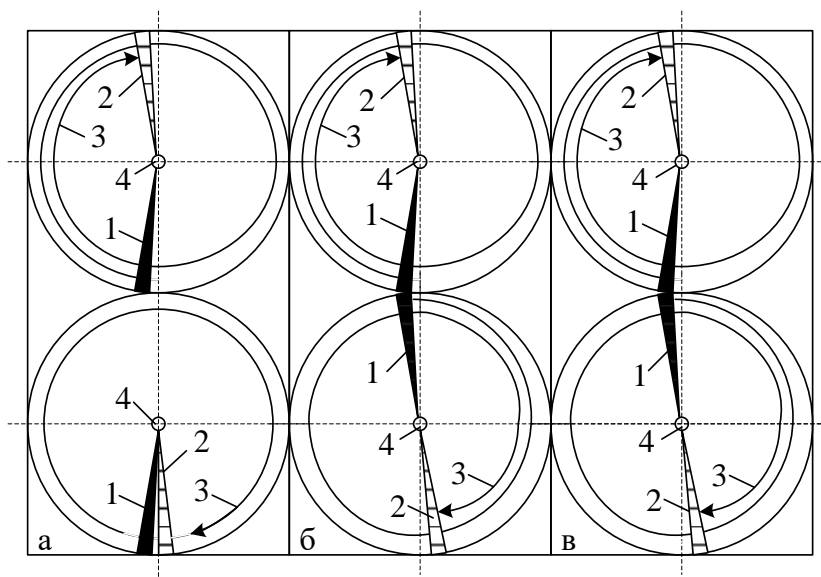
При работе машины на двух позициях, совершив полный рабочий оборот на первой позиции, ее можно переместить на вторую позицию за центральную опору. Совершив полный рабочий оборот вокруг второго гидранта, машина займет такое положение, при котором ее невозможно переместить к первому гидранту за центральную опору. Для этого машина должна совершить еще половину рабочего оборота. Необходимость в дополнительной половине оборота будет возникать поочередно то на первой, то на второй позиции на протяжении всего поливного периода (рисунок 1).

$$S_{xn} = 4R \cdot m = 4 \cdot 285 \cdot 7 = 7980 \text{ м,}$$

$$\begin{aligned} S_{pn} &= 4\pi Rm + 2\pi R(2m - 1) = (6m - 1)\pi R = \\ &= (6 \cdot 7 - 1) \cdot 3,14 \cdot 285 = 41 \cdot 3,14 \cdot 285 = 36691 \text{ м,} \end{aligned}$$

$$S_{\text{оп}} = 4R + 5\pi R + (4R + 6\pi R)(m - 1) =$$

$$= 4 \cdot 285 + 5 \cdot 3,14 \cdot 285 + (4 \cdot 285 + 6 \cdot 3,14 \cdot 285)(7 - 1) = 44671 \text{ м.}$$



*а, б, в* – 1, 2 и 3-й циклы; 1 – исходное положение ДМ; 2 – положение ДМ после завершения рабочих оборотов; 3 – направление перемещения машины; 4 – гидрант закрытой оросительной сети

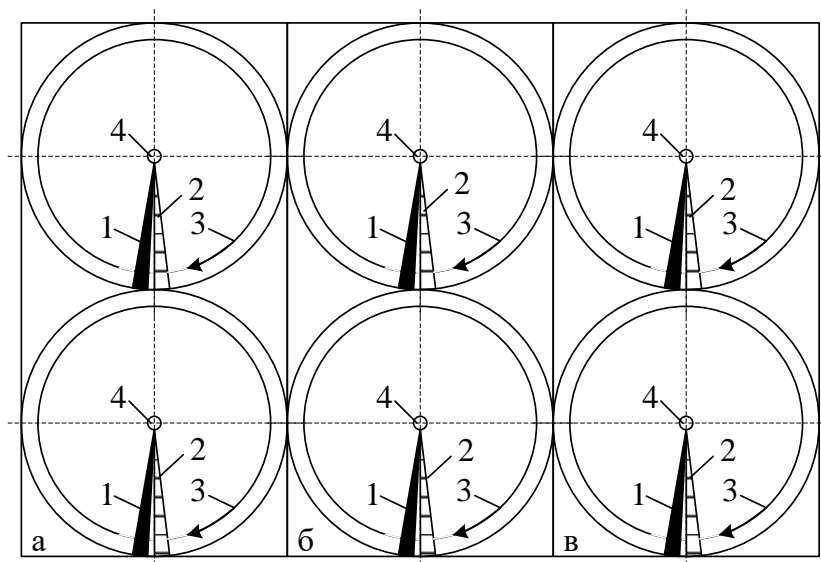
**Рисунок 1 – Схема перемещения ДМ за центральную опору при ее работе на двух позициях**

С учетом оптимизации работы ДМ условно разделим орошаемые участки на четыре равных сектора, в контуре которых выдается определенная поливная норма, регулируемая за счет увеличения скорости движения машины в 2 раза, что позволяет сократить холостой ход на 17,9 %. Динамичное управление ДМ рекомендуется осуществлять с помощью систем автоматизации, а именно датчика положения машины, который устанавливается на опорно-поворотной колонне, датчиков влажности почвы (устанавливаются в каждом секторе орошаемого участка) и двигателя, регулирующего скорость движения последней тележки ДМ, позволяющего регулировать норму полива. Данный подход дает возможность поливать участок непрерывно и обеспечивать равномерность распределения влаги внутри него;

б) перемещение ДМ осуществляется за центральную опору и за консольную часть.

При данной схеме работы машины на первой позиции ДМ делает

один рабочий оборот, перемещение ее на вторую позицию осуществляется за центральную опору. Перемещение машины со второй позиции на первую будет производиться за консольную часть, отсюда нет необходимости машине совершать дополнительно половину рабочего оборота, так как машина уже стоит в нужном положении (рисунок 2).



*а, б, в* – 1, 2 и 3-й циклы; 1 – исходное положение ДМ; 2 – положение ДМ после завершения рабочих оборотов; 3 – направление перемещения машины; 4 – гидрант закрытой оросительной сети

**Рисунок 2 – Схема перемещения ДМ за центральную опору и консольную часть при ее работе на двух позициях**

Определим общую протяженность холостых и рабочих ходов, а также их суммарную протяженность:

$$S_{хл} = 4R \cdot m = 4 \cdot 285 \cdot 7 = 7980 \text{ м,}$$

$$S_{рн} = 4\pi R m = 4 \cdot 3,14 \cdot 285 \cdot 7 = 25057 \text{ м,}$$

$$\begin{aligned} S_{оп} &= 4R - 4\pi R + (4R + 4\pi R)(m - 1) = \\ &= 4 \cdot 285 - 4 \cdot 3,14 \cdot 285 + (4 \cdot 285 + 4 \cdot 3,14 \cdot 285)(7 - 1) = 25878 \text{ м.} \end{aligned}$$

Схема перемещения ДМ не требует применения средств автоматизированной оптимизации, которая регулировала бы норму выдачи поливной воды на поле. Машина при данной схеме не требует дополнительного перемещения по полю и по завершении рабочего цикла находится в оптимальном для транспортирования положении.

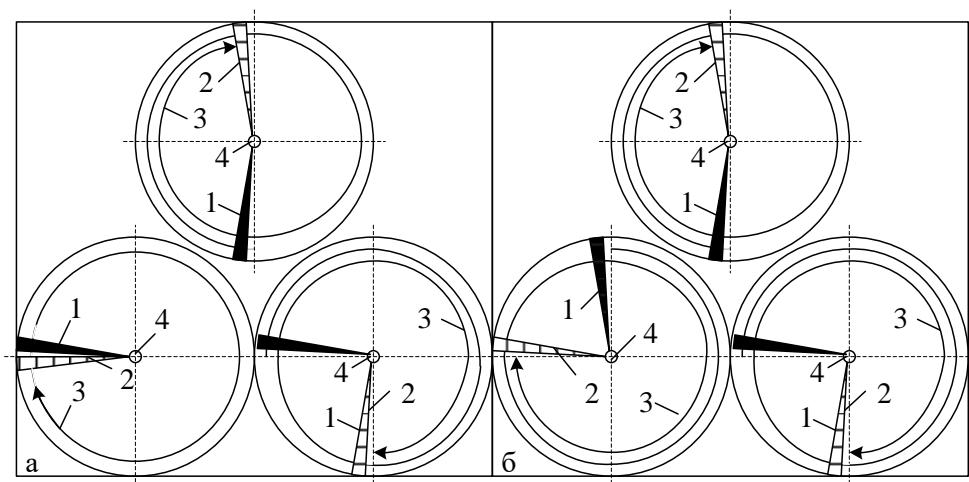


Схема работы ДМ на двух позициях подходит для участков прямоугольной формы, с учетом условий исследования их размер составит  $620 \times 310$  м.

2 Работа машины на трех позициях, расположенных треугольником:

а) перемещение ДМ между гидрантами осуществляется только со стороны центральной опоры.

При данной схеме расположения ДМ и осуществлении перемещения ее за центральную опору машине необходимо делать дополнительные рабочие обороты для того, чтобы стать в положение, удобное для перемещения (рисунок 3).



*а, б* – 1-й и 2-й циклы; *1* – исходное положение ДМ; *2* – положение ДМ после завершения рабочих оборотов; *3* – направление перемещения машины; *4* – гидрант закрытой оросительной сети

**Рисунок 3 – Схема перемещения ДМ за центральную опору при ее работе на трех позициях, расположенных треугольником**

Расчет общей протяженности холостых и рабочих ходов:

$$S_{хл} = 6Rm = 6 \cdot 285 \cdot 7 = 11970 \text{ м,}$$

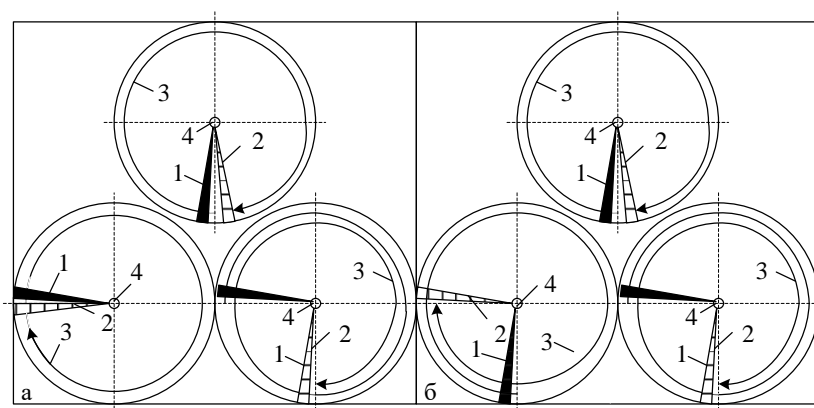
$$S_{рн} = \pi R(8m - 2/3) = 3,14 \cdot 285 \cdot (8 \cdot 7 - 2/3) = 49488 \text{ м.}$$

Для равномерного распределения влаги по участку и исключения неэффективного использования ДМ произведем разбивку орошаемого участка согласно схеме 1. Используя систему автоматизации, будем увеличивать скорость движения машины в 2 раза на первой и третьей позициях в трех

секторах, а на второй позиции в двух секторах, что позволит уменьшить холостой ход на 19,5 %;

б) перемещение ДМ осуществляется как за центральную опору, так и за консольную часть.

Схема перемещения, показанная на рисунке 4, позволяет ДМ перемещать за центральную опору и за консольную часть. В отличие от работы на двух позициях, продолжительность рабочего хода не зависит от способа перемещения машины за центральную опору или за консольную часть, и машине потребуется делать дополнительные обороты для того, чтобы стать в удобное для транспортирования положение.



*a, б* – 1-й и 2-й циклы; 1 – исходное положение ДМ; 2 – положение ДМ после завершения рабочих оборотов; 3 – направление перемещения машины; 4 – гидрант закрытой оросительной сети

**Рисунок 4 – Схема перемещения ДМ за центральную опору и консольную часть при ее работе на трех позициях, расположенных треугольником**

Расчет общей протяженности холостых и рабочих ходов:

$$S_{хл} = 6Rm = 6 \cdot 285 \cdot 7 = 11970 \text{ м,}$$

$$S_{рл} = 8\pi Rm = 8 \cdot 3,14 \cdot 285 \cdot 7 = 50114 \text{ м.}$$

Для оптимизации работы машины при данной схеме перемещения разделим орошаемый участок аналогично схеме 1. Изменяя скорость движения тележек в одном секторе на первой позиции и в трех секторах на третьей позиции, увеличив ее в 2 раза, получим сокращение холостых

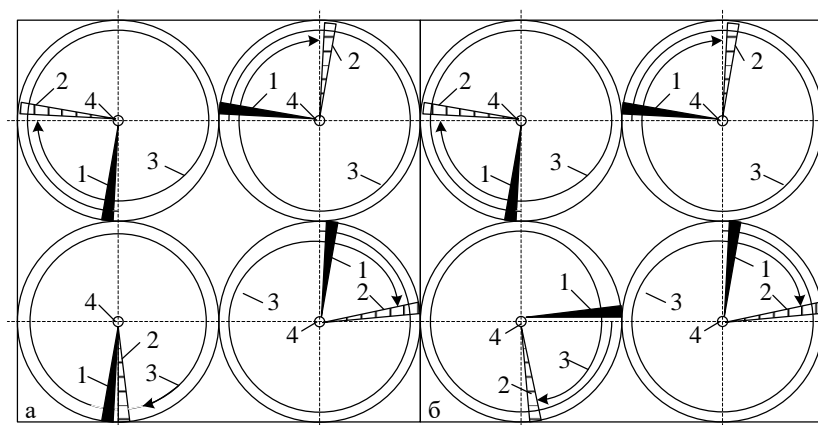
ходов на 19,3 %. Данная система управления работой ДМ позволит менять норму выдачи поливной воды по секторам.

Работа ДМ на трех позициях обусловлена использованием данной схемы на полях определенной конфигурации. При данных исследованиях форма поля приближена к квадрату и в плане имеет параметры  $620 \times 610$  м.

3 Работа машины на четырех позициях, расположенных квадратом:

а) перемещение ДМ между гидрантами осуществляется только со стороны центральной опоры.

ДМ, перемещаемая с позиции на позицию (позиции расположены квадратом), только на первой позиции не требует дополнительного оборота по полю. При нахождении на других позициях ДМ потребуется делать дополнительные перемещения, чтобы она стала в удобное положение для транспортирования на следующую позицию (рисунок 5).



*a, б* – 1-й и 2-й циклы; *1* – исходное положение ДМ; *2* – положение ДМ после завершения рабочих оборотов; *3* – направление перемещения машины; *4* – гидрант закрытой оросительной сети

**Рисунок 5 – Схема перемещения ДМ за центральную опору при ее работе на четырех позициях, расположенных квадратом**

Расчет общей протяженности холостых и рабочих ходов:

$$S_{хл} = 8Rm = 8 \cdot 285 \cdot 7 = 15960 \text{ м,}$$

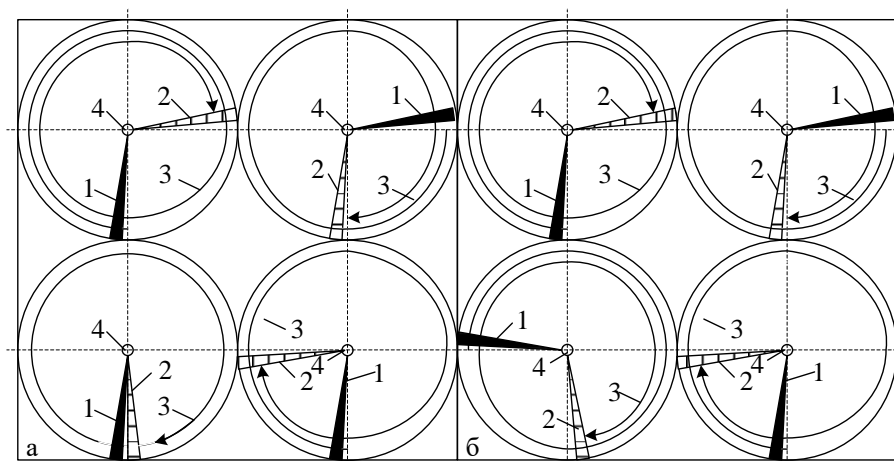
$$S_{рл} = \pi R(10m - 0,5) = 3,14 \cdot 285 \cdot (10 \cdot 7 - 0,5) = 62196 \text{ м.}$$

Оптимизация работы машины за счет увеличения скорости движения тележек на одном секторе в 2 раза с предварительным разделением ороша-

емого участка на сектора по схеме 1 позволит сократить холостой ход на 25,7 %. Данный процесс оптимизации обеспечит равномерный полив и более эффективное использование ДМ;

б) перемещение ДМ осуществляется как за центральную опору, так и за консольную часть.

Транспортирование машины между позициями производится за центральную опору и за консольную часть и может осуществляться в любом порядке. Возможность варьировать способ перемещения ДМ не дает преимущество и не дает возможности сократить рабочий ход по сравнению с перемещением только за центральную опору. Это связано с тем, что и в данном случае машина делает дополнительные обороты для постановки в нужную позицию. Пример одной из возможных схем перемещения показан на рисунке 6.



*a, б* – 1-й и 2-й циклы; 1 – исходное положение ДМ; 2 – положение ДМ после завершения рабочих оборотов; 3 – направление перемещения машины; 4 – гидрант закрытой оросительной сети

**Рисунок 6 – Схема перемещения ДМ за центральную опору и консольную часть при ее работе на четырех позициях, расположенных квадратом**

Расчет общей протяженности холостых и рабочих ходов:

$$S_{хл} = 8Rm = 8 \cdot 285 \cdot 7 = 15960 \text{ м,}$$

$$S_{рн} = \pi R(12m - 1,5) = 3,14 \cdot 285 \cdot (12 \cdot 7 - 1,5) = 73829 \text{ м.}$$

Для динамического управления ДМ разделим исследуемый орошае-

мый участок по схеме, описанной выше, на сектора, в пределах которых будет выдаваться определенная поливная норма. Она будет регулироваться за счет увеличения скорости движения тележек в 2 раза, что сократит протяженность холостого хода машины на 21,6 %, при этом будет меняться норма выдачи воды по секторам, обеспечивая равномерность увлажнения и непрерывность процесса.

Данная схема перемещения требует на двух позициях дополнительного перемещения по трем секторам, а на двух других позициях только по четверти поля. Автоматизированная система управления работой ДМ позволяет уменьшить норму выдачи воды по секторам поля, увеличив скорость прохождения по этим секторам в 2 раза. Система оптимизации позволяет снизить холостой путь на 21,6 %, увеличивая протяженность рабочего хода.

Применение схемы работы ДМ на четырех позициях возможно на полях квадратной конфигурации, в наших исследованиях параметры такого поля составили  $620 \times 620$  м.

Как видно из расчетных схем, приведенных выше, протяженность холостых ходов не зависит от способа транспортирования, а находится в зависимости от схемы перемещения между позициями и количества позиций.

Перемещение ДМ с позиции на позицию смешанным способом (за центральную опору и консольную часть) позволяет в некоторых случаях уменьшить рабочий ход машины, в некоторых случаях это способствует его увеличению. Это связано с тем, что, перемещая машину за консольную часть, перед запуском требуется производить заново настройку машины. И для того чтобы она пришла в исходное состояние, требуется дополнительно увеличивать рабочий ход машины, не принимая во внимание тот дополнительный путь, который она должна пройти для постановки в положение, удобное для транспортирования на другую позицию.

## **Выводы**

1 Изложенный метод позволяет установить оптимальный режим работы ДМ при использовании различных технологических схем и дает возможность еще на стадии проектирования оценить эффективность работы машины при различных схемах перемещения с позиции на позицию.

2 Оптимизация работы ДМ при использовании различных технологических схем размещения позволяет равномерно проводить полив, меняя объем поливной воды, выдаваемой машиной при прохождении определенного участка поля, исключая переувлажнение или недополив при прохождении машины по одному участку.

3 Оптимизация работы ДМ за счет использования систем автоматизации на орошаемых участках позволяет увеличивать скорость движения тележек по секторам в среднем в 2 раза, исключая остановку машины во время полива, что делает процесс непрерывным и сокращает холостой ход машины. При работе машины на двух позициях снижение холостого хода составит 17,9 %, на трех позициях – соответственно 19,5 и 19,3 %, на четырех позициях – 25,7 и 21,6 %.

4 Каждая представленная схема применяется на орошаемых участках определенной конфигурации. Работу машины на двух позициях можно применять на одном либо нескольких участках прямоугольной формы размером  $620 \times 310$  м. Схема на трех позициях треугольником применима на участках с конфигурацией, близкой к квадрату, с параметрами  $620 \times 610$  м, а схема на четырех позициях реализуется на участках квадратной формы размером  $620 \times 620$  м.

## **Список использованных источников**

1 Васильев, С. М. Регулирование управленческих процессов в структурированных проблемных ситуациях АПК / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 4. – С. 12–13.

2 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.

3 Балакай, Г. Т. Концепция дождевальная машины нового поколения для техно-

логии прецизионного орошения / Г. Т. Балакай, С. М. Васильев, 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](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477-field6.pdf).

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

5 Губер, К. В. Дождевальные машины и их применение / К. В. Губер. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 70 с.

6 Irrigation of Forage Crops [Electronic resource] / J. Enciso [et al.]; Texas Cooperative Extension. – Mode of access: <http://irrigationtraining.tamu.edu/docs/irrigation-training/north/crop-guidelines/b-6150.pdf>, 2018.

7 Scherer, T. Selecting a sprinkler irrigation system [Electronic resource] / T. Scherer. – Mode of access: <https://ag.ndsu.edu/crops/spring-wheat-articles/sprinkler-irrigation-rev-2015-ae-91>, 2018.

8 Jobbagy, J. Application of Hose-Reel irrigation machine [Электронный ресурс] / J. Jobbagy, P. Findura // Научные доклады Русенского университета. – 2014. – Т. 53, сер. 1.1. – С. 154–158. – Режим доступа: <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp14/1.1/1.1-28.pdf>.

9 Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справочник / Г. В. Ольгаренко [и др.]; под ред. Г. В. Ольгаренко. – М.: Росинформагротех, 2015. – 264 с.

10 Основные проблемы орошения черноземов юга Европейской части СССР / Е. М. Аниканова [и др.] // Проблемы ирригации почв юга черноземной зоны. – М.: Наука, 1980. – С. 5–11.

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

12 Снипич, Ю. Ф. Совершенствование технических средств орошения дождеванием / Ю. Ф. Снипич. – Новочеркасск: Геликон, 2007. – 110 с.

13 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.

## References

1 Vasil'ev S.M., Domashenko Yu.E., 2016. *Regulirovanie upravlencheskikh protsessov v strukturirovannykh problemnykh situatsiyakh APK* [Regulating managerian processes in structured problem situations of agrarian-industrial complex]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bull. Russian Agricultural Science], no. 4, pp. 12-13. (In Russian).

2 Shchedrin V.N., Vasil'ev S.M., Kolganov A.V., Churaev A.A., 2013. *Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya. V 2 chastyah. CHast' 1* [Irrigation Systems of Russia: From Generation to Generation: monograph. In 2 parts. Ch. 1]. Novocher-kassk, Helikon Publ., 283 p. (In Russian).

3 Balakai G.T., Vasilyev S.M., Babichev A.N., 2017. *Kontseptsiya dozhdeval'noy mashiny novogo pokoleniya dlya tekhnologii pretsizionnogo orosheniya* [The concept of a new generation irrigation machine for precision irrigation technology]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(26), pp. 1-18, available: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec477-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477-field6.pdf). (In Russian).

4 Semenenko S.Ya., 2012. *Ekologicheskaya optimizatsiya poliva dozhdevaniem kormovykh kul'tur aridnoy zony: monografiya* [Ecological Optimization of Irrigation by

Sprinkling Feed Crops of the Arid Zone: monograph]. Volgograd, Volgograd State Agrarian University Publ., 208 p. (In Russian).

5 Guber K.V., 1975. *Dozhdeval'nye mashiny i ikh primeneniye* [Sprinkling Machines and Their Application]. Moscow, Rosselkhoz Publ., 70 p. (In Russian).

6 Enciso J. [et al.], 2018. Irrigation of Forage Crops. Texas Cooperative Extension, available: <http://irrigationtraining.tamu.edu/docs/irrigation-training/north/crop-guidelines/b-6150.pdf>. (In English).

7 Scherer T., 2018. Selecting a sprinkler irrigation system, available: <https://ag.ndsu.edu/crops/spring-wheat-articles/sprinkler-irrigation-rev-2015-ae-91>. (In English).

8 Jobbagy J., Findura P., 2014. Application of Hose-Reel irrigation machine. Scientific reports of the University of Ruse, vol. 53, ser. 1.1, pp. 154–158, available: <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp14/1.1/1.1-28.pdf>. (In English).

9 Ol'garenko G.V. [et al.], 2015. *Resursosberegayushchie energoeffektivnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniya: spravochnik* [Resource-Saving Energy-Efficient, Environmentally Friendly Technologies and Technical Means of Irrigation: a reference book]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 264 p. (In Russian).

10 Anikanova E.M. [et al.], 1980. *Osnovnye problemy orosheniya chernozemov yuga Yevropeyskoy chasti SSSR* [The main problems of irrigation of chernozems in the south of the European part of the USSR]. *Problemy irrigatsii pochv yuga chernozemnoy zony* [Soil Irrigation Problems in the South of the Black Earth Zone]. Moscow, Nauka Publ., pp. 5-11. (In Russian).

11 Kolesnik F.I., Solov'yov N.F., 1986. *Effektivnost' ispol'zovaniya dozhdeval'noy tekhniki: obzor. inform.* [Efficiency of Sprinkler Technology Use: an overview]. Gosagroprom USSR, AgroNIEEITO. Moscow, 24 p. (In Russian).

12 Snipich Yu.F., 2007. *Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv orosheniya dozhdevaniem* [Improvement of Technical Means of Sprinkling Irrigation]. Novochoerkassk, Helicon Publ., 110 p. (In Russian).

13 Bredikhin N.P., Ilyinov T.I., 1984. *Osobennosti raboty dozhdeval'noy mashiny «Fregat» na neskol'kikh pozitsiyakh* [Peculiarities of the “Frigate” sprinkler on several positions]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydrotechnics and Irrigation], no. 5, pp. 34-37. (In Russian).

---

**Ляшков Максим Анатольевич**

Должность: научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: layshkov@mail.ru

**Lyashkov Maxim Anatolevich**

Position: Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: layshkov@mail.ru