УДК 631.347

DOI: 10.35809/2618-8279-2020-2-10

СОВРЕМЕННЫЕ НИЗКОДАВЛЯЮЩИЕ МНОГОПОПРАВНЫЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ, И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

MODERN LOW-PRESSURE MULTI-SUPPORT SPRINKLING MACHINES APPLIED ON IRRIGATION SYSTEMS AND THEIR IMPROVEMENT DIRECTIONS

Н.Ф. Рыжко, доктор технических наук,
С.Н. Рыжко,
Н.В. Рыжко,
Б.Н. Бельтиков

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

*Волжский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

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

Проведенный анализ работы многоопорных дождевальных машин свидетельствует о значительных энергетических затратах на полив. Давление на входе современных низконапорных машин (базовый вариант) вантовой конструкции высокое и составляет 0,40-0,45 МПа, а на электрифицированных машинах ферменной конструкции – 0,36 МПа и может достигать 0,40-0,52 МПа, поэтому обоснование и разработка способов дальнейшего снижения давления и экономии электроэнергии на поливе являются актуальными. В статье показано, что одним из основных способов экономии электроэнергии на поливе является снижение давления на входе дождевальной машины. Обоснованно предлагается для снижения давления на низконапорных машинах вантовой конструкции типа «Фрегат» и «Корвет» с 0,40-0,45 МПа до 0,33 МПа использовать маломощную мотопомпу с расходом воды 5-7 л/с, которая позволяет обеспечить повышение давления в дополнительном полиэтиленовом трубопроводе, подающем воду только в гидроприводы тележек (патент 198204), и тем самым экономить электроэнергию на полив 24-36%. Для снижения давления на входе в машину на электрифицированных машинах ферменной конструкции рассматривается два варианта модернизации. В первом варианте модернизации предлагается использовать дождевальные насадки кругового полива (патент 184629), которые устанавливаются на расстоянии 3 м от трубопровода вперед и назад в шахматном порядке (вместо секторных насадок и дождевальных аппаратов), при этом давление снижается с 0,36 до 0,24-0,27 МПа (на 33-50%). По второму варианту модернизации для снижения давления с 0,36 до 0,20 МПа в дополнение к первому варианту модернизации предлагается использовать дополнительные насосы, повышающие давление в дополнительных полиэтиленовых трубопроводах, монтируемых на пролетах №7-10 и перед концевым аппаратом. Экономия электроэнергии на полив при модернизации по второму варианту составляет 55%.

The analysis of the operation of multi-support sprinklers showed significant energy costs for irrigation. The inlet pressure of modern low-pressure machines (of basic modification) of cable-stayed construction is high and amounts to 0.40-0.45 MPa. And on electrified machines of a truss structure – 0.36 MPa and can reach 0.40-0.52 MPa. Therefore, the substantiation and development of ways to further reduce pressure and save energy for irrigation are relevant. The article provides the main provisions for the selection of the required pressure and optimal operation of the sprinkler nozzles. Dependencies have also been established to determine the pressure at the outlet of the pumping station and at the inlet to the sprinkler. It is shown that one of the main ways to save electricity during irrigation is to reduce the pressure at the inlet of the sprinkler. It is proposed to use a low-power motor pump with a water flow rate of 5-7 l/s to reduce the pressure on low-pressure cable-stayed machines such as "Fregat" and "Corvete" from 0.40-0.45 MPa to 0.33 MPa. This will provide an increase in pressure in the additional polyethylene pipeline that supplies water only to the hydraulic drives of the bogies (patent 198204). Electricity savings for irrigation will be 24-36%. To reduce the pressure at the inlet on electrified machines of a truss structure from 0.36 to 0.24-0.27 MPa (by 33-50%) it is proposed to use circular irrigation nozzles instead of sector nozzles (patent 184629). They are installed at a distance of 3 m from the pipeline back and forth in a checkerboard pattern (modernization according to the first option). To further reduce the pressure on electrified machines from 0.36 to 0.20 MPa, in addition to the technical solution for the first option, it is proposed to use additional pumps. These pumps increase the pressure in additional polyethylene pipelines mounted on spans 7-10 and in front of the end device. Energy savings for irrigation during modernization according to the second option will be 55%.

Ключевые слова: дождевальные машины, давление на входе в машину, потери по длине трубопровода машины, напор на насосной станции, расход воды, энергозатраты на полив

Key words: sprinkling machines, water pressure at the machine inlet, water loss along the length of the machine pipeline, pressure at the pumping station, water consumption, energy consumption for irrigation

Введение. Согласно программе «Развитие мелиоративного комплекса России» на период с 2019 по 2025 годы планируется внедрение новых орошаемых земель площадью 867 тыс. га, что потребует произвести и поставить на рынок России порядка 10 тысяч многоопорных дождевальных машин [9]. Такие машины отличаются высокой производительностью при работе в автоматическом режиме и при обслуживании одним оператором одновременно 3-4 установок. Многоопорные дождевальные машины обеспечивают полив на значительной площади – от 40 до 100 и более га в зависимости от размеров каждого поля [3, 4].

Современные многоопорные дождевальные машины условно можно разделить на две большие группы. В первую группу входят вантовые машины типа «Фрегат», «Корвет» и другие, где для передвижения используется гидропривод и энергия оросительной воды. Во вторую группу входят машины ферменной конструкции – «Кубань-ЛК», «Кубань-С», «Каскад», «Казанка», иностранные – Zimmatic, Valley, Bauer и другие, для передвижения которых используется электромеханический или электрогидравлический привод (ДМ «Т-Л» и «Бамбук») [3, 4, 10-12].

На первом этапе использования многоопорных дождевальных машин эксплуатировались высоконапорные ДМ «Фрегат», которые обеспечивали полив при

давлении 0,5-0,7 МПа. Энергоемкость подачи 1000 м³ воды достигала очень значительных размеров – 360-480 кВт·ч.

В настоящее время разработаны и внедряются несколько вариантов низконапорных ДМ «Фрегат», которые осуществляют полив при пониженном давлении на входе – 0,40-0,45 МПа [5-8].

Для электрифицированных дождевальных машин «Кубань-ЛК» давление на входе в машину ниже и при длине установки 211-450 м составляет 0,24-0,36 МПа, при увеличении длины машины до 588 м и расхода воды до 90 л/с давление должно быть увеличено до 0,43 МПа [7]. Для электрифицированных дождевальных машин «Фрегат» давление на входе в машину при расходе воды 36-77 л/с и длине установки 203-443 м (без работающего концевой аппарата) составляет 0,19-0,35 МПа, при увеличении расхода воды до 128-150 л/с и длины машины до 733-878 м давление должно быть выше – до 0,40-0,52 МПа. Аналогичные значения давления на входе и у иностранных электрифицированных машин Zimmatic, Valley и других [10-12].

Для большинства современных низконапорных многоопорных дождевальных машин базовой модификации давление на входе должно быть 0,36-0,45 МПа, а давление на насосной станции – 0,60-0,70 МПа, поэтому работа по дальнейшему снижению рабочего давления и по повышению надежности эксплуатации

закрытой оросительной сети является актуальной.

Цель данных научных исследований – модернизация многоопорных дождевальных машин для экономии электроэнергии на полив и обеспечения энергосберегающих технологий орошения.

Материалы и методы. Исследования по эффективности энергосберегающих технологий полива многоопорными машинами проводили в период с 2014 по 2019 годы на орошаемых участках Энгельсской, Приволжской и Комсомольской ОС, а также в отдельных орошаемых хозяйствах Саратовской и Волгоградской областей.

При оценке технических параметров модернизированных машин определяли давление на входе в машину, потери по длине трубопровода и на выходе насосной станции, расход воды, скорость движения машин и их производительность при различной норме полива, энергозатраты на полив и другие параметры [4].

Отличительные особенности дождевальных машин кругового действия в том, что по мере удаления от неподвижной опоры площадь колец (P_i), поливаемая каждой дождевальной насадкой, увеличивается по квадратичной зависимости. Она рассчитывается по формуле:

$$P_i = \pi \cdot (R_{i+1}^2 + R_{i-1}^2), \quad (1)$$

Низконапорная дождевальная машина «Фрегат» в работе

где R_{i+1} и R_{i-1} – радиусы полива от центра вращения i -ой дождевальной насадки, м.

Площадь полива первой дождевальной насадки ДМ «Фрегат» составляет 942 м², а максимальная площадь полива последней насадки (при учтенной расстановке – через 6 м) – 16 692 м². Расход воды насадками увеличивается с 0,14 до 2,19 л/с. Для обеспечения равномерности полива необходимо устанавливать дождевальные насадки с увеличивающимся от 2,5 до 10,0 мм диаметром сопла по мере удаления от центра вращения.

Согласно рекомендациям Б.М. Лебедева и выполненным ранее исследованиям института [4], оптимальный режим распыла для дефлекторных насадок должен находиться в пределах: $P/D = 0,01-0,02$ МПа/мм. Для насадок диаметром 8-10 мм требуется давление 0,15-0,20 МПа. В средней части машины, где применяются насадки диаметром 5-6 мм, оптимальное давление должно составлять 0,08-0,12 МПа. Большинство иностранных дождевателей Sinniger и Nelson также работают при давлении 10-15 psi (0,07-0,10 МПа).

Напор на входе дождевальной машины ($H_{дм}$) определяется напором последних дождевальных насадок ($H_{кн}$), потерями напора по длине трубопровода ($h_{п}$) и геодезическим перепадом ($h_{г}$):

$$H_{дм} = H_{кн} + h_{п} + h_{г} \quad (2)$$

Напор на насосной станции ($H_{нс}$) определяется напором наиболее удаленных дождевальных машин и максимальным расходом ($H_{дм}$):

$$H_{нс} = H_{дм} + h_{п} + h_{г} \quad (3)$$

Мощность, потребляемая электродвигателем ($N_{э}$) при поливе, в основном определяется расходом воды (Q) и напором на насосе (H):

$$N_{э} = Q \cdot H / 102 \cdot \eta \quad (4)$$

Поэтому для экономии электроэнергии на поливе в первую очередь снижали напор на выходе насосной станции и на входе дождевальных машин.

Результаты и обсуждение. Для ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-463-90 при расходе воды 90 л/с потери давления по длине трубопровода составили 0,18 МПа [4], а при требуемом давлении на последней дождевальной насадке 0,15 МПа необходимое давление на входе машины было равно: $P_{вх} = 0,18 + 0,15 = 0,33$ МПа. Фактически для передвижения низконапорной машины «Фрегат» данной модификации в зависимости от вида низконапорного оборудования необходимо более высокое давление – 0,41-0,45 МПа [5-8].

Экспериментальные исследования показали, что для обеспечения работы ДМ «Фрегат» при давлении на входе 0,33 МПа на неподвижной опоре необходимо смонтировать небольшую мотопомпу с расходом воды 5,00-7,00 л/с, которая

позволяет повысить давление с 0,33 до 0,45-0,50 МПа в дополнительном полиэтиленовом трубопроводе и осуществить подачу воды только на гидроприводы тележек (патент 198204) [1]. Мотопомпа обеспечивала устойчивую работу дождевальной машины при давлении на входе в машину 0,33 МПа. Экономия электроэнергии в данном случае составляла 24-36%.

Для электрифицированной ДМ «Кубань-ЛК» с расходом воды 70,00 л/с при требуемом давлении на последнем дождевальном аппарате 0,24 МПа и при величине потерь давления по длине трубопровода 0,12 МПа давление на входе в машину составляло: $P_{вх} = 0,24 + 0,12 = 0,36$ МПа [3, 4].

При замене на последних пролетах дождевальных аппаратов на дождевальные насадки, которые устанавливали вперед и назад на расстоянии 3 м [2] относительно трубопровода, требуемое давление на последних насадках снизилось до 0,12-0,15 МПа. С учетом потерь давления по длине трубопровода давление на входе в машину ($P_{вх}$) составляло 0,24-0,27 МПа. Экономия электроэнергии при первом варианте модернизации электрифицированных машин составляла 33-50%.

Для дальнейшего снижения давления на входе машины «Кубань-ЛК» с 0,36 до 0,20 МПа (в 1,8 раза) была реализована следующая схема работы машины. На участке машины с 1 по 6 пролеты осуществлялась обычная подача воды в дождевальные насадки из основного трубопровода машины, давление в трубопроводе снижалось с 0,19 до 0,12 МПа. Этого давления было достаточно для оптимального распыла воды насадками с диаметром сопла до 6 мм.

На трех пролетах – с 7 по 9 (расход воды 28,00 л/с) для повышения давления на 0,03 МПа (с 0,12 до 0,15 МПа)

использовали дополнительный насос, подающий воду по дополнительному полиэтиленовому трубопроводу к дождевальным насадкам.

Для оптимального распыла дождевальных насадок на 10 пролете и на консольной части машины на тележке №10 устанавливали второй дополнительный насос, подающий воду с расходом 20,00 л/с и повышающий давление в дополнительном полиэтиленовом трубопроводе с 0,09 до 0,15 МПа, что обеспечивало оптимальный распыл насадок на данном участке машины.

Перед концевым аппаратом был установлен третий дополнительный насос с расходом воды 2,86 л/с, который повышал давление с 0,09 до 0,40 МПа и обеспечивал радиус полива аппарата порядка 25 м и оптимальный распыл струй.

Общая потребляемая мощность ($N_{ом}$) при поливе модернизированной машиной «Кубань-ЛК» складывается из подающей мощности машины ($N_{м}$) от насосной станции и мощности от дополнительных насосов ($N_{дн1} \dots N_{дн3}$):

$$N_{м} = (H \cdot Q) / 102 = (20 \cdot 90) / 102 = 17,6 \text{ кВт}$$

$$N_{дн1} = (H \cdot Q) / 102 = (3 \cdot 28) / 102 = 0,82 \text{ кВт}$$

$$N_{дн2} = (H \cdot Q) / 102 = (6 \cdot 20) / 102 = 1,17 \text{ кВт}$$

$$N_{дн3} = (H \cdot Q) / 102 = (31 \cdot 2,86) / 102 = 0,87 \text{ кВт}$$

До модернизации общая потребляемая мощность составляла: после модернизации она равна: Экономия энергетических затрат при втором варианте модернизации – 55%.

Снижение давления на дождевальных машинах и на насосной станции позволит при строительной закрытой оросительной сети применять полиэтиленовые трубы, номинальное давление которых можно снижать с 0,60-0,80 МПа до 0,50 МПа, это позволит уменьшить стоимость трубопровода на 12-18%.

Закключение. Для снижения давления на входе ДМ «Фрегат» (для базовой модификации: длина 463 м, расход воды 90,00 л/с) с 0,40-0,45 МПа до 0,33 МПа (на 24-36%) предлагается использовать небольшую мотопомпу, которая обеспечивает повышение давления в дополнительном полиэтиленовом трубопроводе, подающем воду только в гидроприводы тележек, до 0,45-0,50 МПа (патент 198204).

На электрифицированных дождевальных машинах ферменной конструкции (для базовой модификации: длина 473 м, расход воды 70,00 л/с) для снижения давления с 0,36 МПа до 0,24-0,27 МПа (на 33-50%) предлагается вместо секторных насадок и дождевальных аппаратов использовать дождевальные насадки кругового полива (патент 184629, модернизация по первому варианту), которые следует устанавливать вперед и назад на расстоянии 3 м относительно трубопровода.

Для снижения давления на электрифицированных дождевальных машинах с 0,36 до 0,20 МПа (в 1,8 раз) необходимо использовать к концевой части машины (пролеты 7-10) и перед концевым аппаратом дополнительные малоэнергоёмкие насосы (модернизация по второму варианту), которые повышают давление в дополнительных полиэтиленовых трубопроводах и перед дождевальными насадками и концевым аппаратом до оптимальной величины, для качественного распыла струй. Потребление электроэнергии при такой технологии полива снижается на 55%.

Использование модернизированных низконапорных дождевальных машин позволит применять при строительстве закрытой оросительной сети полиэтиленовые трубы с более низким номинальным давлением 0,50 МПа вместо 0,60-0,80 МПа, что обеспечит снижение затрат на их приобретение на 12-18%.

Библиографический список

1. Дождевальная машина: пат. 198204, Российская Федерация: МПК АО1G 25/09 / Н.Ф. Рыжко [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВолжНИИГиМ. – №2020101236; заявл. 10.01.2020; опубл. 23.06.2020, Бюл. №18.
2. Дождевальная машина: пат. 184629, Российская Федерация: МПК АО1G 25/09 / Н.Ф. Рыжко [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВолжНИИГиМ. – №2018124423; заявл. 03.07.2018; опубл. 01.11.2018, Бюл. №31.
3. 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.
4. 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.
5. Рыжко, Н.Ф. Особенности низконапорных ДМ «Фрегат» в зависимости от условий эксплуатации / Н.Ф. Рыжко [и др.] // Научная жизнь. – 2018. – №11. – С. 6-15.
6. 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.
7. Рязанцев, А.И. Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях: монография / А.И. Рязанцев; ФГБОУ ВПО РГАТУ. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 1991. – 131 с.
8. Фокин, Б.П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин: монография / Б.П. Фокин, А.К. Носов; ФГУП СтавНИИГиМ. – Пятигорск: ОАО Севкавгипроводхоз, 2011. – 80 с.
9. Федеральная целевая программа «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102168535&rdk=&backlink=1> (дата обращения 27.02.2020).
10. Reinke. Круговые и фронтальные дождевальные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/42216557-Krugovye-i-frontalnye-dozhdevalnye-sistemy.html> (дата обращения 28.02.2020).
11. Valley. Каталог продукции «Valley». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://az276019.vo.msecnd.net/valmontstaging/docs/default-source/valleyirrigation-com-intl---brochures/2017/ru10098-1017-product-catalog_low.pdf (дата обращения 28.02.2020).
12. Zimmatic. Каталог ирригационной продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/31446309-Katalog-irrigacionnoy-produkcii-predstavlyaem-novinki-v-produkcii.html> (дата обращения 28.02.2020).

Дополнительные сведения об авторах:

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

Наталья Васильевна Рыжко, старший 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

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

Bibliographic list

1. Sprinkling machine: pat. 198204, Russian Federation, IPC AO1G 25/09 / N.F. Ryzhko [et al.]; applicant and patentee FGBNU VolzhNIIGiM. – No.2020101236; declared 10.01.2020; publ. 06.23.2020, Bul. No.18.
2. Sprinkling machine: pat. 184629, Russian Federation, IPC AO1G 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.
3. 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.
4. 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.
5. Ryzhko, N.F. Features of low-pressure DM "Fregat" depending on the operating conditions / N.F. Ryzhko [et al.] // Scientific life. – 2018. – No.11. – P. 6-15.
6. 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.
7. Ryazantsev, A.I. Directions of improvement of sprinkling machines and systems: monograph / A.I. Ryazantsev; FGBOU VPO RGATU. – Ryazan: FGBOU VPO RGATU, 2013. – 306 p.
8. Fokin, B.P. Modern problems of using multi-support sprinkling machines: monograph / B.P. Fokin, A.K. Nosov; FSUE StavNIIGiM. – Pyatigorsk: JSC Sevkavgiroprovodkhoz, 2011. – 80 p.
9. The federal target program "Development of land reclamation of agricultural lands of Russia for 2014-2020" [Elektronic resource]. – Access mode: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102168535&rdk=&backlink=1> (accessed date 02.27.2020).
10. Reinke. Pivot and frontal sprinkler systems. [Electronic resource]. – Access mode: <https://docplayer.ru/42216557-Krugovye-i-frontalnye-dozhdevalnye-sistemy.html> (date of treatment 02.28.2020).
11. Valley. Valley product catalog. [Electronic resource]. – Access mode: http://az276019.vo.msecnd.net/valmontstaging/docs/default-source/valleyirrigation-com-intl---brochures/2017/ru10098-1017-product-catalog_low.pdf (date of treatment 02.28.2020).
12. Zimmatic. Irrigation products catalog. [Electronic resource]. – Access mode: <https://docplayer.ru/31446309-Katalog-irrigacionnoy-produkcii-predstavlyaem-novinki-v-produkcii.html> (date of treatment 02.28.2020).

Additional information about the authors:

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

Natalia Vasilyevna Ryzhko, senior researching 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,

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