

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.674.5

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-66-79

Программное обеспечение процесса расстановки дождевателей на водопроводящем поясе дождевальной машины

Андрей Евгеньевич Новиков¹, Андрей Викторович Дранников²,
Максим Игоревич Филимонов³, Роман Валентинович Збукарев⁴

^{1,2,4}Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал
Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Волгоград, Российская Федерация

³Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская
Федерация

¹ae_novikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8051-4786>

²drannikovav.vniioz@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2049-4279>

³maks.filimonov.1986@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1805-5670>

⁴zbukarevr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9237-547X>

Аннотация. Цель: разработать программное обеспечение процесса расстановки дождевателей на водопроводящем поясе дождевальной машины для повышения качества полива. **Материалы и методы.** В качестве теоретической базы для создания программного обеспечения использованы традиционные методы алгоритмизации и программирования, основанные соответственно на процессах построения алгоритма решения задачи расчета оптимального шага расстановки и расходно-напорных характеристик дефлекторных насадок на водопроводящем поясе дождевальных машин, формализованного в виде блок-схемы, и написания исходного кода на объектно-ориентированном языке программирования Python. **Результаты.** Для пополнения отечественной научно-технической базы цифровизации инженерно-мелиоративных работ информационными средствами разработано программное обеспечение процесса расстановки дождевателей на водопроводящем поясе дождевальной машины для равномерного распределения искусственного дождя по орошаемой площади. Графическая модель алгоритма представлена тремя блоками. В блоке «ввод исходных данных» предусмотрен выбор типа дождевальной машины, рабочего расхода поливной воды, а также материала исполнения водопроводящего пояса. В блоке «расчет промежуточных и целевых величин» производится расчет расходов поливной воды, потерь напора, расстояния между концевой и первой насадками, а также общего количества дождевателей. В блоке «циклические расчеты и вывод результатов» определяются потери напора по длине и местные потери напора для каждого участка, сумма которых составляет общие потери напора. С использованием разработанного программного обеспечения выполнены расчеты на примере консольной дождевальной машины с четырьмя секциями стального трубопровода, общим расходом 6 л/с и напором в конце консоли 10 м. Установлено, что для обеспечения равномерного распределения искусственного дождя по орошаемой площади необходимо по длине консоли установить девять дождевателей с переменным шагом расстановки и обеспечить напор в начале дождевальной машины 23,8 м с учетом общих потерь напора 13,8 м. **Вывод:** программное обеспечение позволяет на этапе проектирования двухконсольных и многоопорных дождевальных машин фронтального движения моделировать оптимальное размещение дефлекторных насадок одного типоразмера на водопроводящем поясе.



Ключевые слова: орошение, дождевание, насадка, равномерность полива, программное обеспечение, цифровизация

Для цитирования: Программное обеспечение процесса расстановки дождевателей на водопроводящем поясе дождевальной машины / А. Е. Новиков, А. В. Дранников, М. И. Филимонов, Р. В. Збукарев // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 3. С. 66–79. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-66-79>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Software for the process of arranging sprinklers on the water-conducting belt of the sprinkler machine

Andrey E. Novikov¹, Andrey V. Drannikov², Maxim I. Filimonov³,
Roman V. Zbukarev⁴

^{1,2,4}All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation

³Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

¹ae_novikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8051-4786>

²drannikovav.vniioz@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2049-4279>

³maks.filimonov.1986@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1805-5670>

⁴zbukarevr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9237-547X>

Abstract. Purpose: to develop software for the process of arranging sprinklers on the water-conducting belt of a sprinkler to improve the irrigation quality. **Materials and methods.** As a theoretical basis for creating software, the traditional methods of algorithmization and programming based on the processes of algorithm design for solving the problem of calculating the optimal spacing and flow-pressure characteristics of deflector nozzles on the water-conducting belt of sprinklers, respectively, formalized in the form of a scheme, and writing the source code in the object-oriented programming language Python were used. **Results.** To replenish the domestic scientific and technical base for digitalization of engineering and reclamation work with information tools, software for the process of arranging sprinklers on water-conducting belt of a sprinkler for uniform distribution of artificial rain along the irrigated area has been developed. The algorithm graphical model is represented by three blocks. The “Source data input” block provides a choice of the type of sprinkler, the operating flow rate of irrigation water, as well as the material of the water conducting belt. In the “Intermediate and target values calculation” block, the irrigation water loss, head loss, distance between the end and first nozzles, as well as the total number of sprinklers are calculated. In the “Cyclic computation and output of results” block, head losses along the length and local pressure losses are determined for each section, the sum of which makes up the total head losses. Using the designed software, computations were performed using the example of a cantilever sprinkler with 4 sections of steel pipeline, a total flow rate of 6 l/s and a pressure at the end of the console of 10 m. It was determined that to ensure the uniform distribution of artificial irrigation along the irrigated area, it is necessary to install 9 sprinklers with variable spacing along the length console, and to provide a head at the beginning of the sprinkler machine of 23.8 m, taking into account the total head loss of 13.8 m. **Conclusions:** the software allows simulating the optimal arrangement of deflector nozzles of the same size on a water-conducting belt at the design stage of double-cantilever and multi-tower lateral sprinklers.

Keywords: irrigation, sprinkling, nozzle, uniformity of watering, software, digitalization

For citation: Novikov A. E., Drannikov A. V., Filimonov M. I., Zbukarev R. V. Software for the process of arranging sprinklers on the water-conducting belt of the sprinkler machine. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(3):66–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-66-79>.

Введение. Орошение как средство стабилизации растениеводства в условиях недостаточного и неустойчивого естественного атмосферного увлажнения сопряжено с интенсивным антропогенным прессингом на орошаемые агроландшафты, при превышении норм воздействия которого возникают и активно эволюционируют процессы деградации почв, сопровождающиеся снижением их плодородия и биопродуктивности [1, 2].

Среди известных способов орошения наиболее технологичным и оптимальным для агропроизводства зерновых, кормовых, картофеля и ряда других культур является дождевание. Однако агротехнические и энергетические характеристики искусственного дождя, определяемые техникой и технологией полива, в т. ч. конструкцией дождевателей, зачастую не обеспечивают экологического равновесия, что проявляется в образовании поверхностного стока непитавшейся воды (жидкий сток) и почвенных частиц (твердый сток), изменении микрорельефа и других процессах ирригационной эрозии, формировании зон недополива и переполива возделываемых культур, недоборах урожаев [3].

Несмотря на имеющиеся разработки по обозначенным проблемам [4, 5], новые исследования, посвященные повышению качества технологического процесса дождевания в целях сохранения устойчивости орошаемых агроландшафтов и эффективного использования орошаемых земель, остаются актуальными и востребованными производством как сегодня, так и на перспективу.

Отдельного внимания заслуживает проблема неравномерности полива, с которой связано снижение до 20 % урожайности культур и увеличение поверхностного стока до 15 % [6]. Существующие способы регулирования равномерности распределения искусственного дождя по орошаемой

площади связаны с подбором дождевателей с индивидуальным расходом воды по длине водопроводящего пояса. Однако на практике такой подход не только не обеспечивает необходимой равномерности полива на машинах кругового и фронтального типов [7], но и влечет за собой дополнительные затраты труда обслуживающего персонала по расстановке дождевателей.

Решение этой важной задачи, по нашему мнению [8, 9] и исследованиям других ученых [2, 10], возможно в двух направлениях – это разработка низкоинтенсивных секторных насадок и оптимизация схем их расстановки. В последнем случае для оперативного принятия решения дополнительно требуется создание специализированного программного обеспечения [11].

Цель исследования – разработать программное обеспечение процесса расстановки дождевателей на водопроводящем поясе дождевальной машины для повышения качества полива.

Материалы и методы. В основе разработки программного обеспечения для моделирования размещения насадочных устройств на водопроводящем поясе многоопорных и двухконсольных дождевальных машин лежит задача обеспечения высокой равномерности распределения искусственного дождя по орошаемой площади и снижения затрат труда поливальщиков на обслуживание дождевателей. Для этого во ВНИИОЗ разработан способ расстановки насадок с постоянным сечением выходного отверстия с переменным шагом [12], включающий поэтапное определение количества дождевателей и расстояний между ними с учетом геометрических параметров факела дождя. В общем виде методика расчета на примере двухконсольной дождевальной машины реализуется по следующему алгоритму:

$$n = \frac{Q/2 - q_k}{q_l},$$

где n – количество дождевателей на консоли, шт.;

Q – общий расход поливной воды, л/с;

q_k – расход поливной воды в конце консоли, л/с;

q_l – расход поливной воды на первой панели консоли, л/с.

Далее определяется количество метров, орошаемых одной насадкой:

$$l_i = \frac{q_i}{q_{n.m.}},$$

где q_i – расход воды i -й насадкой, л/с;

$q_{n.m.}$ – расход воды на 1 пог. м консоли, л/с,

а также расстояние между насадками:

$$l_{i-(i+1)} = \frac{l_i + l_{i+1}}{2}.$$

Для разработки программного средства использовали объектно-ориентированный язык программирования Python.

Результаты и обсуждение. Повышение экономико-экологической эффективности эксплуатации поливных земель невозможно без цифровизации процессов управления режимами орошения, в т. ч. распределения влаги по орошаемой площади. Однако доступность этих специализированных программно-информационных средств крайне ограничена [13]. Преимущественно это программные продукты зарубежных корпораций Growsmart Lindsay, Lindsay Corp, John Deere и др., что обуславливает необходимость создания российских цифровых технологий в целях разработки интеллектуальных систем принятия решений в агротехнологиях, автоматизации процедур планирования эксплуатационных мероприятий на инженерных гидро-мелиоративных объектах и гидротехнических сооружениях [14–16].

В частности, в настоящей работе для пополнения отечественной научно-технической базы цифровизации инженерно-мелиоративных работ были выполнены алгоритмизация и программирование расстановки дождевальных насадок на водопроводящем поясе дождевальной машины для обеспечения равномерного распределения искусственного дождя по орошаемой площади.

Последовательность этапов алгоритма расчета, который использовали при создании специализированного программного обеспечения, представлена в виде графической модели с тремя блоками: «ввод исходных данных» (рисунок 1), «расчет промежуточных и целевых величин» (рисунок 2), «циклические расчеты и вывод результатов» (рисунок 3).

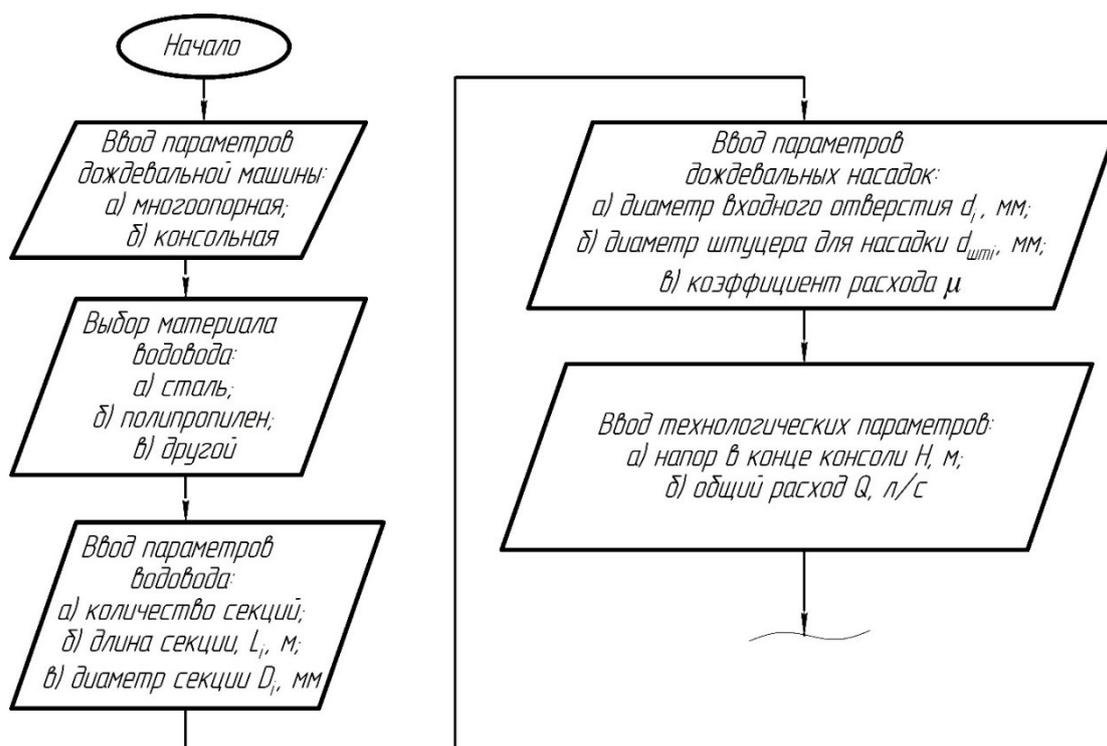


Рисунок 1 – Блок-схема ввода исходных данных
Figure 1 – Source data input scheme

В первом блоке предусмотрен выбор типа дождевальной машины и рабочего расхода поливной воды по водопроводящему поясу, который для многоопорных машин принимается равным расходу во входном трубопроводе, а для машин консольного типа – по каждой консоли. Алгоритмом ввода исходных данных также предусмотрена возможность выбора наиболее распространенных материалов водовода из стандартизированного ряда стальных¹ и пропиленовых² труб, что позволяет учитывать коэффициент

¹ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент. Введ. 1979-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1978. 10 с.

²ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. Введ. 2003-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2003. 68 с.

трения по длине трубопровода. В случае если используется нетипичный материал, величина коэффициента трения вводится в ручном режиме.

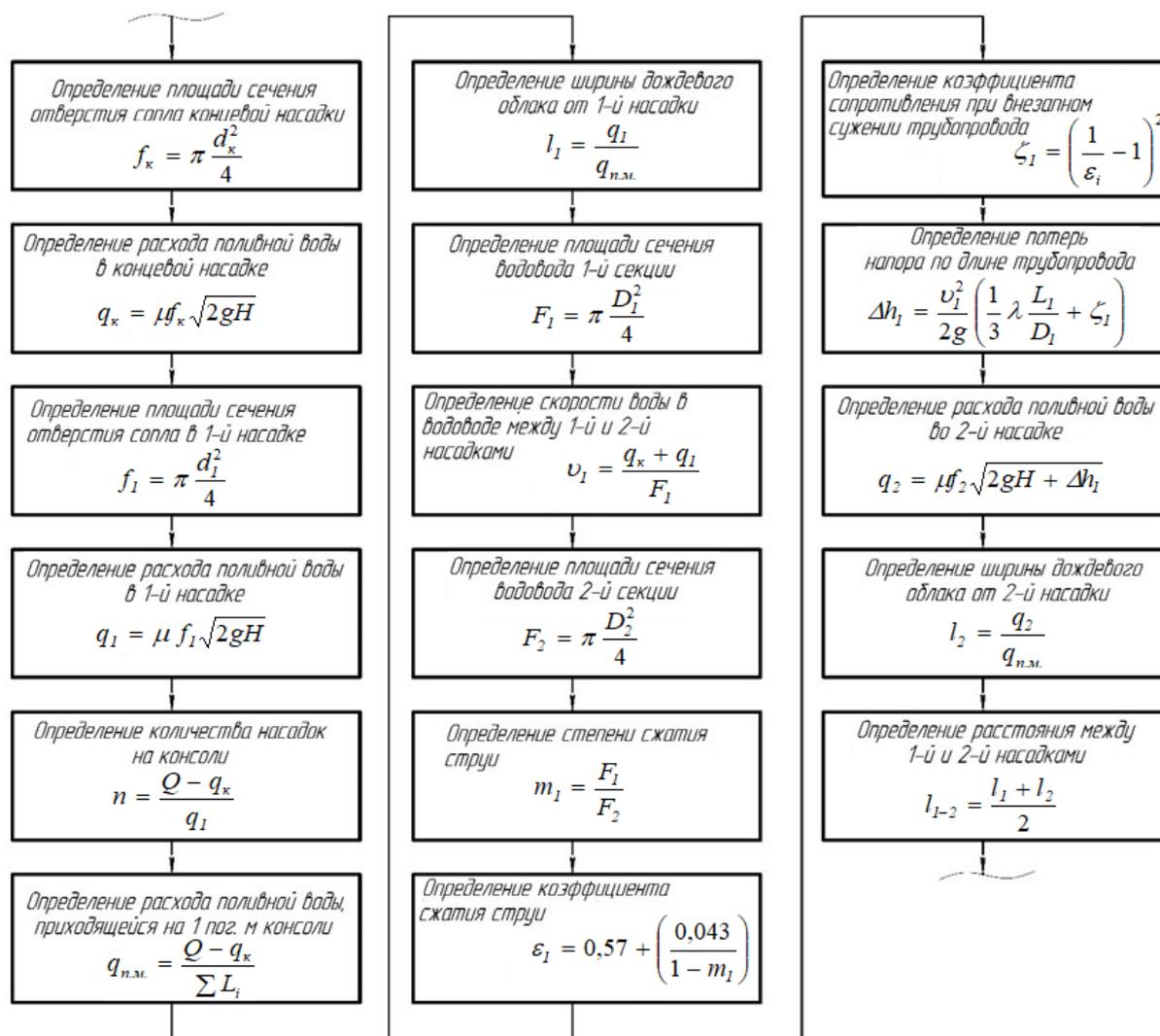


Рисунок 2 – Блок-схема расчета промежуточных и целевых величин
Figure 2 – Intermediate and target values calculation scheme

Во втором блоке алгоритмом предусмотрен расчет промежуточных и конечных значений расходов поливной воды, потерь напора, расстояния между концевой и первой насадками, а также общее количество дождевателей. При этом расчет начинается с концевой насадки и производится поэтапно – от крайней секции с наименьшим диаметром к началу водопроводящего пояса дождевальной машины.

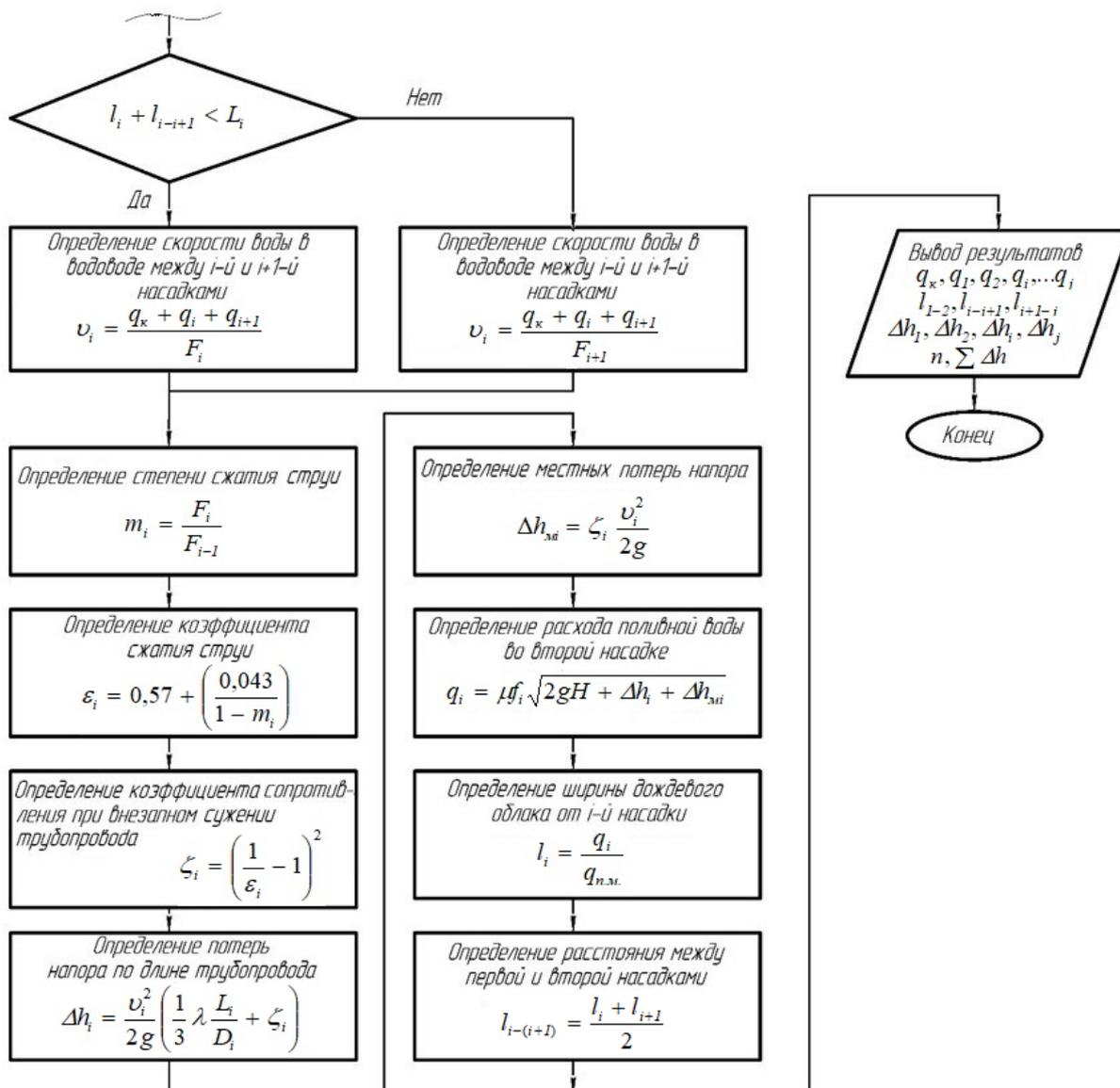


Рисунок 3 – Блок-схема циклических расчетов
 Figure 3 – Cyclic computation scheme

В третьем блоке для определения скорости воды в водопроводящем поясе алгоритмом рассчитывается площадь поперечного сечения каждого трубопровода в зависимости от его диаметра D . Использование валидного значения величины D в программе решено с помощью функции «ЕСЛИ», сопоставляющей сумму расстояний между насадками $l_i + l_{i+1}$ с соответствующей длиной секции L_i . В случае, когда сумма расстояний l_i превышает длину L_i , программа принимает в расчет диаметр следующей секции. Количество итераций данного цикла соответствует числу дождевальных насадок n .

По мере удаления от концевой насадки в водопроводящем поясе все больше становятся выраженными местные потери напора, определение которых производится по формуле:

$$\Delta h_{mi} = \zeta_i \frac{v_i^2}{2g}.$$

Общие потери напора, являющиеся одной из целевых функций алгоритма расчета, складываются из потерь напора по длине и местных потерь напора для каждого участка.

На основании алгоритмизации расчета шага расстановки и расходно-напорных характеристик дефлекторных насадок на водопроводящем поясе дождевальных машин было выполнено программирование на языке Python [17]. На рисунках 4 и 5 представлена работа программного обеспечения на примере консольной дождевальной машины с четырьмя секциями стального трубопровода, общим расходом 6 л/с и напором в конце консоли 10 м.

Расчёт дождевальной машины

Параметры дождевальной машины:

Многоопорные Консольные

Материал водовода:

Сталь Полипропилен Другой

Количество секций:

4

Параметры водоводов:

№ Секции	Длина водовода, L, м	Диаметр водовода, D, мм
1	4	25
2	4,5	32
3	4,5	40
4	0,7	50

Параметры дождевальных насадок:

№ Секции	Диаметр выходного отверстия, d, мм	Диаметр штуцера для насадки, dшт, мм	Коэффициент расхода, μ
Концевая насадка	8	25	0,96
Следующая насадка	5	25	0,96

Технологические параметры:

Напор в конце консоли, H, м: 10

Общий расход, Q, л/с: 6

Произвести расчет

Рисунок 4 – Ввод исходных данных
Figure 4 – Source data input

Насадка	Расход по ДН, л/с	Шаг между ДН, м	Потери напора, м
Концевая	0.67557	0	0
1	0.26389	1.55535	0
2	0.26822	1.56811	0.33031
3	0.27988	1.61523	0.91796
4	0.29419	1.69176	1.17953
5	0.31191	1.78615	1.54182
6	0.3345	1.90495	2.09681
7	0.35785	2.04033	2.32135
8	0.38286	2.18284	2.66035
Всего насадок:	9		
Общие потери напора:	13.77838		

Рисунок 5 – Результаты расчета
Figure 5 – Calculation results

По результатам имитационного моделирования с использованием специализированного программного обеспечения для заданных условий необходимо по длине консоли установить девять дождевателей с переменным шагом расстановки и обеспечить напор в начале дождевальной машины 23,8 м с учетом общих потерь напора 13,8 м.

Выводы. Использование разнотипных дождевателей по проходному сечению на водопроводящем трубопроводе создает неудобство при эксплуатации дождевальных машин. При замене насадок возможна пересортица, что приводит к неравномерному распределению искусственного дождя по орошаемой площади и, как следствие, возникновению поверхностного стока, недополивов сельскохозяйственных культур и снижению их урожайности. Разработанное программное обеспечение позволяет на этапе проектирования двухконсольных и многоопорных дождевальных машин фронтального движения моделировать оптимальное размещение дефлекторных насадок одного типоразмера на водопроводящем поясе, тем самым повысить коэффициент эффективного полива при использовании машин в производственных условиях.

Список источников

1. Прокопец Р. В., Фисенко Б. В., Корсак В. В. Оценка эрозионной опасности почвы при орошении широкозахватными дождевальными машинами // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 32–36. DOI: 10.32962/0235-2524-2023-3-32-36. EDN: OBAGWN.

2. Эколого-энергетическое совершенствование многоопорных дождевальных машин / С. С. Турапин, Г. В. Ольгаренко, А. И. Рязанцев, А. О. Антипин // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 3. С. 30–36. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-1-30-36. EDN: NLQPHR.

3. Зверьков М. С. Исследование давления капель искусственного дождя, создаваемого дождевальными аппаратами, на почву // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 8. С. 73–77. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10820. EDN: VAGMLH.

4. Critical factors influencing soil runoff and erosion in sprinkler irrigation: Water application rate and droplet kinetic energy / R. Chen, H. Li, J. Wang, Z. Song // Agricultural Water Management. 2023. Vol. 283. 108299. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108299. EDN: ULRNXB.

5. The impact of maize canopy on splash erosion risk on soils with different textures under sprinkler irrigation / Z. Zhu, J. Li, D. Zhu, Z. Gao // Catena. 2024. Vol. 234. 107608. DOI: 10.1016/j.catena.2023.107608. EDN: GRSEKM.

6. Ольгаренко Д. Г. Система показателей для оценки качества полива сельскохозяйственных культур дождеванием // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 2. С. 23–27. EDN: SCQPRV.

7. Балакай Г. Т., Васильев С. М., Бабичев А. Н. Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 2(26). С. 1–18. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=312> (дата обращения: 15.05.2024). EDN: YNWTBZ.

8. Исследование насадки с малоэнергоёмким искусственным дождем / В. В. Бородычев, А. Е. Новиков, М. И. Филимонов, М. И. Ламскова // Научная жизнь. 2016. № 2. С. 50–57. EDN: VXMJRR.

9. Новиков А. Е., Константинова Т. Г., Ламскова М. И. Модернизация дождевальных машин дефлекторными эжекторными насадками с малоэнергоёмким искусственным дождем // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2013. № 8(68). С. 18–20. EDN: RRVKJP.

10. Совершенствование ДДА-100МА для полива овощных культур / А. И. Рязанцев, Н. Н. Егорова, М. А. Бубенчиков, В. В. Каштанов, В. Г. Сирко // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 1. С. 35–36. EDN: LNODFE.

11. Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В. Система компьютерного моделирования и интеллектуального управления программируемым аграрным производством на основе ретроспективных данных // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2(62). С. 390–403. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-40. EDN: RWATRG.

12. Пат. 2383128 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/00. Способ распределения искусственного дождя по орошаемой площади / Безроднов Н. А., Кузнецов П. И., Мелихов В. В., Константинова Т. Г., Болотин Д. А.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т орошаемого земледелия Россельхозакадемии. № 2008108612; заявл. 04.03.08; опубл. 10.03.10, Бюл. № 7. 5 с. EDN: RADPNC.

13. Цифровые технологии оптимизации параметров увлажнения расчетного слоя почвы / Д. А. Соловьев, В. В. Корсак, Г. Н. Камышова, О. Н. Митюрева, П. О. Терехов // Аграрный научный журнал. 2021. № 1. С. 86–89. DOI: 10.28983/asj.y2021i1pp86-89. EDN: COVGJC.

14. Юрченко И. Ф. Специфика цифровых технологий по регулированию мелиоративного режима агроэкосистемы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3(63). С. 376–388. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-39. EDN: QUUVOR.

15. Юрченко И. Ф. Цифровизация мелиоративных агротехнологий: возможно-

сти, вызовы, перспективы, инновации // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 141–156. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1242> (дата обращения: 15.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-141-156. EDN: UMXZBH.

16. Юрченко И. Ф. Приоритетные направления и мероприятия современной цифровизации в мелиорации // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 2. С. 84–100. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1280> (дата обращения: 15.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-84-100. EDN: KYWLYQ.

17. Программа для расчета шага расстановки и расходно-напорных характеристик дефлекторных насадок на водопроводящем поясе дождевальных машин: свидетельство о гос. регистрации прогн. для ЭВМ № 2024610565 Рос. Федерация / Новиков А. Е., Филимонов М. И., Дранников А. В., Скляр Е. Ю., Збукарев Р. В., Семенов С. Я.; правообладатель Федер. науч. центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. Заявка № 2023688374; заявл. 18.12.23; опубл. 11.01.24, Бюл. № 1. EDN: PQMMTS.

References

1. Prokopets R.V., Fisenko B.V., Korsak V.V., 2023. *Otsenka erozionnoy opasnosti pochvy pri oroshenii shirokozakhvaynymi dozhdeval'nymi mashinami* [Assessment of soil erosion hazard when irrigated with wide-cut sprinklers]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 3, pp. 32-36, DOI: 10.32962/0235-2524-2023-3-32-36, EDN: OBAGWN. (In Russian).

2. Turapin S.S., Olgarenko G.V., Ryazantsev A.I., Antipin A.O., 2021. *Ekologo-energeticheskoe sovershenstvovanie mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin* [Ecological and energy improvement of multi-towered irrigation machines]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 3, pp. 30-36, DOI: 10.32962/0235-2524-2021-1-30-36, EDN: NLQPHR. (In Russian).

3. Zverkov M.S., 2018. *Issledovanie davleniya kapel' iskusstvennogo dozhdya, sozdaemogo dozhdeval'nymi apparatami, na pochvu* [Study of artificial raindrops pressure on soil caused by sprinklers]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex], vol. 32, no. 8, pp. 73-77, DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10820, EDN: VAGMLH. (In Russian).

4. Chen R., Li H., Wang J., Song Z., 2023. Critical factors influencing soil runoff and erosion in sprinkler irrigation: Water application rate and droplet kinetic energy. *Agricultural Water Management*, vol. 283, 108299, DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108299, EDN: ULRNXB.

5. Zhu Z., Li J., Zhu D., Gao Z., 2024. The impact of maize canopy on splash erosion risk on soils with different textures under sprinkler irrigation. *Catena*, vol. 234, 107608, DOI: 10.1016/j.catena.2023.107608, EDN: GRSEKM.

6. Olgarenko D.G., 2014. *Sistema pokazateley dlya otsenki kachestva poliva sel'sko-khozyaystvennykh kul'tur dozhdevaniem* [System of indicators for assessing the sprinkling quality]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 2, pp. 23-27, EDN: SCQPRV. (In Russian).

7. Balakay G.T., Vasilyev S.M., Babichev A.N., 2017. [Concept of a new generation sprinkler machine for precision irrigation technology]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(26), pp. 1-18, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=312> [accessed 15.05.2024], EDN: YNWTBZ. (In Russian).

8. Borodychev V.V., Novikov A.E., Filimonov M.I., Lamskova M.I., 2016. *Issledovanie nasadki s maloenergoemkim iskusstvennym dozhdem* [Study of low power-consuming artificial rain nozzle]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], no. 2, pp. 50-57, EDN: VXMJRR. (In Russian).

9. Novikov A.E., Konstantinova T.G., Lamskova M.I., 2013. *Modernizatsiya dozhdeval'nykh mashin deflektornymi ezhektornymi nasadkami s maloenergoemkim iskusstvennym*

dozhdem [Modernization of sprinkling machines with deflector ejector nozzles with low-power artificial rain]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water Purification. Water Treatment. Water Supply], no. 8(68), pp. 18-20, EDN: RRVKJP. (In Russian).

10. Ryazantsev A.I., Egorova N.N., Bubenchikov M.A., Kashtanov V.V., Sirko V.G., 2009. *Sovershenstvovanie DDA-100MA dlya poliva ovoshchnykh kul'tur* [Improvement of DDA-100MA for irrigation of vegetable crops]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 1, pp. 35-36, EDN: LNODFE. (In Russian).

11. Rogachev A.F., Melikhova E.V., 2021. *Sistema komp'yuternogo modelirovaniya i intellektual'nogo upravleniya programmiruемым agrarnym proizvodstvom na osnove retrospektivnykh dannykh* [The system of computer modeling and intellectual management of programmable agricultural production based on retrospective data]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 2(62), pp. 390-403, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-40, EDN: RWATRG. (In Russian).

12. Bezrodnov N.A., Kuznetsov P.I., Melikhov V.V., Konstantinova T.G., Bolotin D.A., 2008. *Sposob raspredeleniya iskusstvennogo dozhdya po oroshaemoy ploshchadi* [Method for Distributing Artificial Rain along Irrigated Surface]. Patent RF, no. 2383128, EDN: RADPNC. (In Russian).

13. Solovyov D.A., Korsak V.V., Kamyshova G.N., Mityureva O.N., Terekhov P.O., 2021. *Tsifrovyye tekhnologii optimizatsii parametrov uvlazhneniya raschetnogo sloya pochvy* [Digital technology for optimizing the parameters of moisture in the calculated soil layer]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 1, pp. 86-89, DOI: 10.28983/asj.y2021i1pp86-89, EDN: COVGJC. (In Russian).

14. Yurchenko I.F., 2021. *Spetsifika tsifrovyykh tekhnologiy po regulirovaniyu meliorativnogo rezhima agroekosistemy* [Specifics of digital technologies for regulating the reclamation regime of the agroecosystem]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(63), pp. 376-388, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-39, EDN: QUUVOR. (In Russian).

15. Yurchenko I.F., 2021. [Digitalization of reclamation agricultural technologies: opportunities, challenges, prospects, innovations]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 4, pp. 141-156, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1242> [accessed 15.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-141-156, EDN: UMXZBH. (In Russian).

16. Yurchenko I.F., 2022. [Priority areas and activities of modern digitalization in land reclamation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 2, pp. 84-100, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1280> [accessed 15.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-84-100, EDN: KYWLYQ. (In Russian).

17. Novikov A.E., Filimonov M.I., Drannikov A.V., Sklyar E.Yu., Zbukarev R.V., Semenenko S.Ya., 2023. *Programma dlya rascheta shaga rasstanovki i raskhodno-napornykh kharakteristik deflektornykh nasadok na vodoprovodyashchem poyase dozhdeval'nykh mashin* [Program for Calculating the Spacing and Flow-Pressure Characteristics of Deflector Nozzles on the Water-Conducting Belt of Sprinkler Machines]. Certificate of Registration of Computer Program of Russian Federation, no. 2024610565, EDN: PQMMTS. (In Russian).

Информация об авторах

А. Е. Новиков – директор, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация, ae_novikov@mail.ru, Author ID: 619181, ORCID ID: 0000-0002-8051-4786;

А. В. Дранников – младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация, drannikovav.vniioz@yandex.ru, Author ID: 1231536, ORCID ID: 0009-0004-2049-4279;

М. И. Филимонов – доцент кафедры процессов и аппаратов химических и пищевых производств, кандидат технических наук, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация, maks.filimonov.1986@mail.ru, Author ID: 791154, ORCID ID: 0000-0002-1805-5670;

Р. В. Збукарев – лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Российская Федерация, zbukarevr@mail.ru, Author ID: 1209654, ORCID ID: 0000-0002-9237-547X.

Information about the authors

A. E. Novikov – Director, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAS, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation, ae_novikov@mail.ru, Author ID: 619181, ORCID ID: 0000-0002-8051-4786;

A. V. Drannikov – Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation, drannikovav.vniioz@yandex.ru, Author ID: 1231536, ORCID ID: 0009-0004-2049-4279;

M. I. Filimonov – Associate Professor of the Department of Processes and Devices of Chemical and Food Production, Candidate of Technical Sciences, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, maks.filimonov.1986@mail.ru, Author ID: 791154, ORCID ID: 0000-0002-1805-5670;

R. V. Zbukarev – Laboratory Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation, zbukarevr@mail.ru, Author ID: 1209654, ORCID ID: 0000-0002-9237-547X.

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

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.04.2024; одобрена после рецензирования 29.05.2024; принята к публикации 01.07.2024.

The article was submitted 01.04.2024; approved after reviewing 29.05.2024; accepted for publication 01.07.2024.