УДК 629.3

DOI: 10.35809/2618-8279-2020-3-10

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

ON THE POSSIBILITIES OF USING THE CENTER-PIVOT IRRIGATION MACHINE FOR PROCESSING THE FIELDS OF A COMPLEX FORM

К.Ю. Лепетухин^{1,2}, аспирант

K.Yu. Lepetukhin^{1,2}, postgraduate student

¹Волгоградский государственный технический университет

²АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады»

¹Volgograd state technical university

²JSC "Federal Scientific and Practical Center "Titan-Barricades"

В статье рассмотрена возможность обработки полей сложной формы дождевальными машинами кругового действия с использованием эффектов самоориентации и самоустановки за счет изменения скорости подвижных опор. Предложены методы управления конфигурацией дождевальной машины и алгоритм достижения оптимальной конфигурации. Проанализированы варианты различных технических решений для увеличения коэффициента земельного использования, среди которых нужно отметить ипподромные дождевальные машины, представляющие собой комбинацию фронтальных и круговых дождевальных машин, системы полива углов. Показано, что применение указанных технических решений позволяет использовать дождевальные машины кругового действия для обработки более широкой номенклатуры форм полей. Поэтому актуальной может являться задача изменения формы дождевальной машины без увеличения числа приводов и усложнения системы управления. Приведен пример моделирования движения дождевальной машины кругового действия при обработке квадратного поля.

The article discusses the possibility of processing fields of complex shapes with circular irrigation machines using the effects of self-orientation and self-alignment by changing the speed of the movable supports. Methods for controlling the configuration of the sprinkler and an algorithm for achieving the optimal configuration are proposed. Variants of various technical solutions for increasing the coefficient of land use are analyzed, among which it is necessary to note the racetrack sprinklers, which are a combination of frontal and circular sprinklers, corner irrigation systems. It is shown that the use of these technical solutions allows the use of circular sprinklers for processing a wider range of field shapes. Therefore, the problem of changing the shape of the sprinkler without increasing the number of drives and complicating the control system may be relevant. An example of modeling the movement of a circular sprinkler when processing a square field is given.

Ключевые слова: дождевальная машина кругового действия, управление движением, эффект самоустановки, эффект самоориентации, обработка полей сложной формы, модели складывания дождевальной машины кругового действия.

Keywords: center-pivot irrigation machine, movement control, self-alignment, self-orientation, processing non-circular fields, models of center-pivot irrigation machine folding.

Введение. Широкозахватные дождевальные машины используются для орошения полей во всем мире. По конструкции их можно разделить на две большие группы – дождевальные машины кругового действия и фронтальные дождевальные машины [7]. Каждый тип машин обладает своими достоинствами и недостатками. Так, например, фронтальные дождеваль-

ные машины позволяют обрабатывать поля прямоугольной формы, но в связи с тем, что дождевальная машина движется прямолинейно, необходимо обеспечивать подачу воды и энергии не в одной точке, а на протяжении некоторого маршрута.

С другой стороны, конструкция дождевальных машин кругового действия обеспечивает возможность

подачи воды и энергии через неподвижную точку в центре поля, но форма самого поля представляет собой круг или сектор круга, что оставляет участки необработанной земли между полями.

На рисунке 1 представлена фотография из космоса (полученная в сервисе Google Maps) группы круглых полей в США, на которых видны достаточно большие участки необрабатываемой

Рисунок 2 – Траектория движения опор дождевальной машины при обработке круглого поля (а), квадратного поля при алгоритме складывания парами (б) и при равномерном складывании (в)

земли. Данный недостаток вынесен отдельным пунктом в [10].

Для увеличения КЗИ используют различные технические решения, среди которых можно отметить ипподромные дождевальные машины, представляющие собой комбинацию фронтальных и круговых дождевальных машин [3], системы полива углов [7, 1, 8].

Применение указанных технических решений позволяет использовать дождевальные машины кругового действия для обработки более широкой номенклатуры форм полей. Поэтому актуальной может являться задача изменения формы дождевальной машины без увеличения числа приводов и усложнения системы управления.

Материалы и методы. Дождевальные машины кругового действия состоят из неподвижной центральной опоры, секций трубопровода, шарнирно соединенных между собой, установленных на подвижные самоходные опоры.

Система управления традиционной дождевальной машины поддерживает прямолинейное расположение секций друг относительно друга. Это достигается за счет остановки подвижных самоходных опор, опережающих движение всей дождевальной машины, и их запуском при чрезмерном отставании. В работах [5, 2] показано, что изменением угла между секциями можно обрабатывать поля, форма которых отличается от круга. При этом в качестве подвижных опор рассматриваются такие, которые могут обеспечить движение в произвольном направлении, а секции поворачиваться друг относительно друга на произвольный угол.

На рисунке 2 показаны примеры моделирования движения такой дождевальной машины при различных алгоритмах складывания. Для примера, на рисунке 2а показано движение дожде-

Рисунок 1 – Космическая фотография круглых полей. Участки круглой формы – орошаемые с помощью дождевальных машин поля, участки между кругами – необрабатываемые

Дождевальная машина кругового действия

Рисунок 3 – Варианты изменения радиуса обрабатываемого поля

вальной машины кругового действия, состоящей из 7 секций, обрабатывающих круглое поле, вписанное в квадрат, при этом секции постоянно расположены вдоль текущего радиус-вектора.

Для обработки квадратного поля, описанного вокруг базового круглого, требуется не менее чем в $\sqrt{2}$ раз больше секций той же длины, то есть, в рассматриваемом случае – 10. В диагональном положении эти секции должны быть почти выпрямлены, а в прочих положениях – складываться.

Алгоритм складывания для закона управления, представленного на рисунке 2б, состоит в последовательном складывании секций дождевальной машины попарно до минимально допустимого угла между ними. Секции, не участвующие в складывании, выстраиваются вдоль текущего радиуса обработки поля. Складывание последней пары секций начинается после завершения сближения предыдущей.

Алгоритм складывания для закона управления, представленного на рисунке 2в, состоит в равномерном изменении угла между секциями, независимо от их положения вдоль текущего радиуса [3].

Такая конструкция дождевальной машины позволит реализовать любой закон движения и обработать поле произвольной формы, однако требует сложной системы управления и применения подвижных опор с большим количеством управляемых приводов.

Использование эффекта самоориентации и самоустановки [6] позволяет изменять углы между секциями за счет изменения скорости движения подвижной самоходной тележки. Ставится задача определения законов согласованной работы приводов курсового движения опорных тележек, обеспечивающих заданную форму дождевальной машины в соответствии с известным методом оптимизации формы машины по различным критериям [10].

Результаты и обсуждение. На рисунке 3 показаны варианты изменения

радиуса обрабатываемого поля для дождевальной машины, состоящей из пяти секций, от максимального R , соответствующего сумме длин секций дождевальной машины, до какого-то минимального радиуса r . Для удобства рассмотрения, движение разбито на три этапа: I – этап уменьшения обрабатываемого радиуса; II – этап движения с постоянным минимальным радиусом с сохранением оптимальной конфигурации дождевальной машины; III – этап увеличения обрабатываемого радиуса.

Движение на I этапе осуществляется по следующему алгоритму: дождевальная машина из полностью выпрямленного положения 1 за счет порядка включения подвижных опор достигает требуемого угла между секциями, при этом периферийная тележка 2 уменьшает текущий радиус движения до требуемого минимального радиуса r , подвижные опоры движутся до достижения оптимальной конфигурации 3 по траекториям 4. Вид траектории определяется последовательностью включения и остановки подвижных опор. На рисунке 3а секции совершают поворот до достижения требуемого угла вокруг последовательно останавливаемых опор, начиная с первой и заканчивая последней. На рисунках 3б секции совершают поворот до достижения требуемого угла вокруг последовательно останавливаемых опор, начиная с предпоследней к первой.

Рисунок 4 – Вариант орошения квадратного поля
1 – граница орошаемого квадратного поля, 2 – траектории движения опорных тележек

Движение на II этапе осуществляется с сохранением оптимальной конфигурации, при этом каждая из подвижных опор движется по траектории 5, представляющей собой дугу окружности.

Движение на III этапе осуществляется по следующему алгоритму: секции дождевальной машины из оптимальной конфигурации 3, за счет выравнивания линейных скоростей и движения по траектории 6, позволяют развернуть угол между секциями. Секции, не участвующие в данной операции, движутся по круговым траекториям 7, определяемым текущим радиусом ее движения. На рисунке 3б разворот секций происходит последовательно от первой к последней, при этом на первом этапе все секции двигаются с одинаковой линейной скоростью. На рисунке 3а разворот секций происходит последовательно от последней к первой, при этом на последнем этапе все секции двигаются с одинаковой линейной скоростью.

Периферийная опора 2 осуществляет движение по траектории 8.

Вариант орошения квадратного поля в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 3а, показан на рисунке 4.

Заключение. Показана возможность обработки полей сложной формы дождевальными машинами кругового действия с использованием эффектов самоориентации и самоустановки за счет изменения скорости подвижных опор. Предложены алгоритмы изменения конфигурации. Показан результат математического моделирования движения дождевальной машины в соответствии с предложенными алгоритмами.

Автор выражает благодарность Брискину Е. С. за постановку задачи научного исследования и Малолетову А. В. за разработку программного обеспечения моделирования движения (работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта 19-41-340013 p_a).

Библиографический список

1. Кузнецов, П.И. К вопросу модернизации многоопорных дождевальных машин кругового действия / П.И. Кузнецов // Природообустройство. – Москва, 2011. № 4. – С. 72-76.
2. Лепетухин, К.Ю. Об оптимальном управлении взаимным расположением секций дождевальной машины кругового действия при обработке некруглых полей / К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов, Е.С. Брискин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – Т. 18, № 2. – С. 103-107.
3. Лепетухин, К.Ю. Об управлении роботизированной многоопорной дождевальной машиной кругового типа действия / К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов // Десятая все-российская мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2017). – 2017. – С. 93-95.
4. Лепетухин, К.Ю. О критериях оптимизации движения секций дождевальной машины кругового действия при обработке полей сложной формы / К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов, Е.С. Брискин // Известия ВолгГТУ. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – Волгоград, 2018. – № 8(218). – С. 117-121.
5. Малолетов, А.В. Управление движением опор дождевальной машины кругового действия при движении по полям сложной формы / А.В. Малолетов, К.Ю. Лепетухин // Известия ВолгГТУ. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – Волгоград, 2015. – № 14(178). – С. 143-147.
6. Математическая модель динамики движения дождевальной машины для исследования эффектов самоустановки и самоориентации опорных тележек (Math model of movement dynamics of center-pivot irrigation machine for researching selfalignment and selfpositioning effects of trolley) / В.Н. Платонов, К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов, Е.С. Брискин // XXXI Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС-2019) (г. Москва, 4-6 декабря 2019 г.): сб. тр. конф. / РАН, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления, Ин-т машиноведения им. А. А. Благоврадова РАН, РФФИ [и др.]. – Москва, 2020. – С. 514-517.
7. Многоопорные дождевальные машины / С.Х. Гусейн-заде, Л.А. Перевезцев, В.И. Коваленко, В.Г. Луцкий. – М., Колос, 1984. – 191 с.
8. Патент US6085999A, МПК B05B 3/12 Corner irrigation system/ Jerry D. Gerdes, Omaha; Dale A. Christensen, Arlington, both of Nebr, Valmont industries, Inc., Valley, Nebr – 1998.
9. Фокин, Б.П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин / Б.П. Фокин, А.К. Носов. // Ставрополь: Научное издание, 2011. – С.80.
10. Berne, D. // Agricultural Irrigation Initiative: Overview of Center Pivot Irrigation Systems [Электронный ресурс]. Northwest Energy Efficiency Alliance. – 2015. – Режим доступа: <https://neea.org/img/uploads/overview-of-center-pivot-irrigation-systems.pdf>, свободный (дата обращения: 22.05.2018).
11. On the movement of center-pivot irrigation machine for processing non-circular fields / К.Ю. Лепетухин, М.В. Мирошкина, В.Н. Платонов, А.В. Малолетов [и др.] // 2019 3rd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR) (Innopolis, Russia, 9-11 September 2019) / University Innopolis. – [Publisher: IEEE], 2019. – Pp. 112-115. – DOI: 10.1109/DCNAIR.2019.8875620.
12. About Controlling the Shape of the Sprinkler / Е.С. Брискин, Я.В. Калинин, К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов // Robotics: Industry 4.0 Issues & New Intelligent Control Paradigms: monograph / ed. by Alla G. Kravets. – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2020. – Pp. 147-157. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/2F978-3-030-37841-7>. – (Book ser.: Studies in Systems, Decision and Control (SSDC); volume 272).

Дополнительные сведения об авторе:

Константин Юрьевич Лепетухин, начальника сектора²
lepkon@gmail.com

Bibliographic list

1. Kuznetsov, P.I. On the issue of modernization of multi-support sprinkler machines with circular action / P.I. Kuznetsov // Environmental management. – Moscow, 2011. No. 4. Pp. 72-76.
2. Lepetukhin, K.Yu. On the optimal control of the mutual arrangement of the sections of the circular sprinkler when processing non-circular fields / K.Yu. Lepetukhin, A.V. Maloletov, E.S. Briskin // Mechatronics, automation, control. – 2017. – Vol. 18, No. 2. – Pp. 103-107.
3. Lepetukhin, K.Yu. On the control of a robotic multi-support sprinkler of circular type of action / K.Yu. Lepetukhin, A.V. Maloletov // Tenth All-Russian ulticonference on anagement Problems. – 2017. – Pp. 93-95.
4. Lepetukhin, K.Yu. On the criteria for optimizing the movement of sections of a circular sprinkler when processing fields of complex shape / K.Yu. Lepetukhin, A.V. Maloletov, E.S. Briskin // Izvestiya VolgSTU. Ser. Actual problems of management, computer technology and informatics in technical systems. – Volgograd, 2018. – No. 8(218) August. – Pp. 117-121.
5. Maloletov, A.V. Control of the movement of the sprinkler supports of a circular action when moving along fields of complex shape / A.V. Maloletov, K.Yu. Lepetukhin // News VolgSTU. Ser. Actual problems of management, computer technology and informatics in technical systems. – Volgograd, 2015. – No. 14 (178). – Pp. 143-147.
6. Mathematical model of movement dynamics of center-pivot irrigation machine for researching selfalignment and selfpositioning effects of trolley / V.N. Platonov, K.Yu. Lepetukhin, A.V. Maloletov, E.S. Briskin // XXXI International Innovative Conference of Young Scientists and Students on Mechanical Engineering Problems (MIKMUS-2019) (Moscow, December 4-6, 2019): Sat. tr. conf. / RAS, Department of Energy, Mechanical Engineering, Mechanics and Control Processes, Institute of Mechanical Engineering. AA Blagonravov RAS, RFBR [and others]. – Moscow, 2020. – Pp. 514-517.
7. Multi-support sprinkler machines / S.H. Huseyn-zade, L.A. Perevztsev, V.I. Kovalenko, V.G. Lutsky; Ed. S.Kh. Huseyn-zade. – M., Kolos, 1984. – 191 p.
7. 8. Patent US6085999A, IPC B05B 3/12 Corner irrigation system / Jerry D. Gerdes, Omaha; Dale A. Christensen, Arlington, both of Nebr, Valmont industries, Inc., Valley, Nebr – 1998.
9. Fokin, B.P. Modern problems of using multi-support sprinkler machines / B.P. Fokin, A.K. Nosov // Stavropol: Scientific edition, 2011. – P. 80.
10. Berne, D. // Agricultural Irrigation Initiative: Overview of Center Pivot Irrigation Systems [Electronic resource]. Northwest Energy Efficiency Alliance. – 2015. – Access mode: <https://neea.org/img/uploads/overview-of-center-pivot-irrigation-systems.pdf>, free (date of access: 22.05.2018).
11. On the movement of center-pivot irrigation machine for processing non-circular fields / K.Yu. Lepetukhin, M.V. Miroshkina, V.N. Platonov, A.V. Maloletov [et al.] // 2019 3rd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR) (Innopolis, Russia, 9-11 September 2019) / University Innopolis. – [Publisher: IEEE], 2019. – Pp. 112-115. – DOI: 10.1109/DCNAIR.2019.8875620.
12. About Controlling the Shape of the Sprinkler / E.S. Briskin, Ya.V. Kalinin, K.Yu. Lepetukhin, A.V. Maloletov // Robotics: Industry 4.0 Issues & New Intelligent Control Paradigms: monograph / ed. by Alla G. Kravets. – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2020. – Pp. 147-157. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/2F978-3-030-37841-7>. – (Book ser.: Studies in Systems, Decision and Control (SSDC); volume 272).

Additional information about the author:

Konstantin Yurievich Lepetukhin, head of sector²,
lepkon@gmail.com