

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-14-20>

УДК 631.67:631.3



ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРЕЦИЗИОННОГО ОРОШЕНИЯ

Л.А. Журавлёва

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

Аннотация. Система прецизионного орошения – технология, позволяющая подавать дозированный объем воды непосредственно на требуемый участок поля, снизить затраты на ресурсы, обеспечивая экономически обоснованный и экологически безопасный полив. Целью работы явилась разработка технических средств и устройств на широкозахватные дождевальные машины для прецизионного орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающих соответствие объема воды требуемому уровню влагозапасов участков поля на момент их полива, а также оценка перспективности применения технологии. В статье рассмотрены возможности модернизации широкозахватной дождевальной машины, вариант с блочным управлением дождевателями по учащенной схеме и непосредственное управление дождевателем через индивидуальный электромагнитный клапан. Регулируемая подача воды осуществлялась с помощью программируемого логического управления и электромагнитных клапанов. Даны стратегия точного орошения и применяемые технические средства. Рассмотрены характеристики работы машин – в частности, изменение слоя осадков в зависимости от режима полива; зависимость между рабочим давлением и изменением расхода дождевателей. Дана оценка коэффициента эффективности полива Кристиансена при различных режимах полива. Сделаны выводы об эффективности и целесообразности применения технологии прецизионного орошения и даны рекомендации.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств федерального бюджета в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства России (номер государственной регистрации темы 1022071100103-2-1.5.8.)

Ключевые слова: дождевальная машина, прецизионное орошение, расход, электромагнитные клапаны, дождеватель

Формат цитирования: Журавлёва Л.А. Оценка перспективности прецизионного орошения // Природообустройство. 2025. № 3. С. 14-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-14-20>

Scientific article

EVALUATION OF THE PROSPECTS OF PRECISION IRRIGATION

L.A. Zhuravleva

Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy; A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russia

Abstract. The precision irrigation system is a technology that allows you to supply a metered volume of water directly to the required area of the field, reducing resource costs, providing economically sound and environmentally safe irrigation. The purpose of the work was to develop technical means and devices for wide-range sprinklers for precision irrigation of agricultural crops, ensuring that the volume of water corresponds to the required level of moisture reserves of field areas at the time of their irrigation, and to assess the prospects for using the technology. The article discusses the possibilities of upgrading a wide-range sprinkler machine. A variant with block control of sprinklers according to the accelerated scheme and direct control of the sprinkler through an individual solenoid valve. The regulated water supply was carried out using programmable logic control and electromagnetic valves. The strategy of precision irrigation and the technical means used are given. The characteristics of the machines are considered. In particular, the change in the precipitation layer depending on the irrigation regime. Relationship between operating pressure and change in sprinkler flow. The Christiansen irrigation efficiency coefficient under different irrigation regimes is estimated. Conclusions are made about the effectiveness and expediency of using precision irrigation technology and recommendations are given. Option with frequent block control of sprinklers and direct control of the sprinkler via an individual solenoid valve. The controlled water supply

was carried out using programmable logic control and solenoid valves. The strategy of precision irrigation and the technical means used are given. The characteristics of the machines are considered. In particular, the change in the precipitation layer depending on the irrigation regime. Relationship between operating pressure and change in sprinkler flow. The Christiansen irrigation efficiency coefficient under different irrigation regimes is estimated. Conclusions are made about the effectiveness and expediency of using precision irrigation technology and recommendations are given.

Financing. The work was carried out at the expense of the federal budget within the framework of the state assignment of the Ministry of Agriculture of Russia (state registration number of the topic 1022071100103-2-1.5.8.)

Keywords: sprinkler machine, precision irrigation, flow rate, solenoid valves, sprinkler

Format of citation: Zhuravleva L.A. Evaluation of the prospects of precision irrigation // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 3. P. 14-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-14-20>

Введение. Пространственная неоднородность почвы является одним из факторов, влияющих на изменение урожайности сельскохозяйственных культур в пределах поля. Почва неоднородна, и большинство химических и физических свойств значительно различаются в пределах одного участка.

Другие факторы, влияющие на изменение урожайности сельскохозяйственных культур в пределах поля, – антропогенные (уплотнение почвы, обработка, прокладка оросительно-осушительных систем), биологические (болезни, вредители), метеорологические (влажность, осадки, ветер), а также топографические (уклон) факторы. Неспособность традиционного земледелия учитывать изменения этих факторов в пределах поля не только оказывает негативное экономическое воздействие по причине снижения урожайности, но и негативно влияет на экологическое состояние окружающей среды ввиду чрезмерного применения агрохимикатов, удобрений и воды.

Пространственное распределение оросительной воды на полях необходимо рассматривать дифференцированно ввиду изменения свойств почвы, включая плодородие, текстуру, водоудерживающую способность, скорость инфильтрации, рельеф и выращивание различных агрокультур на одном и том же поле.

Таким образом, потребность в орошении может различаться в зависимости от участка конкретного поля. Кроме того, системы полива имеют некоторые недостатки – такие, как неравномерность орошения, испарение капель и потери на унос ветром. Потребность в орошении может различаться в разных зонах конкретного поля и должна варьироваться в зависимости от пространственной изменчивости почвы.

Дифференцированным системам и технологиям полива посвящены работы многих ученых [1-12]. Для реализации точного орошения необходимо выполнить несколько требований.

Во-первых, необходимо определить различия в потребностях в воде или зоны управления орошением. Площадь орошения с одинаковой глубиной полива или слоем осадков определяется на основе пространственных особенностей почвы. Одновременный учет состояния растений и различных свойств почвы требует весьма сложного и точного управления орошением. Для упрощения рациональным является учет только содержания доступной воды.

Во-вторых, система должна быть способной регулировать глубину полива или слой осадков на небольших отдельных участках. Точность здесь определяется системами позиционирования, возможностями датчиков влажности, дождевальной техникой, расположением дождевателей, равномерностью их работы, инертностью управления отдельными устройствами и системой управления в целом.

Цель исследований: разработка технических средств и устройств на широкозахватные дождевальные машины для прецизионного орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающих соответствие объема воды требуемому уровню влагозапасов участков поля на момент их полива, оценка перспективности применения технологии.

Материалы и методы исследований. В настоящее время можно выделить следующие методы реализации прецизионного орошения:

- Управление отдельными дождевателями или блоками с несколькими дождевателями.
- Изменение скорости движения дождевальной машины и деление на секторы полива.
- Динамическое регулирование расхода во всем трубопроводе.

Управление отдельными дождевателями или блоками с несколькими дождевателями может осуществляться путем их включения-отключения, то есть соотношением времени полива

и паузы или изменением проходного сечения сопла дождевателей.

Выбор способа зависит от конкретных условий полива: в частности, изменчивости свойств почвы, условий рельефа местности, хозяйственных факторов – таких, как расположение агрокультур и их разноименность.

В любом случае необходимо разбить поле на небольшие участки, а затем разработать индивидуальное управление каждым участком с использованием сельскохозяйственных ресурсов (удобрения, гербициды, вода) с учетом специфики участка. При этом участки могут иметь разную форму.

Количество воды, подаваемой в почву во время каждого полива, зависит от того, сколько времени прошло с момента последнего полива и сколько воды с тех пор использовала культура.

Первый вариант требует максимальной модернизации дождевальной машины. Регулируемая подача воды осуществляется с помощью программируемого логического управления и электромагнитных клапанов, (рис. 1).

Для внедрения точного орошения необходимо решить две основные задачи: определение границ участков и управление точным орошением.

Датчик положения преобразует угловое положение вала в цифровой код. Датчик положения был установлен в начале магистрали и подключен к блоку управления. Структура исследовательской стратегии для точного орошения представлена на рисунке 2.

Для оценки эффективности применения прецизионного орошения были проведены исследования двух конструктивных решений.

В первом варианте управление осуществлялось индивидуально каждым дождевателем однопролетной машины посредством электромагнитного клапана. Электромагнитные клапаны *Vaureihe* были установлены в начале каждой вертикальной трубы (гусака), которая подсоединена к спускным поливным трубкам. Спускные поливные трубы установлены через 2,2 м.

Второй вариант был смонтирован на одном из пролетов и включал в себя систему блочного управления дождевателями с учащенной их установкой через 0,5 м и дополнительной горизонтальной полимерной трубой (рис. 3). Внутренний диаметр трубок составлял 20,0 мм.

Определение зон управления орошением основывалось на измерении электропроводности почвы с помощью датчиков. В исследованиях использовалась система оценки влажности почвы *Seed'OS_5* [3]. Полевые испытания, связанные с мониторингом влажности почвы, включают в себя оценку и калибровку датчика влажности

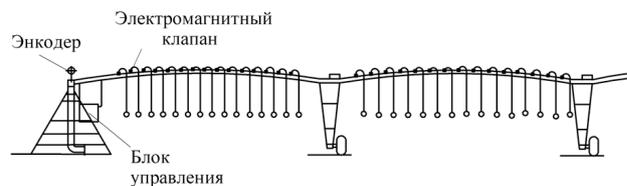


Рис. 1. Модернизация дождевальной машины
Fig. 1. Sprinkler machine upgrade

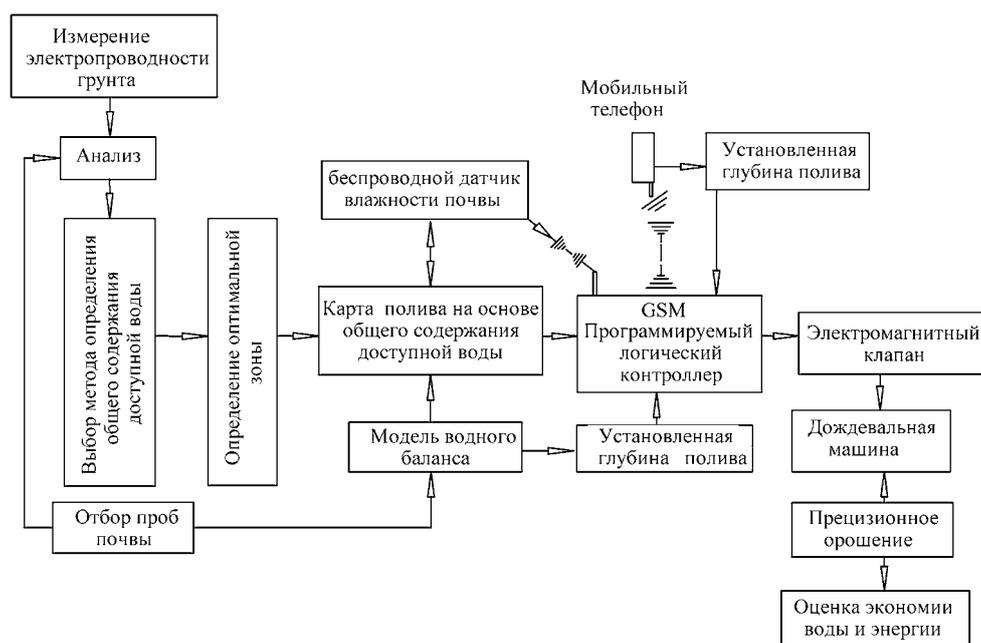


Рис. 2. Стратегия точного орошения
Fig. 2. Precision irrigation strategy

почвы для конкретной почвы, полевые испытания передачи данных.

Показания снимались по сетке на расстоянии 4-6 м друг от друга.

Полевые исследования проводились на каштановых среднесуглинистых почвах с наименьшей влагоемкостью 20% НВ. Культура – люцерна. Скорость ветра составляла менее 1,5 м/с. Дождевальная машина кругового полива – Reinke.

Количество подаваемой воды регулировалось временем включения-выключения клапана (пульсацией) и установкой таймера движения машины. Режим «Старт-стоп» также измеряется соотношением времени движения и стоянки машины (ПВ%).

При 80% клапан открывался на 80 с и закрывался на 20 с.

Рабочее давление составляло 0,05 МПа; 0,10 МПа; 0,12 МПа; 0,15 МПа; 0,20 МПа; 0,250 МПа.

Известно, что у широкозахватных дождевальных машин, у дождевателей, расположенных

у последней тележки, интенсивность полива достигает значительных величин, вызывая сток и провоцируя эрозионные процессы почвы. Величина допустимой интенсивности в общем виде зависит от типа почвы, уклона местности и диаметра капель. Рационально с учетом условий принять максимальные характеристики дождя: интенсивность – до 0,6 мм/мин, а диаметр капель – до 1,0 мм.

Результаты и их обсуждение. На поле были определены зоны полива с использованием измерений на основе датчиков. Основываясь на измерениях влажности почвы в пределах каждой зоны, можно определить дефицит влажности почвы и требуемое количество воды.

На основании градации было выделено 6 зон содержания доступной воды (рис. 4).

Проведенный анализ показал неравномерное распределение. Первая и шестая зоны – самые незначительные (2 и 3% соответственно). Суммарно на их долю приходится 0,33 га. Самыми большими являются вторая и третья зоны общей площадью 6 га. Среднее значение содержания доступной воды составляет 134 мм.

Количеством зон, на которые разбивается зона полива, можно регулировать большую или меньшую точность подачи воды. Увеличение количества зон больше 6, как правило, является нецелесообразным.

Программируемый логический контроллер и электромагнитные клапаны позволяли включать и выключать подачу воды при любой скорости с уровнем пульсации от 0 до 100% с интервалом в 100 с.

Сравнивая характеристики со стандартной технологией полива единой нормой, можно сделать вывод о том, что предлагаемая технология полива на данном участке полива не позволит значительно экономить ресурсы, но обеспечит экологически безопасный полив, а это особенно важно при рассмотрении орошения на перспективу.

Исследования показали, что датчики Seed'OS_5 являются надежными приборами и могут быть эффективно использованы для измерения содержания влаги в почве. Тем не менее расстояние между точками отбора проб должно быть уменьшено.

При втором варианте модернизации слой осадков, выданный машиной при разных режимах, определялся дождемерами. Сравнение требуемого слоя осадков и выданного при разных скоростях движения машины представлено в таблице 1.

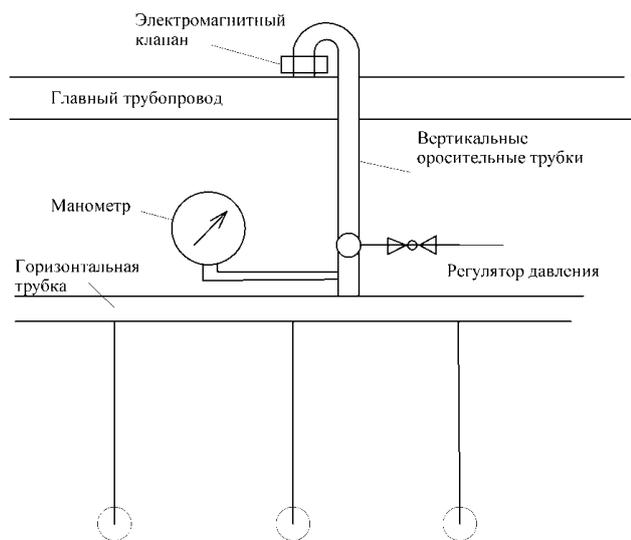


Рис. 3. Вариант с блочным управлением дождевателями по уащенной схеме

Fig. 3. Option with block control of sprinklers according to a quickened scheme

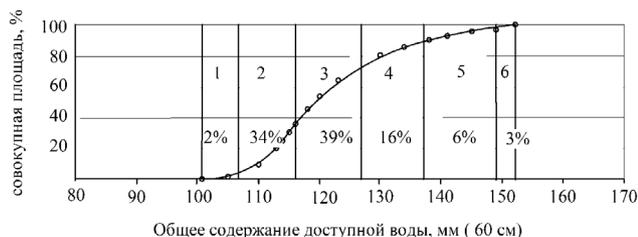


Рис. 4. Распределение доступной воды по площади

Fig. 4. Distribution of available water over the area

Таблица 1. Слой осадков при разных скоростях движения машины

Table 1. Precipitation layer at different speeds of the sprinkler machine

Пульсация % <i>Pulsation, %</i>	Скорость машины 15% <i>Machine speed 15%</i>		Скорость машины 30% <i>Machine speed 15%</i>	
	Измеренный слой осадков, мм <i>Measured precipitation layer, mm</i>	Теоретический слой осадков, мм <i>Theoretical precipitation layer, mm</i>	Измеренный слой осадков, мм <i>Measured precipitation layer, mm</i>	Теоретический слой осадков, мм <i>Theoretical precipitation layer, mm</i>
	10	2,6	2,1	1,2
30	5,5	6,3	2,5	3,0
40	7,6	8,5	3,4	4,0
60	12,1	12,6	5,6	6,1
70	14,2	15,1	6,2	7,2
90	19,3	19,2	8,2	9,2
100	21,0	21,3	10,1	10,1

Поскольку клапаны имеют некоторую инертность срабатывания, необходимо было оценить их влияние. Результаты исследований не выявили значимого влияния ни в первом, ни во втором вариантах модернизации. Тем не менее измерения показали некоторые отклонения на границе зон управления с большим/меньшим слоем осадков, а также колебаний радиусов полива дождевателями.

Значительно большей проблемой явился подбор дождевателей с устойчивым радиусом полива и высокой равномерностью, поскольку наложение слоя осадков от соседних дождевателей влияет на точность подачи воды в целом.

Дождеватели Nelson irrigation PC-S3000, используемые в комплекте в первом варианте модернизации, имели относительно большой радиус полива, что указывает на необходимость использования дождевателей с меньшим радиусом полива, разработки новых и подбора существующих. Во втором варианте модернизации

использовались авторские дождеватели дефлекторного типа [3].

Радиус распыливания воды дождевателем не должен превышать расстояния между дождевателями.

Некоторое отклонение равномерности могло быть вызвано ветром, скорость которого на короткое время превышало максимальные значения, указанные в инструкции по эксплуатации.

Результаты исследований показали, что использование представленного метода подачи воды не оказало отрицательного влияния на равномерность подачи воды по сравнению с равномерностью подачи воды традиционной системой полива (табл. 2).

Исследования показали колебания давления в точках перехода в новую зону полива и при одновременном открытии или закрытии всех электромагнитных клапанов, что требует дополнительных гидравлических исследований. Одновременное закрытие всех

Таблица 2. Коэффициент однородности при различных режимах полива (второй вариант модернизации)

Table 2. Uniformity coefficient under different irrigation regimes (the second option of modernization)

Уровень пульсации клапана, % <i>Valve pulsation level, %</i>	Коэффициент эффективности полива Кристиансена <i>Christiansen irrigation efficiency coefficient</i>	
	при скорости 15% <i>at 15% speed</i>	при скорости 30% <i>at 30% speed</i>
	10	76,6
30	89,8/*87	91,9/*89
40	90,9	89,4
60	94,3/*90	89,9/*88
70	94,1	90,7
90	96,4	96,8
100	97,4	94,8

* значения при первом варианте модернизации / values for the first upgrade option

электромагнитных клапанов возможно при проходе машины над неполиваемыми секторами (при поливе участков специфической формы, особенностей рельефа, непродуктивных участков почвы).

Изменения расхода составили порядка 10-15% при рабочих давлениях в диапазоне от 0,05-0,20 МПа. Результаты представлены на рисунке 5.

Для практического использования были разработаны графики соотношения уровня пульсации (процента включения-выключения клапана) и скорости машины (соотношения паузы-движения) для обеспечения требуемого слоя осадков (рис. 6).

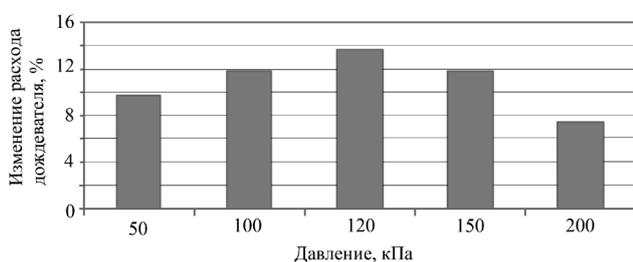


Рис. 5. Зависимость между рабочим давлением и изменением расхода дождевателя

Fig. 5. Relationship between operating pressure and change in sprinkler flow

Выводы

Для определения эффективности применения прецизионного орошения необходимо:

- Оцифровать предполагаемую площадь полива; определить характеристики почвы.
- Разработать карту общего содержания доступной воды.
- Зонировать площадь полива с обобщением близко расположенных зон. При разнице величины более 20% применение прецизионного полива экономически обосновано.
- Оценить площади участков разных зон содержания доступной воды. При наличии двух и более зон площадью каждой более 10%

Список использованных источников

1. Афанасьев Р.А. Агрохимическое обеспечение точного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 3. С. 46-52. EDN: JXDBDF
2. Витковская С.Е. Оценка пространственной неоднородности агрохимических параметров почвы в пределах делянки полевого опыта / С.Е. Витковская, А.А. Изосимова П.В. Лekomтцев // Агрохимия. 2010. № 3. С. 75-82.
3. Журавлева Л.А. Техничко-технологические решения и рекомендации по сохранению плодородия почв подверженных водной эрозии: Монография / Журавлева Л.А., Якобсон Б.Б. Москва, 2024. 115 с.

Организация поливов заключается в предварительном планировании на основании характеристик природной зоны, возделываемой культуры, гидрогеологии, хозяйственных факторов и картирования почв, а также факторов, обуславливающих необходимость корректировки режима на основании анализа информации, результатов оперативных метеоданных и измерений характеристик почвы.

Преимуществами разработанной системы являются повышение урожайности сельскохозяйственных культур, экономичное использование ресурсов за счет применения переменной нормы расхода, оптимизация или экономия воды и электроэнергии.

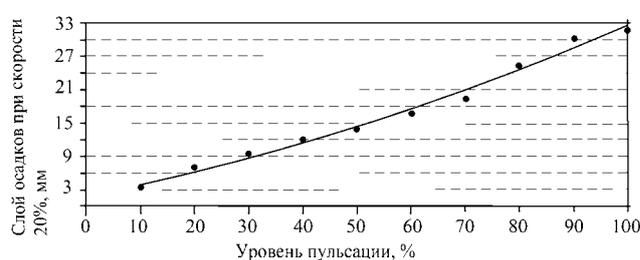


Рис. 6. Изменение слоя осадков в зависимости от режима полива

Fig. 6. Change in the precipitation layer depending on the irrigation regime

применение прецизионного полива экономически и экологически обосновано.

Прецизионное орошение позволяет снизить затраты на ресурсы. Эффективность зависит от соотношения составляющих параметров изменчивости опытного участка или поля. Поля, которые характеризуются пространственной изменчивостью, выигрывают от применения системы точного орошения.

Не вызывает сомнения экологическая целесообразность применения технологии прецизионного орошения, позволяющая избежать негативного воздействия на окружающую среду, повысить качество продукции и сэкономить ресурсы.

Referenes

1. Afanasjev R.A. Agro chemical provision of the precision farming // Problems of agro chemistry and ecology. 2008. № 3. P. 46-52. EDN: JXDBDF
2. Vitkovskaya S.E. Assessment of the spatial inhomogeneity of agrochemical parameters of soil within the plot of the field experiment / S.E. Vitkovskaya, A.A. Izosimova, P.V. Lekomtsev // Agro chemistry. 2010. № 3. P. 75-82.
3. Zhuravleva L.A. Technical-technological solutions and recommendations on preservation of soil fertility subjected to water erosion: Monograph / Zhuravleva L.A., Yakobson B.B. Moscow, 2024. 115p.

4. Журавлева Л.А. Целесообразность внедрения “точного” земледелия // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 1 (101). С. 8-14. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-1-8-14

5. Соловьев Д.А. Цифровые технологии в сельском хозяйстве / Д.А. Соловьев, Л.А. Р.Н. Бахтиев [и др.]. // Аграрный научный журнал. № 11. 2019. С. 95-98. DOI: 10.28983/asj.y2019i11pp95-98 EDN: ICTZCV

6. Степных Н.В. Цифровизация управления агротехнологиями / Н.В. Степных [и др.]. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2018. 43 с.

7. Якушев В.П. Информационные технологии в точном земледелии / В.П. Якушев, Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, А.Г. Топаж // Агротехнический вестник. 2002. № 2. С. 36-39.

8. Abdrazakov F.K. The Studies of Water Flow characteristics in the Water Conducting belt of wide-coverage Sprinkling/ F.K. Abdrazakov, D.A. Solovev, D.A. Kolganov The Turkish Online. Journal of Design, Art and 0,125. Communication – TOJDAC

9. Mohapatra H. The Future of Smart Agriculture / H. Mohapatra, S.R. Mishra, K.M. Bhabendu // Publisher: NOVA. 2023.

10. Soloviev D.A. Robotic Irrigative Complex with intellectual Control System “CASCADE” / D.A. Soloviev, L.A. Zhuravleva, S.M. Bakirov // Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy. XVIII International Scientific and Practical Conference “Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy”. 2020.

11. Zhuravleva L. The method of calculating sprinklers for wide-reach sprinklers. BIO Web of Conferences, 2024.

12. Zhuravleva L. The technology of fertilizing irrigation with differentiated norms using wide-reach sprinkler machines. E3S Web of Conferences, 2024.

4. Zhuravleva L.A. Feasibility of introduction of “precise” agriculture // Scientific life. 2020. V. 15. № 1 (101). P. 8-14. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-1-8-14

5. Solovjev D.A. Digital technologies in agriculture / D.A. Solovjev L.A., R.N. Bakhtiev [and others]. // Agrarian scientific journal. № 11. 2019. P. 95-98. DOI: 10.28983/asj.y2019i11pp95-98 EDN: ICTZCV

6. Stepnykh N.V. Digitization of management of agro technologies / N.V. Stepnykh [and others]. Kurtamysh: ООО «Kurtamysh printing house», 2018. 43 p.

7. Yakushev V.P. Information technologies in the precise agriculture / V.P. Yakushev, R.A. Poluektov, E.I. Smolyar, A.G. Topazh // Agro chemical bulletin. 2002. № 2. P. 36-39.

8. Abdrazakov F.K. The Studies of Water Flow characteristics in the Water Conducting belt of wide-coverage Sprinkling/ F.K. Abdrazakov, D.A. Solovev, D.A. Kolganov The Turkish Online. Journal of Design, Art and 0,125. Communication – TOJDAC.

9. Mohapatra H. The Future of Smart Agriculture / H. Mohapatra, S.R. Mishra, K.M. Bhabendu // Publisher: NOVA. 2023.

10. Soloviev D.A. Robotic Irrigative Complex with intellectual Control System “CASCADE” / D.A. Soloviev, L.A. Zhuravleva, S.M. Bakirov // Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy. XVIII International Scientific and Practical Conference “Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy”. 2020.

11. Zhuravleva L. The method of calculating sprinklers for wide-reach sprinklers. BIO Web of Conferences, 2024.

12. Zhuravleva L. The technology of fertilizing irrigation with differentiated norms using wide-reach sprinkler machines. E3S Web of Conferences, 2024.

Об авторе

Лариса Анатольевна Журавлёва, д-р техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus:57204785451; PИИЦ ID: WOS Research ID: AAO-7123-2020; dfz@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Журавлёва Л.А. выполнила теоретические и практические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 16.02.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 25.05.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 25.05.2025

Information about the author

Larisa A. Zhuravleva, DSc (Eng), associate professor; ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus:57204785451; RINTS ID: WOS Research ID: AAO-7123-2020; dfz@yandex.ru

Zhuravleva L.A. carried out theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. She has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.