УДК 631.347

DOI: 10.35809/2618-8279-2020-2-12

ОБОСНОВАНИЕ РАСХОДА ВОДЫ И СХЕМЫ ПОЛИВА ДЕФЛЕКТОРНЫХ НАСАДОК НА ДМ «БАМБУК»

JUSTIFICATION OF WATER CONSUMPTION AND THE SCHEME OF IRRIGATION OF DEFLECTOR NOZZLES ON DM "BAMBOO"

Н.Ф. Рыжко, доктор технических наук,
С.Н. Рыжко,
Е.А. Шишенин,
Б.Н. Бельтиков

N.F. Ryzhko, doctor of technical sciences,
S.N. Ryzhko,
E.A. Shishenin,
B.N. Beltikov

*Волжский научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации*

*Volga Scientific-Research Institute of Hydraulic Engineering and
Land Reclamation*

Приведено описание новой дождевальной машины «Бамбук» со стеклопластиковым трубопроводом. Машина кругового действия обеспечивает полив в низконапорном режиме при давлении на входе 0,2-0,4 МПа в зависимости от модификации. Длина машины может изменяться от 45 до 450 м, площадь полива варьировать от 0,95 до 66,40 га, а расход воды увеличиваться с 5 до 65 л/с. Дождевальная машина «Бамбук» аналогична известной многоопорной дождевальной машине «Фрегат» и представляет собой модернизированную неподвижную опору, в качестве водопроводящего трубопровода используется стеклопластиковые трубы с внутренним диаметром 150 мм, 100 мм и 63 мм, для жесткости которого используется система вертикальных и горизонтальных тросов. Трубопровод смонтирован на самоходных тележках с модернизированными металлическими колесами, на каждом из которых установлен гидропривод – масляный гидроцилиндр с сервоприводом, обеспечивающий движение машины как по часовой, так и против часовой стрелки. Гидроприводы работают при давлении 7-9 МПа, которое создается масляным насосом с электродвигателем мощностью 250 Вт. Каждый пролет машины состоит из пяти труб длиной 9 м. В качестве дождевателей, обеспечивающих равномерный и мелкокапельный полив, на машине используются устройства приповерхностного полива с дождевальными насадками кругового и секторного полива (патенты 169912, 184562). Определены оптимальные диаметры стеклопластикового трубопровода и длина труб, а также давление на входе ДМ «Бамбук» в зависимости от расхода воды, длины машины и площади полива. Разработанная для первого пролета машины «Бамбук» схема циклического полива при увеличении диаметра сопла дождевальных насадок до оптимальной величины 3,9 мм обеспечивает равномерный полив при достаточном перекрытии струй и значительном уменьшении вероятности засорения насадок.

The description of the new sprinkler machine «Bamboo» with a fiberglass pipeline is given. The circular action machine provides irrigation in a low-pressure mode at an inlet pressure of 0.2-0.4 MPa, depending on the modification. The length of the machine can vary from 45 to 450 m, the irrigation area can vary from 0.95 to 66.40 hectares, and the water consumption increases from 5 to 65 l/s. The Bamboo sprinkler is similar to the well-known "Fregat" multi-support sprinkler and is a modernized fixed support, fiberglass pipes with an inner diameter of 150 mm, 100 mm and 63 mm are used as a water pipeline, for the rigidity of which a system of vertical and horizontal cables is used. The pipeline is mounted on self-propelled trolleys with modernized metal wheels, each of which has a hydraulic drive – a servo-driven oil hydraulic cylinder, which ensures the movement of the machine both clockwise and counterclockwise. Hydraulic drives operate at a pressure of 7-9 MPa, which is created by an oil pump with a 250 W electric motor. Each span of the machine consists of five pipes 9 m long. As sprinklers providing uniform and fine-drop irrigation, the machine uses near-surface irrigation devices with sprinkler nozzles of circular and sector irrigation (patents 169912, 184562). The optimal diameters of the fiberglass pipeline and the length of the pipes, as well as the pressure at the inlet of the DM "Bamboo", were determined depending on the water flow rate, the length of the machine and the irrigation area. The scheme of cyclic irrigation developed for the first flight of the Bamboo machine with an increase in the diameter of the nozzle of the sprinkler nozzles to the optimum value of 3.9 mm will ensure uniform irrigation with sufficient overlapping of the jets and a significant reduction in the probability of clogging of the nozzles.

Ключевые слова: дождевальные машины, оптимальный диаметр трубопровода машины, технология полива дождевальных насадок, равномерность и эффективность полива

Key words: sprinkling machines, the optimal diameter of the pipeline of the machine, sprinkler irrigation technology, uniformity and efficiency of irrigation

Введение. Многоопорная дождевальная машина «Бамбук» является инновационной разработкой ООО «ПоТехИн и К» (работа была выполнена под руководством В.Н. Сопляченко) [1, 2].

«Бамбук» – машина кругового действия и предназначена для полива зерновых, кормовых и технических культур, в том числе высокостебельных (высотой до 2,5 м). Данная машина состоит из модернизированной неподвижной опоры ДМ «Фрегат» и стеклопластикового трубопровода (из труб внутренним диаметром 150 мм, 100 мм и 63 мм), который смонтирован на самоходных тележках с металлическими колесами. Каждый пролет машины состоит из пяти труб длиной 9 м. Общая длина машины может изменяться от 45 до 450 м. Для поддержания стеклопластикового трубопровода в вертикальной плоскости и для обеспечения достаточной жесткости трубопровода используется система вертикальных и горизонтальных тросов.

Привод каждой самоходной тележки представляет собой высоконапорный масляный насос с электродвигателем мощностью 250 Вт, который создает давление 7-9 МПа и подает масло в рабочие гидроцилиндры с храповым механизмом, смонтированным на стойке переднего и заднего колес.

Полив осуществляется посредством устройств приповерхностного дождевания, на концах которых установлены дождевальные насадки кругового и секторного полива (патенты 169912, 184629) [3, 4, 10].

Особенность дождевальных машин кругового действия в том, что по мере удаления от неподвижной опоры площадь колец [5-7], поливаемая каждой дождевальной насадкой, увеличивается по квадратичной зависимости, и для обеспечения равномерного полива на первых пролетах устанавливаются малорасходные дождевальные насадки с расходом воды 0,03-0,13 л/с и диаметром сопла 1,5-2,5 мм. Такие сопла имеют высокую вероятность засорения [8, 9], не обеспечивают равномерный полив и регулярно нуждаются в очистке от мусора, попадающего вместе с поливной водой. Техническое предложение по снижению засорения за счет применения на машине всех насадок с максимальным диаметром сопла при управлении работой насадок посредством блока управления и электромагнитных клапанов сложное и дорогостоящее [11]. Поэтому совершенствование схемы полива малорасходными дождевальными насадками является актуальным для машин кругового действия.

Основные преимущества дождевальной машины «Бамбук» – низкая масса машины – 7 т (масса ДМ «Фрегат» 16 т), что значительно снижает потребляемую мощность на передвижение машины [12]; стеклопластиковый трубопровод не подвержен коррозии, имеет значитель-

ный срок службы (40-50 лет) и может использоваться для подачи удобрений и других химических препаратов при поливе; гидравлическое сопротивление стеклопластиковых труб на 30% меньше стальных и соответствует полиэтиленовым трубам.

Цель научных исследований состояла в определении оптимальных размеров стеклопластикового трубопровода в зависимости от длины машины и расхода воды, подаваемой на полив, и обосновании схемы полива малорасходными дождевальными насадками на первом пролете машины.

Материалы и методы. Исследования эффективности работы многоопорной ДМ «Бамбук» проводили на полях ОПХ «ВолжНИИГиМ» в период с 2017 по 2020 годы.

Была смонтирована машина длиной 225 м, имеющая 5 пролетов. Площадь орошения при радиусе полива 235 м – 17,3 га. Стеклопластиковый трубопровод первых двух пролетов был выполнен из труб с внутренним диаметром 150 мм, третий и четвертый пролеты состояли из труб с внутренним диаметром 100 мм, пятый пролет – из труб с внутренним диаметром 63 мм. Расчетный расход воды машины составлял 30 л/с при давлении на входе в машину 0,32 МПа.

Оптимальный расход воды дождевальной машины определялся длиной машины, площадью полива и величиной гидромодуля орошаемого участка, который должен быть в пределах 0,6-1,0 л/с на гектар полива.

Требуемое давление на входе дождевальной машины определяли исходя из давления на последних дождевальных насадках для оптимального распыла, потерь напора по длине трубопровода машины, а также геодезической высоты подъема концевой части машины. Потери напора по длине трубопровода машины определяли по формуле:

$$h_{\Pi} = 0,685 \cdot V^{1,774} \cdot \frac{L}{d_{\text{вн}}^{1,226}},$$

где V – скорость воды на определенном участке трубопровода, м/с; L – длина участка трубопровода, м; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубопровода, мм.

Результаты и обсуждение. При изменении длины ДМ «Бамбук» от 45 до 450 м и увеличении числа пролетов от 1 до 10 площадь орошения машины увеличивалась от 0,95 до 66,00 га (таблица 1).

Расход воды машины может изменяться от 5 до 65 л/с и определяется требованиями гидромодуля, возможностями стеклопластикового трубопровода, требованиями к показателям агротехнической характеристики полива.

Исходя из расхода воды ДМ «Бамбук» определили оптимальную комплектацию стеклопластикового трубопровода на машине. Для машины длиной 45 м использовали стеклопластиковый трубопровод с внутренним диаметром 63 мм, при расходе воды 5 л/с давление на входе в машину должно быть 0,2 МПа. Для машины «Бамбук» длиной 135-180 м использовали стеклопластиковые трубопроводы с внутренним диаметром 100 мм и 63 мм, при расходе воды 15-20 л/с давление на входе в машину должно быть 0,26-0,28 МПа. Для машины длиной 225 м использовали стеклопластиковый трубопровод с внутренним диаметром 150 мм – на 1 и 2 пролетах, 100 мм – на 3 и 4 пролетах и 63 мм – на 5 пролете, при расходе воды 30 л/с давление на входе в машину должно быть 0,32 МПа. Для машины длиной 450 м использовали стеклопластиковый трубопровод с внутренним диаметром 150 мм – на 1-8 пролетах и диаметром 100 мм – на 9 и 10 пролетах, при расходе воды 65 л/с давление на входе в машину должно быть 0,4 МПа.

Карта настройки дождевальных насадок приведена в таблице 2.

На первом пролете ДМ «Бамбук» при стандартной настройке и установке на трубе по две насадки, диаметр сопла которых изменялся от 1,57 до 3,35 мм, не обеспечивала требуемого перекры-

Таблица 1 – Показатели технической характеристики дождевальной машины «Бамбук»

Кол-во опор, шт.	Длина машины, м	Площадь полива машины, га	Расход воды, л/с	Давление на входе, МПа	Диаметр трубопровода, мм (Номер пролета)
1	45	0,95	5,0	0,20	63 (1)
2	90	3,14	7,0	0,22	63 (1 и 2)
3	135	6,60	15,0	0,26	100 (1 и 2); 63 (3)
4	180	10,30	20,0	0,28	100 (1-3); 63 (4)
5	225	17,30	30,0	0,32	150 (1-2); 100 (3-4); 63 (5)
6	270	24,60	35,0	0,24	150 (1-3); 100 (4-5); 63 (6)
7	315	33,10	40,0	0,30	150 (1-3); 100 (4-6); 63 (7)
8	360	42,90	50,0	0,34	150 (1-6); 100 (7-8)
9	405	54,00	60,0	0,38	150 (1-7); 100 (8-9)
10	450	66,40	65,0	0,40	150 (1-8); 100 (9-10)

Таблица 2 – Карта настройки дождевальных насадок на 1, 3 и 5 пролетах ДМ «Бамбук»

R, м	q_m , л/с	N, шт.	D, мм	R, м	q_m , л/с	N, шт.	D, мм	R, м	q_m , л/с	N, шт.	D, мм
Первый пролет				Второй пролет				Третий пролет			
9	0,044	1	1,57	99	0,924	3	4,3	189	1,804	3	6,3
18	0,132	2	1,92	108	1,012	3	4,5	198	1,892	3	6,6
27	0,220	2	2,49	117	1,100	3	4,8	207	1,980	3	6,8
36	0,308	2	2,95	126	1,188	3	5,0	216	2,068	3	7,0
45	0,396	2	3,35	135	1,276	3	5,2	225	2,156	3	7,3

Примечание: R – расстояние от центра вращения, м; q_m – расход воды на трубе, л/с; N – число насадок на трубе, шт.; D – диаметр сопла дождевальной насадки, мм.

Таблица 3 – Время (T_n) и площадь (S) полива каждой группы насадок в зависимости от их расположения на первом пролете ДМ «Бамбук»

Зона полива, м	S , м ²	Число насадок, шт.	Группа насадок	T_n , с	Зона полива, м	S , м ²	Число насадок, шт.	Группа насадок	T_n , с
0-7,5	58	2	1	58	22,5-30,0	393	2	4	393
7,5-15,0	168	2	2	168	30,0-37,5	506	2	5	506
15,0-22,5	281	2	3	281	37,5-45,0	616	2	6	616

тия струй, насадки очень часто засорялись мусором.

Для улучшения равномерности и качества полива на первом пролете ДМ «Бамбук» схему полива насадок изменили. В ходе научного эксперимента было апробировано шесть групп комплектации насадок: в каждую группу входили по две насадки с одинаковым расходом воды. Таким образом на пролете длиной 45 м было смонтировано 12 насадок – через 3,75 м (рисунок 1).

Чтобы обеспечить достаточное двойное перекрытие для полива использовали одинаковые насадки с расходом воды 0,18 л/с и диаметром сопла 3,9 мм при давлении на выходе 0,16 МПа. Такие насадки обеспечивали радиус полива порядка 3,9 м, практически двойное перекрытие струй и хорошую равномерность полива. Кроме того, насадки с диаметром сопла 3,9 мм отличаются низкой вероятностью засорения мусором.

Как показали исследования, чтобы обеспечить равномерный полив на всем пролете, время полива каждой группы насадок должно быть пропорционально площади полива (таблица 3).

Для обеспечения постоянного расхода воды на пролете группы насадок должны работать парно: 1 и 6, 2 и 5, 3 и 4. Через 58 секунд полива насадками первой группы должна включиться шестая группа насадок, время полива которой 616 секунд. Общее время полива первой и шестой групп насадок составляет 674 секунды (рисунок 2).

Это время аналогично для второй и пятой групп насадок ($168 + 506 = 674$ секунды), а также для третьей и четвертой групп насадок ($281 + 393 = 674$ секунды).

Рисунок 1 – Схема расположения групп насадок (1-6) на первом пролете ДМ «Бамбук» длиной 45 м

Рисунок 2 – График последовательности работы групп насадок на первом пролете ДМ «Бамбук»

Заключение. Определены оптимальные диаметры стеклопластикового трубопровода и давление на входе дождевальной машины «Бамбук» в зависимости от расхода воды, длины машины и площади полива.

Разработана схема циклического полива на первом пролете машины «Бамбук», которая повысит эффективность орошения на первых пролетах машины за счет обеспечения равномерного полива при достаточном перекрытии струй и значительного уменьшения вероятности засорения насадок при увеличении диаметра сопла до оптимальной величины 3,9 мм. Такую схему полива предлагается использовать на дождевальных машинах кругового действия.

Библиографический список

1. Дождевальная машина: пат. 2621573 Российская Федерация, МПК А01G 25/02 / В.Н. Сопляченко, А.А. Гильман, М.Г. Шнайдер; заявитель и патентообладатель Сопляченко В.Н., Рогожин О.Г. – №2016111759; заявл. 29.03.2016; опубл. 06.06.2017, Бюл. №16.
2. Дождевальная машина: пат. 171052 Российская Федерация, МПК А01G 25/09 / В.Н. Сопляченко, А.А. Гильман, М.Г. Шнайдер; заявитель и патентообладатель Сопляченко В.Н., Рогожин О.Г. – №2016117037; заявл. 28.04.2016; опубл. 18.05.2017, Бюл. №14.
3. Дождевальная машина: пат. 169912 Российская Федерация, МПК А01G 25/09 / Н.Ф. Рыжко [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВолжНИИГиМ. – №2016136589; заявл. 12.09.2016; опубл. 06.04.2017, Бюл. №10.
4. Дождевальная машина: пат. 184629 Российская Федерация, МПК А01G 25/09 / Н.Ф. Рыжко [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВолжНИИГиМ. – №2018124423; заявл. 03.07.2018; опубл. 01.11.2018, Бюл. №31.
5. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические орошения: справочник / Г.В. Ольгаренко [и др.]; под ред. Г.В. Ольгаренко; ФГБНУ Росинформагротех. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2015. – 264 с.
6. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевальных машин: монография / Н.Ф. Рыжко; ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2009. – 176 с.
7. Рыжко, Н.Ф. Новые технические разработки для обеспечения ресурсосбережения при поливе многоопорными дождевальными машинами / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, С.Н. Рыжко, Е.А. Шишенин // Орошаемое земледелие. – 2019. – №4. – С. 13-16.
8. Рыжко, Н.Ф. Обоснование ресурсосберегающего дождевания и совершенствование дождевальных машин «Фрегат» в условиях Саратовского Заволжья: дис. ... доктора техн. наук: 06.01.02; защищена 25.05.12 / Н.Ф. Рыжко // Саратов, 2012. – 356 с.
9. Рыжко, Н.Ф. Особенности низконапорных ДМ «Фрегат» в зависимости от условий эксплуатации / Н.Ф. Рыжко [и др.] // Научная жизнь. – 2018. – №11. – С. 6-15.
10. Соловьев, Д.А. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Д.А. Соловьев, О.В. Карпова, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко // Аграрный научный журнал. – 2016. – №3. – С. 65-68.
11. Способ полива и машина для его осуществления: пат. 2291610, Российская Федерация, МПК А01G 25/09 / Г.В. Ольгаренко, В.В. Гордничев; заявитель и патентообладатель ФГНУ ВНИИ «Радуга» – №2005111322; заявл. 19.04.2005; опубл. 20.01.2007, Бюл. №2.
12. Широкозахватные дождевальные машины серии «Бамбук». Технические условия ТУ 28.30.60-001-43623639-2020 (Вводятся впервые). – Энгельс: ООО «Инжиниринговая технологическая компания СВ», 2020. – 22 с.

Дополнительные сведения об авторах:

Николай Федорович Рыжко, главный научный сотрудник отдела модернизации технических средств и технологии полива, volzniigim@bk.ru,

Сергей Николаевич Рыжко, младший научный сотрудник отдела модернизации технических средств и технологии полива, volzniigim@bk.ru,

Евгений Александрович Шишенин, младший научный сотрудник отдела модернизации технических средств и технологии полива, volzniigim@bk.ru,

Борис Николаевич Бельтиков, младший научный сотрудник отдела модернизации технических средств и технологии полива, volzniigim@bk.ru

Bibliographic list

1. Sprinkling machine: pat. 2621573 Russian Federation, IPC A01G 25/02 / V.N. Sopolyachenko, A.A. Gilman, M.G. Schneider; applicant and patentee Sopolyachenko V.N., Rogozhin O.G. – No.2016111759; declared 03.29.2016; publ. 06.06.2017, Bul. No.16.
2. Sprinkling machine: pat. 171052 Russian Federation, IPC A01G 25/09 / V.N. Sopolyachenko, A.A. Gilman, M.G. Schneider; applicant and patentee Sopolyachenko V.N., Rogozhin O.G. – No.2016117037; declared 04.28.2016; publ. 05.18.2017, Bul. No.14.
3. Sprinkling machine: pat. 169912 Russian Federation, IPC A01G 25/09 / N.F. Ryzhko [et al.]; applicant and patentee FGBNU VolzhNIIGiM. – No.2016136589; declared 09.12.2016; publ. 04.06.2017, Bul. No.10.
4. Sprinkling machine: pat. 184629, Russian Federation, IPC A01G 25/09 / N.F. Ryzhko [et al.]; applicant and patentee FGBNU VolzhNIIGiM. – No.2018124423; declared 07.03.2018; publ. 01.11.2018, Bul. No.31.
5. Resource-saving energy-efficient environmentally friendly technologies and technical irrigation: a reference book / G.V. Olgarenko [et al.]; ed. G.V. Olgarenko; FGBNU Rosinformagrotech. – M.: FGBNU Rosinformagrotech, 2015. – 264 p.
6. Ryzhko, N.F. Improvement of rain-forming devices for multi-support sprinkling machines: monograph / N.F. Ryzhko; FGOU VPO Saratov State Agricultural University. – Saratov: FGOU VPO Saratov GAU, 2009. – 176 p.
7. Ryzhko, N.F. New technical developments to ensure resource saving during irrigation with multi-support sprinklers / N.F. Ryzhko, N.V. Ryzhko, S.N. Ryzhko, E.A. Shishenin // Irrigated Agriculture. – 2019. – No.4. – P. 13-16.
8. Ryzhko, N.F. Substantiation of resource-saving sprinkling irrigation and improvement of sprinkler machines "Fregat" in the conditions of the Saratov Trans-Volga region / diss. ... Dr. Tech. Sciences: 06.01.02; protected 05.25.12 / N.F. Ryzhko // Saratov, 2012. – 356 p.
9. Ryzhko, N.F. Features of low-pressure DM "Fregat" depending on operating conditions / N.F. Ryzhko [et al.] // Scientific life. – 2018. – No.11. – P. 6-15.
10. Soloviev, D.A. Improvement of near-surface irrigation devices for DM "Frigate" / D.A. Soloviev, O.V. Karpova, N.F. Ryzhko, S.N. Ryzhko // Agrarian scientific journal. – 2016. – No.3. – P. 65-68.
11. Irrigation method and machine for its implementation: pat. 2291610 Russian Federation, IPC A01G 25/09 / G.V. Olgarenko, V.V. Gorodnichev; applicant and patent holder FGNU VNII "Raduga" – No.2005111322; declared 04.19.2005; publ. 20.01.2007, Bul. No.2.
12. Wide-coverage sprinkler machines of the "Bamboo" series. Specifications: TU 28.30.60-001-43623639-2020 (Introduced for the first time). – Engels: LLC "Engineering Technological Company SV", 2020. – 22 p.

Additional information about the authors:

Nikolay Fedorovich Ryzhko, chief researcher of department of modernization of technical equipment and irrigation technology, volzniigim@bk.ru,

Sergey Nikolaevich Ryzhko, junior researcher of department of modernization of technical equipment and irrigation technology, volzniigim@bk.ru,

Evgeny Aleksandrovich Shishenin, junior researcher of department of modernization of technical equipment and irrigation technology, volzniigim@bk.ru,

Boris Nikolaevich Beltikov, junior researcher of department of modernization of technical equipment and irrigation technology, volzniigim@bk.ru