Тип статьи: научная УДК 631.347.3.012.3.001.3

DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-69-76

ОБОСНОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДНО-НАПОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН РАБОТАЮЩИХ В ДВИЖЕНИИ ПО КРУГУ

Анатолий Иванович Рязанцев¹, Александр Николаевич Зазуля², Евгений Юрьевич Евсеев³, Алексей Олегович Антипов⁴

¹Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Московская обл., Коломенский р-он, пос. Радужный Россия
²Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия
^{1,3,4}Государственный социально-гуманитарный университет, Московская обл. г.о. Коломна, Россия

¹ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196

²zazulja_an@rambler.ru

³evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661

⁴antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Реферат. Рассматриваются вопросы надежности движения многоопорных дождевальных машин «Кубань-ЛК1» работающих в движении по кругу, при орошении склоновых площадей, отмечается сложность равномерного распределения слоя осадков, вызванного увеличенным расходом воды (O=2.1-2.3 л/c), образуемым перепадом геодезических высот. Это приводит к снижению прочностных свойств почвы и ее опорно-сцепных свойств под ходовыми системами ДМ и, как следствие, приводит к нарушению технологического процесса орошения, что и послужило целью данного исследования. Для исключения указанного недостатка обосновывается возможность применения и дальнейшего использования усовершенствованного регулятора расхода (мембранного типа) марки Valtec VT.085, для стабильного поддержания показателей по расходу дождевальных аппаратов последних тележек и консольной части, в пределах 1.8-2.0 л/с, что соответствует технологическому процессу полива данным типом машин. Результаты исследования показали, что расчетная точность регулирования, а именно отклонение от установившегося значения давления на выходе усовершенствованной модификации регулятора расхода марки Valtec VT.085 находится в диапазоне ±5%, что соответствует требованиям технологического процесса полива. Отмечается, что проведенные экспериментальные исследования по определению пропускной способности расчетного расхода воды в зависимости от давления, указанными регулирующими устройствами, с различными по диаметру выходными отверстиями, позволили установить, что наиболее удовлетворяющим требованиям по регулированию расхода дождевальных аппаратов последних тележек и консольной части ДМ «Кубань-ЛК1» является усовершенствованное регулирующее устройство мембранного типа. При этом, исследуемый регулятор давления, обеспечивает показатели по расходу (Q = 1.6 - 1.7 л/c) и напору на выходе ($P = 0.30 - 0.50 \ M\Pi a$) л/с, с сохранением габаритных характеристик его серийной модификации.

Ключевые слова: дождевальная машина «Кубань-ЛКІ», производительность, опорносцепные свойства, интенсивность дождя, регулятор расхода, материалоемкость, точность регулирования.

JUSTIFICATION OF IMPROVEMENT OF THE FLOW REGULATOR OF SPRINKLERS OF MULTI-SUPPORT SPRINKLERS

Anatoly Ryazantsev¹, Alexander Zazulya², Evgeny Evseev³, Alexey Antipov⁴

¹All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga», Moscow region, Kolomenskoye district, village Raduzhny, Russian Federation

²All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation

^{1,3,4} State Social and Humanitarian University, Moscow region, Kolomna, Russian Federation

¹ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196

²zazulja_an@rambler.ru

³evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661

⁴antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Abstract. The issues of reliability of the movement of multi-bearing sprinkling machines "Kuban-LK1" operating in a circle when irrigating slope areas are considered, the complexity of the uniform distribution of the sediment layer caused by the increased water flow (Q=2.1-2.3 l/s) formed by the difference in geodetic heights is noted. This leads to a decrease in the strength properties of the soil and its support-coupling properties under the DM running systems and, as a result, leads to a violation of the irrigation process, which was the purpose of this study. To eliminate this drawback, the possibility of using and further using an improved flow regulator (membrane type) of the Valtec VT.085 brand is justified, for stable maintenance of the flow rates of sprinklers, trolleys and cantilever parts, within 1.8-2.0 l/s, which corresponds to the technological process of watering this type of machines. The results of the study showed that the calculated control accuracy, namely the deviation from the steady-state pressure value at the outlet of the improved modification of the Valtec VT.085 flow regulator, is in the range of \pm 5%, which meets the requirements of the irrigation process. It is noted that the experimental studies carried out to determine the throughput of the calculated water flow rate depending on the pressure indicated by the control devices, with outlet openings of different diameters, allowed us to establish that the most satisfying requirements for regulating the flow of sprinklers of the latest trolleys and the console part of the DM "Kuban-LK1" is an improved membrane-type control device. At the same time, the pressure regulator under study provides indicators for flow (Q = 1.6 - 1.7 l/s) and outlet pressure (P = 0.30 - 0.50 MPa) l/s, while maintaining the overall characteristics of its serial modification.

Keywords: sprinkler machine «Kuban-LK1», productivity, traction properties, rain intensity, flow regulator, material consumption, control accuracy.

Для цитирования: Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Обоснование регулирования расходно-напорных характеристик дождевальных машин работающих в движении по кругу // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 69-76. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-69-76.

For citation: Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A. Justification of improvement of the flow regulator of sprinklers of multi-support sprinklers. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 69-76. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-69-76.

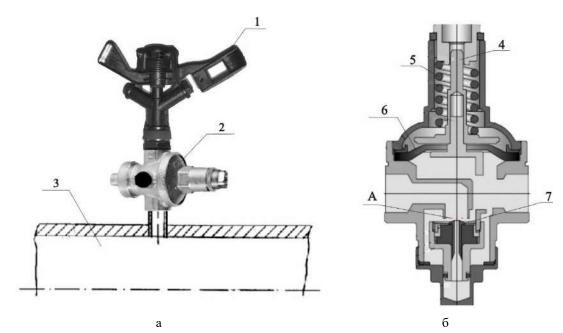
Введение. Исходя из анализа результатов поисковых исследований ДМ «Кубань-ЛК1», при работе на участках с общим уклоном 0.05, снижение производительности, нередко, происходит за счет падения показателей опорно-сцепных свойств ходовых систем, вследствие переувлажнения почвы, особенно в концевой части. Указанный недостаток приводит к увеличению интенсивности буксования тележек ДМ, и, как следствие, к излому трубопровода и, в конечном счете, к аварийной остановке (рисунок 1). Наряду с указанными отрицательными последствиями, коэффициент сменного времени (K_{cm}). из-за большого количества аварийных остановок, не превышает 0.70, что не соответствует показателям нормативных данных -0.80-0.95 [1, 7].

Таким образом, для повышения показателей производительности работы ДМ на склоновых участках, необходимо обеспечение требуемых значений опорно-сцепных свойств последних тележек и консольной части, посредством снижения интенсивности дождя, а следовательно, и увеличения несущей способности почвы в области их движения [3].



Рисунок 1 – Процесс образования поверхностного стока воды в районе движения последних тележек и консольной части ДМ.

Материалы и методы. В целях регулирования напора и расхода дождевальных аппаратов, в водопроводящих системах дождевальных машин применяют различные по конструктивным характеристикам регуляторы давления. Исходя из мировой практики применения высокоточных и надежных регулирующих устройств, считаем, что наиболее приемлемым является серия устройств мембранного типа марки Valtec VT.085 (рисунок 1) [2, 4].



а — схема установки регулятора перед дождевальным аппаратом на трубопроводе ДМ: 1 — дождевальный аппарат; 2 — регулятор расхода; 3 — трубопровод ДМ; 6 — продольный разрез регулятора: 4 — шток; 5 — пружина; 6 — мембрана; 7 — золотник; A — проходное сечение. Рисунок 2 — Регулятор расхода VT.085 D_n .

Анализ представленного регулятора показал, что повышение производительности его работы возможно достичь за счет использования, на дождевальных машинах, меньших по массе его модификаций, с сохранение характеристик по расходу и напору, присущих более материалоемким его модификациям.

Таким образом, вместо большего по массе регулятора VT.085 D_n 1 1/2 (m=1.70 кгс), при использовании которого обеспечивается расход дождевальных аппаратов машины в диапазоне 1.8 - 2.1 л/с, выбираем менее материалоемкую его модификацию VT.085 D_n 3/4 (m=0.90 кгс, q=0.69 л/с), с дальнейшим усовершенствованием его конструкции, в целях сохранения расходнонапорных характеристик [3]. Исходя из вышесказанного, на основе выполненных усовершенствований произведем теоретический расчет точности регулирования расходнонапорных характеристик усовершенствованного устройства, для этого рассмотрим теорию работы исследуемого образца. Так как описанный выше регулятор расхода мембранного типа, целесообразно записать уравнение движения мембраны с клапаном (1).

С учетом постоянных интегрирования закон движения штока с мембраной клапана будет выглядеть следующим образом:

$$x = \left(-\frac{A - F_{\text{Tp.}}}{\beta \times \delta \times m(\delta - \beta)} \times e^{-\beta x} - \frac{c_2}{\delta - \beta} \times e^{(\delta - \beta)t} + C_1\right) \times e^{-\frac{\alpha - \sqrt{\alpha^2 + 4km}}{2m}} + \left(-\frac{A - F_{\text{Tp.}}}{\beta \times \delta \times m(\delta - \beta)} \times e^{-\beta x} + C_2\right) \times e^{-\frac{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4km}}{2m}}$$

$$(1)$$

Используя модифицированный метод Адамса, было осуществлено интегрирование уравнения (1), причем шаг интегрирования выбирался автоматически, с учетом порядка аппроксимации.

Выполненные расчеты серийного регулятора расхода VT.085 D_n 3/4, по уточнению параметров проходного сечения A, мембраны 4 и пружины 3, показали, что указанная модель регулирующего устройства имеет схожие значения по расходу и напору, а также точности регулирования характерные серийной, более материалоемкой, модификации VT.085 D_n 1 1/2.

При чем, усовершенствованный регулятор серии VT.085 D_n 3/4, примерно на 50%, меньше по массе серийного регулятора расхода VT.085 D_n 1 1/2 [5, 6].

В таблице 1 приведены технические характеристики серийных: модели VT.085 D_n 1 1/2 (графа 4), VT.085 D_n 3/4 (графа 5) и, по результатам расчета, усовершенствованного VT.085 D_n 3/4 (графа 6), регулирующего устройства.

Для исследования точности регулирования проводились исследования на испытательном стенде модели «УРОКС – 150М» (рисунок 3).

Установка «УРОКС – 150М» состоит из двух насосов, производительностью 50 и 160 м³/ч, включенных параллельно, бака вместимостью 4 м³, девяти кавитационных сопловых узлов, устройства задания давления, двух испытательных участков, расходомера-счетчика турбинного эталонного РСТЭ–40, частотомера, счетчика программного реверсивного, блока проверки, турбинного преобразователя расхода, устройства для калибровки и проверки автоцистерн [8].

Принцип действия установки при воспроизведении расхода кавитационными соплами заключается в создании ряда стабильных расходов и сравнении их значений с показателями поверяемых средств. Принцип воспроизведения кавитационными соплами стабильного расхода основан на эффекте стабилизации расхода при течении жидкости через сопла в режиме кавитации и заключается в том, что при постоянном давлении на входе сопла, расход остается неизменным при изменении, в некоторых пределах, давления на выходе.

Исследования усовершенствованного регулятора расхода дождевальных аппаратов ДМ «Кубань – ЛК1» проводились с целью проверки соответствия его характеристик основным требованиям, в том числе, теоретически обоснованным.

Таблица 1- Технические характеристики

| | Наименование показателя | Значения | | | |
|----------|--|----------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| № п.п | | Единицы измерения | Серийные регуляторы | | Оптимизиро ванная |
| | | | Модель VT.085 D _n 1 1/2 | Модель VT.085 D _n 3/4 | модель VT.085 D _n 3/4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. | Тип регулирующего устройства | | мембранный регулятор «после себя» | | |
| 2. | Диапазон регулирования: Давление на выходе; Давление на входе; | МПа МПа | 0.30 0.30 – 0.50 | | |
| 3. | Параметры: Регулирующий орган Расход; | л/с | редукционный клапан с коническим седлом 2.5 0.69 1.6 | | |
| | Диаметр входного отверстия; | MM | 14 | 10 | 12 |
| | Условная пропускная способность; | M^3/H | 13.25 | 3.6 | 4.5 |
| 4. | Мембрана: | | | | |
| | Диаметр; | MM | 128 | 64 | 64 |
| | Толщина; | MM | 5 | 3 | 3 |
| 5. | Пружина: Количество витков; Диаметр прутка; | шт. мм | 9 6 | 6 4 | 5 4 |
| 6. | Погрешность регулирования | % | ±5 | | |
| 7. | Габариты | MM | 235x137x123 | 157x77x72 | |
| 8. | Macca | КГ | 1.75 | 0.9 | |



1 – испытательный участок; 2 – сопловый узел; 3 – регулятор расхода. Рисунок 3 – Общий вид испытательного стенда УРОС – $150~\mathrm{M}.$

Результаты и их обсуждение. На основании результатов проведенных исследований по определению достоверности пропуска расчетного расхода воды Q регулирующими устройствами с различными диаметрами выходных отверстий d в зависимости от давления p, в преднастроенный период, построена графическая зависимость (рисунок 4), описываемая регрессионным выражением (1):

$$Q = -0.3667 + 0.1 \times p_{\text{BX}} - 3.3333 \times d + 8.6233E - 13 \times p_{\text{BX}} \times p_{\text{BX}} + 0.5 \times p_{\text{BX}} \times d - 6.6058E - 12 \times d \times d$$
 (2)

Полученные экспериментальные результаты подтверждают достаточную сходимость теоретических и экспериментальных исследований по величине оптимальному диаметра (12 мм) выходного отверстия регулятора для пропуска необходимого расхода воды (1.65 л/с), при давлении $0.30~\mathrm{M}\Pi a$.

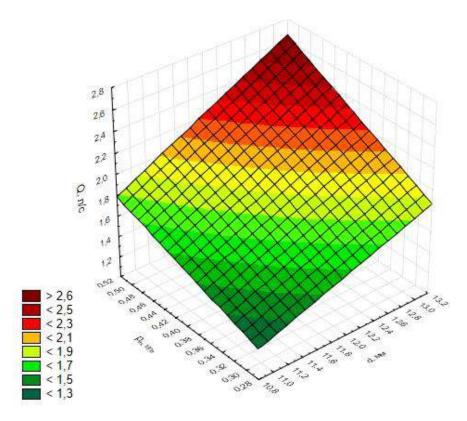


Рисунок 4 — График зависимости величины проходного сечения регулятора давления и напора перед его входом на расход воды.

Заключение. Экспериментальные исследования усовершенствованного регулятора расхода с оптимизированным диаметром проходного сечения, настроенного на требуемые по напору и расходу на выходе значения, показали, что изменение давления на входе в регулятор в диапазоне от 0.30 до 0.50 МПа влияния на величину подачи воды не оказывают. При этом, точность регулирования находится в тех же пределах, как и у серийной модификации устройства и составляет $\pm 5\%$ (рисунок 5).

Установлено, что регулирующее устройство с оптимизированным диаметром входного отверстия (таблица 1, ст. 6) обеспечивает характеристики по расходу (Q = 1.6 - 1.7 л/c) и напору на выходе ($P = 0.30 - 0.50 \text{ M}\Pi a$), серийной его модификации, при сохранении габаритных характеристик.

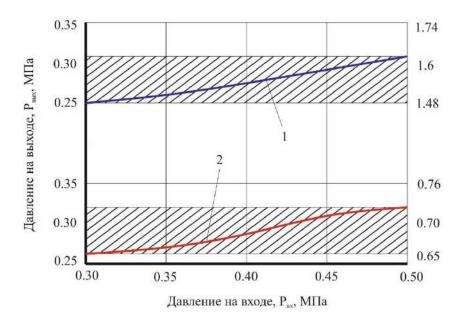


Рисунок 5 – Изменение давления на выходе регулятора от давления на входе.

Список источников

- 1. Евсеев Е. Ю., Рязанцев А.И., Антипов А.О. Регулирование водоотдачи ДМ «Кубань-ЛК1» на склоновых участках. В сборнике: Материалы Всероссийской национальной научнопрактической конференции посвященной 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Совет молодых ученых. 2020. С. 83-88.
- 2. Евсеев Е.Ю., Рязанцев А.И., Антипов А.О. К усовершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов многоопорных дождевальных машин. / Вестник мелиоративной науки. 2020. №3. С: 36-39.
- 3. Обоснование параметров по совершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов машины «Кубань ЛК1» [Текст] / Рязанцев А.И., Костенко М.Ю., Антипов А.О., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Рязань, 2020. Вып. 4 (48). С. 107-113. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44845900_71611001.pdf
- 4. Патент на изобретение 2770811 С1, 22.04.2022. Многоопорная дождевальная машина кругового действия: / Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Безносюк Р.В. : заявка №2020144291 от 29.12.2020.
 - 5. Расчет регулятора давления [Текст] / Mankenberg Любек, Германия, 2011. 6 с.
- 6. Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю., Антипов А. О., Смирнов А. И. Направления совершенствования регулирующих устройств для многоопорных дождевальных машин кругового действия типа «Кубань-ЛК1». Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях. Часть 2: материалы международной научно-практической конференции, ВНИИМЗ, г. Тверь, 25 сентября 2020 г. Тверь: Тверской государственный университет, 2020. 200 с.
- 7. Рязанцев А.И. Оптимизация широкозахватных дождевальных машин кругового действия для сложных почвенно-рельефных условий [Текст] / А. И. Рязанцев, А.О. Гаврилица. Кишинев: Штиинца, 1991. 200 с.

Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. К усовершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов многоопорных дождевальных машин. Сетевое электронное периодическое издание Депмелиорации Минсельхоза России и ФГБНУ ВНИИ «Радуга» Научнопрактический журнал «Вестник мелиоративной науки» №3 2020.

References

- 1. Evseev E. Yu 1. Evseev E. Yu., Ryazantsev A.I., Antipov A.O. Regulation of water discharge of DM "Kuban-LC1" on slope areas. In the collection: Materials of the All-Russian National Scientific and Practical conference dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor Anatoly Mikhailovich Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Council of Young Scientists. 2020. pp. 83-88.
- 2. Evseev E.Yu., Ryazantsev A.I., Antipov A.O. On improving the flow regulator of sprinklers of multi-support sprinklers. / Bulletin of Meliorative Science. 2020. No.3. With: 36-39.
- 3. Substantiation of parameters for improving the flow regulator of sprinkler machines "Kuban LC1" [Text] / Ryazantsev A.I., Kostenko M.Yu., Antipov A.O., Evseev E.Yu., Antipov O.V. // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev Ryazan, 2020. Issue 4 (48). pp. 107-113. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44845900_71611001.pdf
- 4. Patent for invention 2770811 C1, 04/22/2022. Multi-support circular sprinkler machine: / Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Antipov A.O., Byshov N.V., Borychev S.N., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Beznosyuk R.V.: application No. 2020144291 of 12/29/2020.
 - 5. Calculation of the pressure regulator [Text] / Mankenberg Lubeck, Germany, 2011. 6 p.
- 6. Ryazantsev A. I., Evseev E. Yu., Antipov A. O., Smirnov A. I. Directions of improvement of regulating devices for multi-support circular sprinkler machines of the Kuban-LK1 type. The current state, priority tasks and prospects for the development of agricultural science on reclaimed lands. Part 2: Materials of the International scientific and practical conference, VNIIMZ, Tver, September 25, 2020 Tver: Tver State University, 2020. 200 p.
- 7. Ryazantsev A.I. Optimization of wide-span circular sprinkler machines for difficult soil-relief conditions [Text] / A. I. Ryazantsev, A.O. Gavrilitsa. Chisinau: Stiinza, 1991. 200 p.

Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Antipov A.O. On improving the flow regulator of sprinklers of multisupport sprinklers. Online electronic periodical of the Depmelioration of the Ministry of Agriculture of Russia and the Federal State Budgetary Institution of the Research Institute "Raduga" Scientific and Practical journal "Bulletin of Meliorative Science" No. 3 2020.Ryazantsev, A.I. Water conservation while using irrigation devices of multiple supports in the conditions of the Moscow region [Url:] Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Olgarenko G.V., Smirnov A.I. Amazonia Investiga. 2019. T. 8. № 18. C. 323-329.

Информация об авторах

А.И. Рязанцев – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ; А.Н. Зазуля - доктор технических наук, профессор; Е.Ю. Евсеев - ассистент кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов; А.О. Антипов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A. Ryazantsev - Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Zazulya - Doctor of Technical Sciences, Professor; E. Evseev - Assistant of the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes; A. Antipov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.10.2022