ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН НА НОРМУ ПОЛИВА

Д.А. Соловьев (фото)
д.т.н., доцент, декан факультета инженерии и природообустройства, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины»
Л.А. Журавлева
к.т.н., доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины»
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», г. Саратов

Орошение, скорость, норма полива, радиус, режим работы

Irrigation, speed, the rate of watering, radius, the regime of work

В настоящее время в России полив дождеванием производится на площади 4,5 млн га. Около 70% этой площади поливают широкозахватные дождевальные машины (ДМ) [1].

Недостатком этого способа является то, что при некоторых условиях дождевание может вызывать поверхностный сток оросительной воды и ирригационную эрозию почв, что ведет к ухудшению водно-физических и агрохимических свойств почв, значительно снижается ее плодородие. В зависимости от типа ДМ, сельскохозяйственной культуры и уклона поля, средняя величина поверхностного стока при оросительной норме 600 м^3/га составляет от 20 до 45% от водоподачи [2, 3, 4].

При дождевании сток воды и эрозия почвы будут предотвращены, если поливные нормы не превысят достоковые, или эрозионно-допустимые [2, 3, 4].

Также причиной возникновения поверхностного стока и ирригационной эрозии являются несоответствие в режимах движения, аварийные остановки при работе в автоматическом режиме, особенно характерные для ДМ «Фрегат» в случае, если не предусмотрено отключение машин от питающей сети при остановке или пробуксовке последней тележки, приводящее к переполивам.

Для широкозахватных дождевальных машин, работающих в движении, лимитирующим фактором при задании нормы полива является скорость движения машины. Поэтому при расчете параметров и режимов работы необходимо увязывать минимальную норму полива со скоростью движения машины.

На современных дождевальных машинах в большинстве случаев применяют электропривод с асинхронным двигателем переменного трехфазного тока ввиду его распространенности и простоты эксплуатации (ДМ «Кубань») или гидропривод (ДМ «Фрегат»).

Особенностью большинства электрифицированных широкозахватных дождевальных машин является работа в режиме «старт-стоп». Кроме того, движение машины происходит не одновременно всеми опорными тележками, а попеременно, отдельными секциями, относительно центральной опоры.

Скорость движения задается со щита управления путем изменения продолжительности включения (ПВ%) электродвигателя последней тележки. Движение остальных тележек машины также происходит в режиме «старт-стоп»; при этом управление движением каждой тележки осуществляется автономно прибором синхронизации движения. С помощью процентного таймера устанавливается время движения последней опорной тележки, что определяет общую скорость движения по кругу всей установки.

Работа системы синхронизации осуществляется следующим образом. Перемещение последней опорной тележки, происходящее по команде, вызывает поворот пролета вокруг предпоследней тележки. Движение предпоследней аналогично вызывает движение последующей опорной тележки и т.д. Поэтому движение машин данного типа достаточно сложно, как и расчет таких параметров машин, как скорость движения и величина нормы полива за проход машины.

Работа дождевальной машины в режиме «старт-стоп» как бы совмещает полив в движении с позиционным поливом при непрерывной подаче воды. Установкой на таймере соответствующих значений соотношения между периодами движения и остановкой изменяется скорость движения и выдаваемая норма полива. При этом, чем меньше время импульса «старт» и больше время паузы «стоп», тем выше значение нормы полива.

При этом общее число шагов n равно числу стоянок машины. Норму полива за проход машины можно представить в виде:

$$m = m_{СТ} + m_{ДВ,} \quad (1)$$

где $m_{СТ}$ – позиционная норма полива, м³/га;

$m_{ДВ}$ – норма полива, выдаваемая в процессе движения машины, м³/га.

Норма позиционного полива зависит от интенсивности дождя ρ и времени стоянки машины $t_{СТ}$ и равна [5]:

$$m_{СТ} = 10\rho t_{СТ} = 600\, Qt_{СТ} / bl, \quad (2)$$

где ρ – средняя интенсивность дождя, мм/мин;

$t_{СТ}$ – время стоянки дождевальной машины, мин;

Q – расход воды машиной, м³/с;

b и l – ширина и длина захвата дождем машины, м. В данном случае l = R;

где R – радиус машины, м.

Норма, выдаваемая за время движения машины, равна

$$m_{ДВ} = \frac{600\, Q}{2\pi\, RV_{ср}} \quad (3)$$

где $V_{ср}$ – средняя скорость движения тележки, м/мин.

При этом на каждую элементарную точку дождь выпадает n раз от позиционного и непрерывного полива. Скорость движения тележки можно выразить как:

$$V_т = \Delta S / t_{ДВ}, \quad (4)$$

где ΔS – шаг движения машины;

$t_{ДВ}$ – время движения машины; а шаг

$$\Delta S = \ell / n, \quad (5)$$

где ℓ – длина дуги траектории движения тележки,

$$\ell = 2\pi R. \quad (6)$$

Подставив выражения (2)–(5) в выражение (1), после преобразований, получим:

$$m = \frac{600\, Q}{R}\left(\frac{t_{СТ}}{b} + \frac{1}{2\pi V_{Ср}}\right). \quad (7)$$

Еще одной особенностью является то, что при расчете следует принимать не паспортную, а фактическую скорость движения дождевальной машины, поскольку при движении в режиме «старт-стоп» имеет место пробуксовывание. Оно зависит от агрофона, типа почвы, скорости передвижения машины, влажности почвогрунта. Из-за снижения скорости тележки возникает переполив.

Помимо этого, передвижение колес опорных тележек по колее приводит к дополнительному уплотнению почвы и, как следствие, к ухудшению впитывания воды, затрудняющему передвижение машины.

Кроме того, передние и задние колеса ходовых тележек находятся в разных условиях движения, при относительно малых скоростях движения задние колеса двигаются по более увлажненной почве.

Поэтому фактическая и средняя скорость движения машин при передвижении с позиции на позицию всегда ниже паспортной, а выдаваемая норма полива выше, что необходимо учитывать при расчетах эксплуатационных режимов орошения.

Таким образом, выражение следует переписать в виде:

$$\Delta S = V_т\, t_{ДВ}\, \beta / 60, \quad (8)$$

где β – коэффициент пробуксовывания.

Число шагов на отрезке пути, равном длине мгновенной площади захвата дождем, определяется выражением:

$$n = b / \Delta S = 60b / V_т\, t_Д B\, \beta. \quad (9)$$

Таким образом, происходит замедление скорости движения машины между позициями и средней скорости движения, что увеличивает число циклов и норму полива за проход.

Время каждого цикла для машин «Кубань-ЛК» и «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД): $t_Ц$ = 100 с. Оно включает время движения $t_{ДВ}$ и стоянки $t_{СТ}$ машины:

$$t_Ц = t_{ДВ} + t_{СТ}. \quad (10)$$

Время, в течение которого ДМ осуществляет полив во время стоянки, т.е. периода «стоп», в зависимости от средней скорости движения $V_{СР}$, числа шагов n, можно выразить зависимостью [5]:

$$t_{СТ} = b\,(1 - \lambda_V) / V_{СР}\, n, \quad (11)$$

где λ_V – коэффициент, учитывающий соотношение между средней скоростью и скоростью движения между позициями:

$$\lambda_V = V_{СР} / V_Т. \quad (12)$$

Средняя скорость движения в зависимости от поливной нормы:

$$V_{СР} = 60Q\beta / R\,m. \quad (13)$$

После преобразований получим:

$$t_{СТ} = \frac{Rmb(1-\lambda_V)}{60Q\beta n} = \frac{RmV_Т t_{ДВ}(1-\lambda_V)}{3600Q}. \quad (14)$$

Время цикла, необходимое для выдачи требуемой нормы полива, определяется из выражения:

$$t_Ц = \frac{60m}{\rho n} = \frac{mV_Т t_{ДВ}\beta}{\rho b}. \quad (15)$$

Среднюю скорость движения в зависимости от времени цикла можно определить по формуле:

$$V_{ср} = 60\Delta S\beta / t_Ц. \quad (16)$$

Зависимость поливной нормы от средней скорости при различных длинах машины представлена на рисунке 1.

Рассмотрим более подробно режим работы ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (рис. 2) при следующих заданных параметрах: длина машины 487,7 м; радиус полива концевого аппарата 25 м; расход 66,8 л/с.; частота вращения двигателя 1390 мин$^{-1}$; передаточное отношение мотор-редуктора 64; передаточное отношение колесного редуктора 50; статический радиус колеса 0,62 м; время цикла 100 с; скорость тележки (max) 1,7 м/мин; время (min) полного оборота 30 ч; площадь полива 82,5 га; минимальная норма полива 40,5 м^3/га.

Тогда соотношения полученных параметров работы можно представить в виде таблицы 1.

Представленные расчеты позволяют задать режим движения, т.е. скорость, а соответственно и норму полива с помощью процентного таймера (соотношения времени хода и паузы).

Рассмотрим влияние режима работы на норму полива на примере ДМ с гидроприводом типа «Фрегат», который, как известно, также имеет циклический режим работы. Фактически каждая тележка перемещается только при наполнении гидроцилиндра, а при опорожнении стоит. Общее время цикла будет равно:

$$t_Ц = t_Н + t_{ОП}, \quad (17)$$

где $t_Н$ и $t_{ОП}$ – соответственно время наполнения и опорожнения цилиндра.

Эффект пробуксовывания и отклонения скорости движения и нормы полива за проход наблюдается и у ДМ «Фрегат».

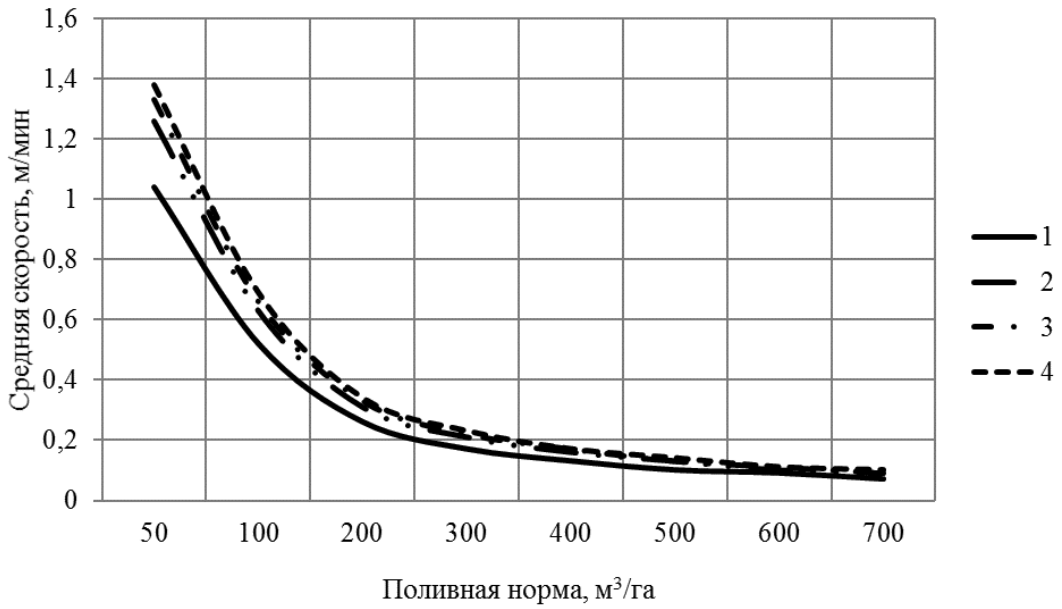

Рисунок 1 – Зависимость выдаваемой поливной нормы от скорости движения для ДМ длиной: 1 – 120 м; 2 – 250 м; 3 – 350 м; 4 – 487,7 м

Рисунок 2 – Дождевальная машина «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

Число ходов гидроцилиндра nr последней опоры в минуту, соответствующее требуемой норме полива [5]:

$$n_г = 5{,}5m_{min} / m_{ТР}, \quad (18)$$

где m_{min} и $m_{ТР}$ – соответственно минимальная и требуемая норма полива, м³/га;

5,5 – число ходов гидроцилиндра последней опоры в минуту при минимальном времени полного оборота машины.

Время оборота машины определяют из выражений:

$$T_{об} = m_{ТР} T / m_{min}, \quad (19)$$

где $n_г$ – число ходов гидроцилиндра;

Т – минимальное время полного оборота машины данной модификации.

Методика

Целью исследований являлось изучение влияния отклонения скоростей движения и норм полива от заданных в старт-стоповом режиме ДМ с электроприводом, а также гидроприводом на примере ДМ «Фрегат».

Для проверки выдвинутых предположений были проведены экспериментальные исследо-

Таблица 1 – Характеристики работы ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

Норма полива, м³/га	Радиус полива с учетом концевого аппарата, м	Скорость по внешнему радиусу полива, м/мин	Скорость тележки, м/мин	Ход, с.	Пауза, с.	Ход, с.	Пауза, с.	Время оборота, ч
50	512,7	1,44	1,378	48,7	11,3	81	19	37,02
100		0,72	0,689	24,4	35,6	41	59	74,05
200		0,36	0,344	12,2	47,8	20	80	148,10
300		0,24	0,230	8,2	51,8	14	86	222,15
400		0,18	0,172	6,1	53,9	10	90	296,20
500		0,14	0,138	4,9	55,1	8	92	370,25
600		0,12	0,115	4,1	55,9	7	93	444,30
700		0,10	0,098	3,5	56,5	6	94	518,35
				0	60	0	100	

вания в ООО «Наше дело» г. Маркс, Саратовская область.

Условия: темно-каштановый суглинок, объекты исследований ДМ «Кубань-ЛК1» и «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), «Фрегат-ДМУ».

Во время исследований фиксировались фактическая скорость движения, норма полива за проход, влажность почвы по колее.

Результаты исследований

Результаты сравнения теоретических и экспериментальных исследований показаны в таблице 2.

Фактическая скорость движения ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «Кубань-ЛК1» на 9,5–13,6% меньше заданной, причем с увеличением поливной нормы эта разница для обоих типов машин увеличивается. В свою очередь уменьшение скорости ведет к увеличению нормы полива на 7–10,5% от заданной.

Экспериментальные исследования ДМ «Фрегат-ДМУ» показывают, что скорость движения машины была также несколько ниже паспортной (0,45 об/сут) и составила при первом поливе 0,43, при втором – 0,42 об/сут. Это на 3,5 и 7,0% меньше паспортной скорости. Норма полива при первом проходе составила 295, при втором 343, в то время как заданная 290 м³/га (паспортная величина) [6].

Таблица 2 – Сравнительные характеристики ДМ «Кубань-ЛК1» и «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)

Норма полива, м³ /га			Скорость движения, м/мин			Влажность почвы в колее, % от НВ
m	$m_ф$		V	$V_ф$		
ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)						
300	323	7,1	0,220	0,20	-10,0	89,2
400	431	7,2	0,172	0,15	-12,7	95,6
500	548	8,7	0,138	0,12	-13,0	102,1
ДМ «Кубань-ЛК1»						
300	331	9,3	0,252	0,23	-9,5	93,7
400	443	9,7	0,201	0,18	-10,4	97,7
500	559	10,5	0,125	0,11	-13,6	105,2

Выводы

При проведении пробных поливов на орошаемом объекте необходимо установить величину фактической скорости движения и внести соответствующие коррективы в эксплуатационный режим работы машины, определив необходимые норму полива, соотношение импульса и паузы для таймера – для машин типа «Кубань» или положение крана-задатчика скорости – для ДМ «Фрегат». Это в конечном итоге приводит к недопущению переполивов, точному выполнению эксплуатационных режимов орошения и водосбережению.

Литература

1. Городничев, В.И. Управление, контроль и оценка работы дождевальных машин фронтального действия [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Городничев. – Коломна, 2004. – 60 с.

2. Гаврилица, О.А. Эрозионная деградация черноземов при поливе дождеванием и пути ее предупреждения [Текст]: автореф. дис. … д-ра техн. наук / О.Э. Гаврилица. – Кишинев, 1991. – 48 с.

3. Ольгаренко, Г.В. Ресурсосберегающие эффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения [Текст]: справочник / Г.В. Ольгаренко, В.И. Городничев, А.А. Алдошкин [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.

4. Фокин, Б.П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин [Текст] / Б.П. Фокин, А.К. Носов. – Ставрополь, 2011. – С. 80.

5. Губер, К.В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании [Текст]: автореф. дис. … д-ра техн. наук / К.В. Губер. – М., 2000. – 48 с.

6. Слюсаренко, В.В. Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на низконапорном режиме [Текст] / В.В. Слюсаренко, Л.А. Журавлева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 1. – С. 22–24.

References

1. Gorodnichev, V.I. Upravlenie, kontrol' i ocenka raboty dozhdeval'nyh mashin frontal'nogo dejstvija [Tekst]: avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk / V.I. Gorodnichev. – Kolomna, 2004. – 60 s.
2. Gavrilitsa, O.A. Jerozionnaja degradacija chernozemov pri polive dozhdevaniem i puti ee preduprezhdenija [Tekst]: avtoref. dis. … d-ra tehn. nauk / O.A. Gavrilitsa. – Kishinev, 1991. – 48 s.
3. Ol'garenko, G.V. Resursosberegajushhie jeffektivnye jekologicheski bezopasnye tehnologii i tehnicheskie sredstva oroshenija [Tekst]: spravochnik / G.V. Ol'garenko, V.I. Gorodnichev, A.A. Aldoshkin [i dr.]. – M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2015. – 264 s.
4. Fokin, B.P. Sovremennye problemy primenenija mnogoopornyh dozhdeval'nyh mashin [Tekst] / B.P. Fokin, A.K. Nosov. – Stavropol', 2011. – S. 80.
5. Guber, K.V. Resursosberegajushhie tehnologii i konstrukcii orositel'nyh sistem pri dozhdevanii [Tekst]: avtoref. dis. … d-ra tehn. nauk / K.V. Guber. – M., 2000. – 48 s.
6. Slyusarenko, V.V. Opyt jekspluatacii DM «Fregat» na nizkonapornom rezhime [Tekst] / V.V. Slyusarenko, L.A. Zhuravleva // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. – 2004. – № 1. – S. 22–24.

ОБЪЯВЛЕНИЕ

В издательстве ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА в 2016 г. вышла монография

«Проблемы устойчивого развития сельских территорий и сельскохозяйственного производства в регионе»

/ Л.В. Воронова, А.И. Голубева, А.М. Суховская, В.И. Дорохова, А.Н. Дугин; под общей редакцией д.э.н., профессора А.И. Голубевой.

В монографии рассматриваются теоретические основы развития сельских территорий, выявлена степень тесноты связи их социально-экономического состояния с уровнем экономики сельскохозяйственных предприятий в разрезе муниципальных районов региона, обосновываются предложения по обеспечению условий устойчивого развития сельских территорий и субъектов аграрной сферы, а также улучшения качества жизни сельского населения региона в ближайшей перспективе.

Монография предназначена для научных работников, а также для обучающихся высших и средних сельскохозяйственных учебных заведений, руководителей и специалистов органов управления АПК и сельскохозяйственных организаций.

УДК 338.43; ББК 65.32; ISBN 978-5-98914-159-3, 208 стр. (мягкий переплет)

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58. ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА
E-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru