

## АГРОИНЖЕНЕРИЯ

### 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 631.6

doi.: 10.28983/asj.y2024i10pp126-130

### Технология дифференцированного экологически безопасного полива широкозахватной дождевальнoй техникой

Лариса Анатольевна Журавлева, Алексей Сергеевич Апатенко

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия

E-mail: dfz@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлена технология дифференцированного полива, позволяющая снизить объем поверхностного стока и значительно повысить экологическую безопасность. Объем стока при поливе по стандартной технологии единой поливной нормой в 2020 г. составил 9 % от поливной нормы, что в 2,3 раза больше, чем при поливе по технологии, отличающейся дифференцированной нормой в соответствии с разработанной методикой. По результатам полевых исследований в 2021 г. объем стока при стандартной технологии составил 10 %. Объем стока при оптимизированной технологии был меньше в 2,4 раза. Исследования 2022 г. также показали, что объем стока при поливе по стандартной технологии значительно выше, чем при поливе дифференцированной нормой. Объем стока при стандартной технологии составил 8 %, при оптимизированной – 3,6 %. Поверхностный сток приводит к смыву верхнего наиболее плодородного слоя почвы и выносу из него полезных химических элементов и гумуса. Лабораторные исследования показали снижение их выноса при внедрении оптимизированной технологии в среднем в два раза.

**Ключевые слова:** норма полива; водная эрозия; дождевальные машины; поверхностный сток

**Для цитирования:** Журавлева Л. А., Апатенко А. С. Технология дифференцированного экологически безопасного полива широкозахватной дождевальной техникой // Аграрный научный журнал. 2024. № 10. С. 126–130. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i10pp126-130>.

## AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

### Technology of differentiated environmentally safe irrigation with wide-coverage sprinkler equipment

Larisa A. Zhuravleva, Aleksey S. Apatenko

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

E-mail: dfz@yandex.ru

**Abstract.** The article considers the technology of differentiated irrigation, that reduces the volume of surface runoff and significantly improves environmental safety. The volume of surface runoff per irrigation using standard technology in 2020 amounted to 9 % of the irrigation rate, which is 2.3 times more than that with optimized technology. According to the results of research in 2021, the volume of surface runoff using standard technology amounted to 10 % of the irrigation rate. The volume of runoff using optimized technology was 2.4 times less. Field studies in 2022 also showed that the volume of surface runoff during irrigation using standard technology, with the same rate, is significantly higher than that of irrigation with differentiated standards and the volume of runoff from the irrigation rate was 8% with standard technology, 3.6% with optimized technology. The surface runoff results in surface wash and removal of nutrients and humus. The analysis also showed the decrease of nutrient removal with the introduction of optimized technology.

**Keywords:** irrigation rate; water erosion; sprinklers; surface runoff

**For citation:** Zhuravleva L. A., Apatenko A. S. Technology of differentiated environmentally safe irrigation with wide-coverage sprinkler equipment // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(10): 126–130. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i10pp126-130>.



**Введение.** Природно-климатические условия большинства регионов Российской Федерации делают невозможным стабильное развитие сельского хозяйства и растениеводства без орошения. Однако недостатком практически всех дождевальных машин (ДМ) и установок является образование поверхностного стока и водной эрозии почвы.

Негативные процессы можно предотвратить, если поливные нормы не будут превышать дождевые или эрозионно-допустимые. Оптимизации технологий и разработке новых технических средств посвящено множество проектов исследователей [1–18].

Сток, размыв и эрозия могут быть вызваны несоответствием режимов работы, аварийными отключениями машин, особенностями рельефа и почвы, интенсивностью дождя и др. Допустимая интенсивность осадков зависит от водопроницаемости почвы, уклона поля, растительного покрова и почвы. При планировании технического процесса полива необходимо учитывать момент насыщения почвы влагой.

Целью является совершенствование технологии полива широкозахватными дождевальными машинами с целью снижения стока и водной эрозии почвы.

**Материалы и методы.** Рассмотрим процесс полива. Машина осуществляет полив поливной нормой  $m$ , м<sup>3</sup>/га. Поле разбито на три сектора.

Время, за которое ДМ осуществит полив, рассчитывают по формуле

$$QT = mS, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход ДМ, м<sup>3</sup>/ч;  $T$  – время полива участка, ч;  $S$  – площадь полива, га.

Скорость движения последней тележки  $V$ , м/с, вычисляют по формуле

$$V = \frac{l}{3600nT} = \frac{\pi R}{1800nT}, \quad (2)$$

где  $l$  – длина пути последней тележки, м;  $R$  – радиус полива;  $n$  – количество участков.

При первом поливе необходимое количество влаги  $W_1$  [3], м<sup>3</sup>/га, рассчитывают следующим образом:

$$W_1 = m + 0,5E_1T_1, \quad (3)$$

где  $E_1$  – среднечасовое водопотребление на первом участке, м<sup>3</sup>/га;  $T_1$  – среднее время полива первого участка, ч.

Расчет требуемой поливной нормы:

$$m_1 = \frac{QT_1}{F} = \frac{3600QT_1}{\pi R^2 \alpha}, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус полива, равный длине машины, м;  $\alpha$  – угол сектора полива, град.

Время полива первого участка:

$$T_1 = \frac{Fm}{Q - 0,5FE_1}. \quad (5)$$

Необходимое количество влаги  $W_2$ , м<sup>3</sup>/га, на втором участке:

$$W_2 = m + E_1T_1 + 0,5E_2T_2, \quad (6)$$

где  $E_2$  – среднечасовое водопотребление на втором участке, м<sup>3</sup>/га;  $T_2$  – среднее время полива второго участка, ч.

Время полива второго участка:

$$T_2 = \frac{F(m + E_1T_1)}{Q - 0,5FE_2}. \quad (7)$$

Необходимое количество влаги  $W_3$ , м<sup>3</sup>/га, на третьем участке:

$$W_3 = m + E_1T_1 + E_2T_2 + 0,5E_3T_3, \quad (8)$$

где  $E_3$  – среднечасовое водопотребление на третьем участке, м<sup>3</sup>/га;  $T_3$  – среднее время полива третьего участка, ч.

Время полива третьего участка:

$$T_3 = \frac{F(m + E_1T_1 + E_2T_2)}{Q - 0,5FE_3}. \quad (9)$$



При планировании полива необходимо задать количество участков. Как правило, при длине машины до 500 м достаточно трех участков. Большое количество участков рационально при особенностях рельефа или поливе нескольких культур. Далее при установке нормы водопотребления, длины и расхода машины и количества участков автоматически задается скорость движения последней тележки.

**Результаты исследований.** Экспериментальные исследования проводили на усовершенствованных дождевальных машинах Reinke при орошении кукурузы на зерно. Почва – темно-каштановая среднесуглинистая. Величину поверхностного стока определяли по стандартной методике с помощью стоковых площадок. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1 и на рисунке.

Таблица 1 – Объем стока в среднем за полив

Table 1 – The average volume of runoff per irrigation

Год	Технология	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Величина поверхностного стока		Подача воды, м <sup>3</sup> /га
			м <sup>3</sup> /га	от поливной нормы, %	
2020	Серийная	500	45,0	9,0	522
	Усовершенствованная		19,0	3,8	498
2021	Серийная	500	50,0	10	515
	Усовершенствованная		20,5	4,1	508
2022	Серийная	400	32,0	8,0	410
	Усовершенствованная		14,4	3,6	402

Как показывают проведенные исследования, объем поверхностного стока при стандартной технологии полива единой нормой 500 м<sup>3</sup>/га в 2020 г. составил 9 % от поливной нормы. Это в 2,3 раза больше, чем при внесении нормы, меняющейся согласно разработанной методике, т.е. дифференцированно.

Исследования 2021 г. показали, что объем стока при стандартной технологии составил 10 % от поливной нормы. Объем стока после полива дождевальной машиной, работающей по оптимизированной дифференцированной технологии, уменьшился в 2,4 раза.

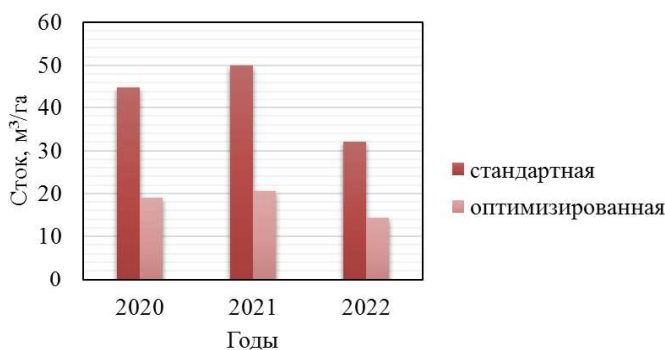


Рисунок 1 – Поверхностный сток оросительной воды за один полив

Figure 1 – Surface runoff of irrigation water per one irrigation

Полевые исследования, проводимые в 2022 г., также показали, что объем поверхностного стока при поливе по стандартной технологии выше, чем при поливе дифференцированными нормами.

Объем стока при стандартной технологии 8 %, при оптимизированной – 3,6 %, что в два раза меньше.

С поверхностным стоком смывается поверхностный плодородный слой почвы и гумус (твердый сток). Результаты исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Твердый сток в среднем за один полив

Table 2 – The average volume of solid runoff per irrigation

Год	Технология	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Твердый сток, т на 1 га
2020	Стандартная	500	0,95
	Усовершенствованная		0,41
2021	Стандартная	500	0,98
	Усовершенствованная		0,45
2022	Стандартная	400	0,76
	Усовершенствованная		0,30



Объем твердого стока определяется величиной поверхностного стока. С ним из почвы выносятся полезные химические элементы, гумус, что негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур.

Подсчет массы химических элементов, выносимых со стоком из почвы, производили при помощи лабораторного химического анализа. Результаты исследования приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Вынос химических элементов**

**Table 3 – The removal of chemical elements**

Год	Технология	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Вынос химических элементов, кг/га		
			NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2020	Стандартная	500	0,40	0,09	0,21
	Оптимизированная		0,17	0,04	0,08
2021	Стандартная	500	0,43	0,09	0,22
	Оптимизированная		0,19	0,04	0,09
2022	Стандартная	400	0,34	0,08	0,17
	Оптимизированная		0,15	0,03	0,07

Вынос гумуса и полезных химических элементов с твердым стоком при поливах по стандартной и оптимизированной технологиям по представленной методике расчета норм также определялся при помощи химического анализа. Результаты исследования приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Вынос гумуса и полезных химических элементов с твердым стоком за один полив**

**Table 4 – Removal of humus and useful chemical elements with solid runoff per irrigation**

Год	Технология	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Вынос питательных веществ из почвы, кг/га			
			Гумус	NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2020	Стандартная	500	40,0	2,9	0,9	13,1
	Оптимизированная		17,5	1,4	0,4	5,4
2021	Стандартная	500	41,4	3,2	0,9	12,9
	Оптимизированная		19,1	1,6	0,4	5,8
2022	Стандартная	400	33,0	2,6	0,7	11,0
	Оптимизированная		13,6	0,9	0,4	4,0

**Заключение.** Экспериментальные исследования доказали эффективность и экологическую безопасность оптимизированной технологии полива. Актуально проведение дальнейших исследований по оптимизации режима работы, схем и технологических приемов полива, исключающих переполив и водную эрозию почв, для адаптации к изменяющимся в течение поливного периода условиям.

*Работа выполнена по теме Министерства сельского хозяйства РФ и за счет средств федерального бюджета.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губер К. В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: дис. ... д-ра техн. наук. М.: ФГБНУ ВНИИГиМ, 2000. 518 с.
2. Есин А. И. Ресурсосберегающие технологии и дождевальные машины кругового действия: монография / А. И. Есин, Л. А. Журавлева, В. А. Соловьев. Саратов: Амирит, 2019. 214 с.
3. Журавлева Л. А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальные машины кругового действия: дис. ... д-ра техн. наук. Саратов: ФГБОУ ВО СГАУ им. Н. И. Вавилова, 2018. 409 с.
4. Оценка параметров ходовой системы «Кубань-ЛК1» при заравнивании колеи / А. И. Рязанцев [и др.] // Наука в центральной России. 2023. № 1. С. 116–123.
5. Ресурсосбережение – как основа совершенствования многоопорных дождевальных машин / Н. Ф. Рыжко [и др.] // Природообустройство. 2022. № 1. С. 12.
6. Рыжко Н. Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье: монография. Саратов: Саратовский источник, 2007. 110 с.
7. Слюсаренко В. В., Журавлева Л. А. Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на низконапорном режиме // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 1. С. 22–24.
8. Снопич Ю. Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: дис. ... д-ра техн. наук. Новочеркасск: ФГНУ РосНИИПИМ, 2011. 340 с.
9. Соловьев Д. А., Журавлева Л. А., Бахтиев Р. Н. Цифровые технологии в сельском хозяйстве // Аграрный научный журнал. 2019. № 11. С. 95–98.





10. Соловьев Д. А., Журавлева Л. А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 1(41). С. 38–43.
11. Эколого-энергетическое совершенствование многоопорных дождевальных машин / С. С. Турапин [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 3. С. 30–36.
12. Abdrazakov F. K., Zhuravleva L. A. Technological solutions are environmentally friendly safe watering with wide-ranging sprinkler machines // BIO Web of Conferences. Available at: <https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2023/11/contents/contents.html>.
13. Martin D. L. Design and operation of sprinkle systems. DOI: 10.13031/2013.23699, 2007.
14. Mathematical Modeling of Water Conducting Belt for Circular Action Sprinkler / A. I. Esin, L. A. Zhuravleva, V. M. Boikov, V. A. Mukhin, F. V. Serebrennikov // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Vol. 10. No. 10. P. 2135–2141.
15. Mat Leh N. A. Smart Irrigation System Using Internet of Things. IEEE International Conference on System Engineering and Technology. 2019. No. 9. P. 96–101
16. The Studies of Water Flow Characteristics in the Water Conducting Belt of Wide-Coverage Sprinkling / F. K. Abdrazakov, D. A. Solovyov, L. A. Zhuravleva, D. A. Kolganov, V. A. Solovyov // The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication. 2018. No. 8. P. 567–577.
17. Varsha P. M. Varsha A., Shubha H. V., Parneeth Charanthimath. Smartphone Based Automatic Irrigation System // International Journal of Engineering Research & Technology. 2018. Available at: <https://www.ijert.org/research/smartphone-based-automatic-irrigation-system-IJERTCONV6IS15074.pdf>.
18. Zakari M. D. Design, Construction and Installation of Sprinkler Irrigation System // A Journal of the Faculty of Engineering. 2014. Vol. 7 (1, 2). P. 109–117.

## REFERENCES

1. Guber K. V. Resource-saving technologies and designs of irrigation systems for sprinkling: dissertation for the degree Doctor of Technical Sciences. Moscow, 2000. 518 p. (In Russ.).
2. Esin A. I., Zhuravleva L. A., Solovyov V. A. Resource-saving technologies and circular sprinklers. Saratov; 2019. 214 p. (In Russ.).
3. Zhuravleva L. A. Resource-saving wide-coverage circular sprinklers: dissertation for the degree Doctor of Technical Sciences. Saratov; 2018. 409 p. (In Russ.).
4. Evaluation of the parameters of the running system “Kuban-LK1” when leveling the track / A. I. Ryazantsev, A. N. Zazulya, E. Yu. Evseev et al. *Science in the Central Russia*. 2023;(1):116–123. (In Russ.).
5. Resource saving as the basis for improving multi-supported sprinkler machines / N. F. Ryzhko, S. N. Ryzhko, E. S. Smirnov, S. A. Khorin. *Prirodoobustrojstvo*. 2022;(1):12. (In Russ.).
6. Ryzhko N.F. Improvement of technical means and irrigation technology in the Volga region. Saratov, 2007. 110 p. (In Russ.).
7. Slusarenko V.V., Zhuravleva L. A. Experience on the sprinkling machine “Fregat” in low head regime operation. *Melioration and Water Management*. 2004;(1)22–24. (In Russ.).
8. Snipich Yu. F. Intensification of technologies and improvement of technical means of sprinkling irrigation: dissertation for the degree Doctor of Technical Sciences. Novocheboksinsk, 2011. 340 p. (In Russ.).
9. Solovyev D. A., Zhuravleva L. A., Bakhtiev R. N. Digital technology in agriculture. *Agrarian Scientific Journal*. 2019;(11):95–98. (In Russ.).
10. Solovyev D. A., Zhuravleva L. A. The influence of the regime of movement of sprinkling machines on the rate of watering. *Herald of Agroindustrial Complex of Upper Volga Region*. 2018;1(41):38–43. (In Russ.).
11. Ecological and energy improvements of multi-towered irrigation machines / S. S. Turapin, G. V. Olgarenko, A. I. Riazantsev, A. O. Antipov. *Melioration and Water Management*. 2021;(3):30–36. (In Russ.).
12. Abdrazakov F. K., Zhuravleva, L. A. Technological solutions are environmentally friendly safe watering with wide-ranging sprinkler machines. BIO Web of Conferences. Available at: <https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2023/11/contents/contents.html>.
13. Martin D. L. Design and operation of sprinkle systems. DOI: 10.13031/2013.23699, 2007.
14. Mathematical Modeling of Water Conducting Belt for Circular Action Sprinkler / A. I. Esin, L. A. Zhuravleva, V. M. Boikov, V. A. Mukhin, F. V. Serebrennikov. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018;10(10):2135–2141.
15. Mat Leh N. A. Smart Irrigation System Using Internet of Things. IEEE International Conference on System Engineering and Technology. 2019;(9):96–101
16. The Studies of Water Flow Characteristics in the Water Conducting Belt of Wide-Coverage Sprinkling / F. K. Abdrazakov, D. A. Solovyov, L. A. Zhuravleva, D. A. Kolganov, V. A. Solovyov. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication*. 2018;(8):567–577.
17. Varsha P. M. Varsha A., Shubha H. V., Parneeth Charanthimath. Smartphone Based Automatic Irrigation System. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2018. Available at: <https://www.ijert.org/research/smartphone-based-automatic-irrigation-system-IJERTCONV6IS15074.pdf>.
18. Zakari M. D. Design, Construction and Installation of Sprinkler Irrigation System. *A Journal of the Faculty of Engineering*. 2014;7(1, 2):109–117.

Статья поступила в редакцию 07.01.2024; одобрена после рецензирования 07.03.2024; принята к публикации 20.03.2024.  
The article was submitted 07.01.2024; approved after reviewing 07.03.2024; accepted for publication 20.03.2024.