DOI УДК 631.347

ПОТЕРИ ВОДЫ НА ИСПАРЕНИЕ И УНОС ВЕТРОМ ПРИ ПОЛИВЕ ДМ «ФРЕГАТ» С УСТРОЙСТВАМИ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ДОЖДЕВАНИЯ

КАРПОВА Ольга Валериевна, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ЛОМАКИН Максим Александрович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

В статье приведены результаты исследований величины потерь воды на испарение и унос ветром при поливе устройствами приповерхностного дождевания.

Введение. Дождевальные машины «Фрегат» эксплуатируются в Российской Федерации продолжительное время, вследствие чего накоплен большой экспериментальный материал по исследованию потерь воды на испарение и унос ветром. Потери воды на испарение и унос ветром впервые были проанализированы в работах [1, 2, 5], где обозначалось, что такие потери растут с увеличением высоты подъема дождевого облака. Серийные дождевальные аппараты и дефлекторные насадки, устанавливаемые на трубопроводе ДМ «Фрегат», создают дождевое облако высотой подъема струи до 4...7 м от поверхности почвы, что приводит к значительным потерям воды на испарение и унос ветром и снижению равномерности полива при усилении ветра.

Цель исследования – изучить потери воды на испарение и унос ветром при поливе дождевальной машиной «Фрегат» на основе совершенствования конструктивно-технологических параметров дождевальной насадки, устанавливаемой на устройствах приповерхностного дождевания (УПД).

Методика исследований. Исследования проводили на основе изучения водно-физических свойств почвы и урожайности сельскохозяйственных культур при поливе среднеструйными дождевальными аппаратами, серийными дефлекторными насадками и устройствами приповерхностного дождевания (по общепринятой методике полевого опыта Б.А. Доспехова, 1985) [3]. Экспериментальные методы содержат полевые исследования агротехнических и энергетических характеристик полива устройствами приповерхностного дождевания по СТО АИСТ 11.1-2010 [8].

Результаты исследований. По результатам экспериментальных исследований, выполненных в ОПХ «ВолжНИИГиМ» и ЗАО «АФ «Волга», было установлено, что потери воды на испарение и унос ветром при поливе низконапорными ДМ «Фрегат», оборудованными устройствами приповерхностного дождевания с дождевальными насадками (УПД-ДН), в весенний и осенний периоды при невысокой температуре воздуха и слабом ветре соответствуют нормативным показателям (табл. 1).

После замеров давления на выходе струи из сопла дождевальной насадки и скорости движения машины определяли расчетную норму полива и величину потер воды на испарение и унос ветром ($E_{и.у}$) на участках замеров по уравнению:

$$E_{и.у} = \frac{m_р - m_ф}{m_ф} 100\ \%,$$

где $m_р$, $m_ф$ – расчетная и фактическая поливные нормы, мм.

Фактическую норму полива определяли с помощью мерных емкостей и мензурки сразу после прохода машины по полю.

Расчетную норму полива определяли как среднюю в зоне полива дождевальным аппаратом (насадкой):

$$m_р = \frac{6 q R_т}{\ln R_a},$$

где q – расход воды дождевальным аппаратом, устройством приповерхностного дождевания с дождевальной насадкой, л/с; $R_т$, R_a – расстояние от центра вращения машины до последней тележки и до УПД с дождевальными насадками, м; l – путь передвижения последней тележки за ход гидроцилиндра, l = 0,164 м; n – фактическая цикличность цилиндра привода последней тележки, ход/мин.

В ОПХ ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», ЗАО «АФ «Волга» на оросительных системах было проведено четыре опыта. Проводили замеры фактической поливной нормы среднеструйными дождевальными аппаратами, серийными дефлекторными насадками, смонтированными на трубопроводе ДМ «Фрегат», и дождевальными насадками, установленными на УПД, а также

Таблица 1

Расход и потери воды на испарение и унос ветром при поливе различными дождевателями 12-опорной ДМ «Фрегат» марки ДМУ-А-328-45 при $P_{вх}$ = 0,4 МПа, $m_р$ = 32,2 мм, n = 3,0 ход/мин (ОПХ ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»)

Тип дождевателя	Диаметр сопла насадки, мм	Расход воды дождевателем, л/с	Средний расход воды на пролете, л/с	Фактическая норма полива, мм	Потери воды на испарение и унос ветром $E_{и.у}$, %
ДН	2,2	0,152 (1)	0,152	–	–
ДН	3,0	0,157 (5)	0,785	–	–
УПД-ДН	4,0	0,232 (5)	1,160	31,53	2,1
УПД-ДН	5,0	0,392 (5)	1,960	31,11	3,5
СДА	4,8–3,2	0,441 (5)	2,205	30,55	5,4
ДН	6,0	0,533 (5)	2,665	–	–
УПД-ДН	6,0	0,632 (5)	3,160	31,56	2,0
ДН	7,0	0,725 (5)	3,625	31,14	3,4
СДА	6,3–4,8	1,00(5)	5,00	30,57	5,3
УПД-ДН	8,0	1,128 (5)	5,64	31,6	1,9
ДН	9,0	1,263 (5)	6,314	31,17	3,3
СДА	7,1–4,8	1,4 (5)	7,00	30,6	5,2
ДН	10, 8,0	1,01 (3)	3,03	–	–
КДА	14,3–8,7–6,3	6,5 (1)	6,5	–	–
				$m_с$ = 31,7	
Общий расход воды машиной ДМ «Фрегат» – 49,7 л/с					

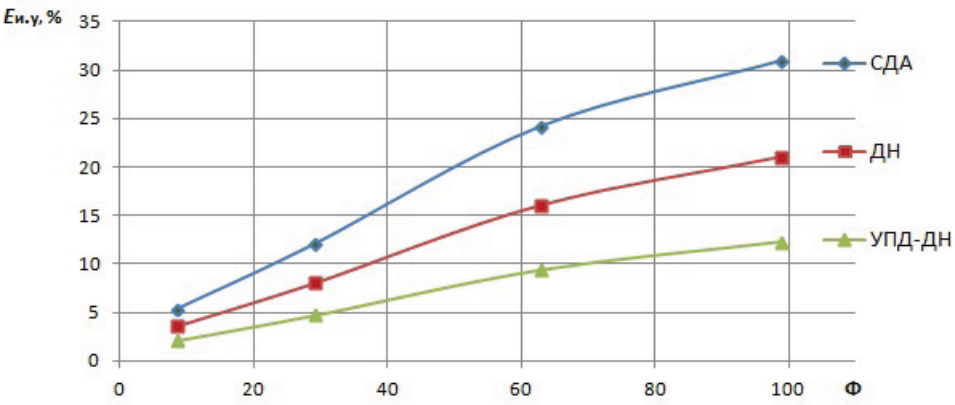
определяли потери воды на испарение и унос ветром при различных погодных условиях.

При выполнении опыта 1 на 12-опорной ДМ «Фрегат» хоз. № 2 марки ДМУ-А-328-45 в ОПХ ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» была произведена точная настройка на поливную норму, которая при цикличности гидропривода последней тележки 3,0 ход/мин составила 317 м³/га, что только на 1,5 % меньше требуемой – 322 м³/га.

Опыт проводили при температуре воздуха 18 °С, относительной влажности воздуха – 65 %, скорости ветра на высоте 2 м от поверхности почвы – 0,5 м/с, коэффициенте напряженности метеорологических факторов Ф = 8,4 (по Хабарову В.С.) При поливе среднеструйными дождевальными аппаратами наибольшие потери воды $E_{и.у}$ составили 5,2–5,4 %, серийными дефлекторными насадками, смонтированными на трубопроводе машины, – 3,3–3,5 %, дождевальными насадками, установленными на УПД, – 1,9–2,1 % (см. табл. 1) [6].

Опыт 2 проводили при следующих метеорологических условиях: температура воздуха – 24 °С, относительная влажности воздуха – 39 %, скорость ветра на высоте 2 м от поверхности почвы – 1 м/с, коэффициент напряженности метеорологических факторов Ф = 29,2. Потери воды на испарение и унос ветром $E_{и.у}$ в зоне полива среднеструйными дождевальными аппаратами составили 12 %, серийными дефлекторными насадками – 8,0–8,1 %, дождевальными насадками, установленными на устройства приповерхностного дождевания, – 4,0–4,6 % (табл. 2, см. рисунок).

Опыт 3 проводили при температуре воздуха 23 °С, относительной влажности воздуха 43 %, скорости ветра на высоте 2 м от поверхности почвы 3,7 м/с, коэффициенте напряженности метеорологических факторов Ф = 62,9. Наибольшие потери воды $E_{и.у}$ 24,2–24,3 и 16,0–16,1 % были установлены на участках полива среднеструйными дождевальными аппаратами и серийными дефлекторными насадками, смонтированными на трубопроводе машины, при поливе дождевальными насадками, установленными на УПД, оказались в 1,6 раза меньше – 9,3–9,4 % (табл. 3, см. рисунок) [6].



Экспериментальные значения испарения и уноса ветром $E_{и.у}$ при поливе ДМ «Фрегат» среднеструйными дождевальными аппаратами, серийными дефлекторными насадками и устройствами приповерхностного дождевания с дождевальными насадками в зависимости от показателя напряженности метеорологических факторов Ф

Таблица 2

Карта расстановки дождевальных насадок на УПД и серийных дефлекторных насадок на трубопроводе 12-опорной ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-328-45 ($P_{вх}$ = 0,4 МПа, $m_с$ = 37,0 мм)

Тип дождевателя	Номер тележки	Диаметр сопла насадки D, мм	Расход воды на пролете $q_{пр}$, л/с	Фактическая норма полива $m_ф$, мм	Расчетная норма полива $m_р$, мм	Потери воды на испарение и унос ветром $E_{и.у}$, %
	4					
СДА		4,8–3,2	2,26	30,44	34,13	12,1
		4,8–3,2				
		4,8–3,2				
		4,8–3,2				
	5					
ДН		6	3,48	31,60	34,17	8,1
		6				
		6				
		6				
	6					
УПД-ДН		6	3,34	34,00	35,36	4,0
		6				
		6				
		6				
	7					
СДА		6,3–4,3	4,06	33,40	37,41	12,0
		6,3–4,3				
		6,3–4,3				
		6,3–4,3				
	8					
ДН		7,7	3,84	28,99	31,31	8,0
		7,7				
		7,7				
		7,7				
	9					
УПД-ДН		8	5,0	34,96	36,57	4,6
		8				
		8				
		8				
	10					

Таблица 3

Карта расстановки дождевальных насадок на УПД и серийных дефлекторных насадок на трубопроводе ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-328-45 (n = 2,6 ход/мин, $P_{вх}$ = 0,4 МПа; $m_с$ = 37,0 мм, $\upsilon_в$ = 3,7 м/с, Ф = 62,9)

Тип дождевателя	Номер тележки	Диаметр сопла насадки D, мм	Расход воды на пролете $q_{пр}$, л/с	Фактическая норма полива $m_ф$, мм	Расчетная норма полива $m_р$, мм	Потери воды на испарение и унос ветром $E_{и.у}$, %
	4					
СДА		4,8–3,2	2,26	27,45	34,13	24,3
		4,8–3,2				
		4,8–3,2				
		4,8–3,2				
	5					
ДН		6	3,48	31,60	34,17	16,1
		6				
		6				
		6				
	6					
УПД-ДН		6	3,34	32,32	35,36	9,4
		6				
		6				
		6				
	7					
СДА		6,3–4,3	4,06	30,12	37,41	24,2
		6,3–4,3				
		6,3–4,3				
		6,3–4,3				
	8					
ДН		7,7	3,84	28,99	31,31	16,0
		7,7				
		7,7				
		7,7				
	9					
УПД-ДН		8	5,0	33,45	36,57	9,3
		8				
		8				
		8				
	10					

Климатические условия при выполнении опыта 4 были наиболее суровые. Скорость ветра увеличилась до 6,5 м/с, температура воздуха составила 22 °С, относительная влажность воздуха – 40 %, коэффициент напряженности метеорологических факторов Ф = 99.

В зоне полива потери воды $E_{и.у}$ среднеструйными дождевальными аппаратами составили 30–31 %, серийными дефлекторными насадками, смонтированными на трубопроводе машины, – 20,5–21,1 %, дождевальными насадками, установленными на УПД, – 12,2–12,3 % (табл. 4, см. рисунок) [6].

Потери воды $E_{и.у}$ вдоль радиуса полива ДМ «Фрегат» с серийными дождевальными аппаратами и УПД с насадками при значении коэффициента напряженности метеорологических факторов Ф = 34,5 (средняя величина для Саратовской области) приведены в табл. 5.

Заключение. Проведенные исследования показали, что ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания и установленными насадками создают снижение высоты подъема дождевого облака, при этом потери воды $E_{и.у}$ в абсолютных значениях снижаются на 3,2–11,0 % (в среднем

Таблица 4

Карта расстановки дождевальных насадок на УПД и серийных дефлекторных насадок на трубопроводе ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б-328-45 (n = 2,6 ход/мин, $P_{вх}$ = 0,4 МПа, $m_с$ = 37,0 мм)

Тип дождевателя	Номер тележки	Диаметр сопла насадки D, мм	Расход воды на пролете $q_{пр}$, л/с	Фактическая норма полива $m_ф$, мм	Расчетная норма полива $m_р$, мм	Потери воды на испарение и унос ветром $E_{и.у}$, %
	4					
СДА		4,8–3,2	2,26	26,0	34,13	31,1
		4,8–3,2				
		4,8–3,2				
		4,8–3,2				
	5					
ДН		6	3,48	28,21	34,17	21,1
		6				
		6				
		6				
	6					
УПД-ДН		6	3,34	31,48	35,36	12,3
		6				
		6				
		6				
	7					
СДА		6,3–4,3	4,06	28,77	37,41	30,0
		6,3–4,3				
		6,3–4,3				
		6,3–4,3				
	8					
ДН		7,7	3,84	25,98	31,31	20,5
		7,7				
		7,7				
		7,7				
	9					
УПД-ДН		8	5,0	32,59	36,57	12,2
		8				
		8				
		8				
	10					

Таблица 5

Потери воды на испарение и унос ветром при поливе ДМ «Фрегат» с серийными дождевальными СДА аппаратами и УПД-ДН с дождевальными насадками

Расход воды дождевателем q, л/с	Диаметр основного и дополнительного сопла D, $D_д$, мм	Давление на выходе струи из сопла P, МПа	Угол наклона струи к горизонту θ, град	Средневзвешенная высота подъема струи $h_с$, м	Средний диаметр капель дождя $d_с$, мм	Средняя и мгновенная интенсивность дождя, мм/мин		Потери воды на испарение и унос ветром, %	
						$\rho_с$	$\rho_м$	$E_{и.у}$	$E^*_{и.у}$
0,192	3,2 СДА 4,0 УПД-ДН	0,307 0,157	27 20	4,1 1,1	0,86 1,25	0,091 0,072	1,545 1,893	37,2 21,4	21,4 14,3
0,415	3,6-2,4 СДА 6,0 УПД-ДН	0,432 0,144	27-27 20	5,6 1,2	0,70 0,675	0,112 0,216	1,525 0,240	35,7 23,6	21,4 14,1
0,480	4,3-2,4 СДА 6,0 УПД-ДН	0,344 0,193	27-27 20	5,5 1,2	0,92 1,02	0,117 0,114	1,618 1,897	29,5 23,3	17,7 12,0
0,825	5,1-3,2 СДА 8,0 УПД-ДН	0,455 0,181	27-27 20	6,4 1,3	0,85 1,05	0,166 0,191	1,948 1,811	29,8 23,2	17,8 10,9
0,883	5,6-3,2 СДА 8,0 УПД-ДН	0,392 0,207	27-27 20	6,2 1,3	0,98 1,22	0,171 0,204	2,091 2,072	26,5 19,9	15,9 9,0
1,016	4,3-5,6 СДА 10,0 УПД-ДН	0,360 0,112	27-27 20	6,2 1,3	1,07 1,08	0,202 0,202	1,808 1,809	24,6 22,8	14,7 8,5
1,790	5,6-7,1 СДА 12 УПД-ДН	0,483 0,168	27-27 20	7,4 1,4	1,0 0,864	0,276 0,565	1,921 0,378	25,3 17,1	15,1 8,2
2,42	5,6-9,5 СДА 14,0 УПД-ДН	0,448 0,166	27-27 20	7,7 1,5	1,24 1,05	0,311 0,311	2,050 1,570	21,8 22,0	13,1 7,7
2,650	9,6-5,6 СДА 14,0 УПД-ДН	0,437 0,200	27-27 20	7,7 1,5	1,25 1,1	0,344 0,344	2,175 1,60	21,1 22,0	12,6 7,5
3,780	11,9-5,6 СДА 16,0 УПД-ДН	0,420 0,237	27-27 20	8,0 1,6	1,57 0,866	0,433 0,874	2,60 0,429	17,3 15,6	10,4 6,3

Примечание. $E_{и.у}$, $E^*_{и.у}$ – потери воды на испарение и унос ветром при температуре воздуха 17,4 °С, относительной влажности воздуха 59 %, скорости ветра 3,7 м/с, угле между направлением ветра и трубопроводом машины соответственно 90 и 45 град.

на 7,1 %), или в относительных величинах в 1,5–2 раза. При поливной норме 400 м³/га в зоне полива дождевальными насадками, установленными на УПД, прибавка объема воды на почве может достигать 15...45 м³/га по сравнению с участками полива серийными дефлекторными насадками, установленными на трубопроводе машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаджиев Г.М.* Исследование и обоснование оптимальных параметров дождя «Фрегат» для орошения приоазисных песков : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1979. – 18 с.

2. *Дулов И.* Потери воды при дождевании // Мелиорация. – 1975. – № 8. – С. 16–18.

3. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1973. – 336 с.

4. *Рыжко Н Ф.* Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье. – Саратов: Саратовский источник, 2007. – 110 с.

5. *Кальянов Г.С.* О потерях оросительной воды при поливе дождеванием // Гидротехника и мелиорация. – 1954. – № 11. – С. 11–13.

6. *Карпова О.В.* Усовершенствованные устройства приповерхностного дождевания дождевальной машины «Фрегат»: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2017. – 197 с.

7. *Овчаров В.А.*, Шигаев В.И. Потери воды на испарение при дождевании широкозахватными машинами в Поволжье // Вопросы орошения в Поволжье: сб. науч. тр. / ВолжНИИГиМ. – М., 1980. – С. 88–92.

8. СТО АИСТ 11.1–2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 54 с.

9. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат»/ Д.А. Соловьев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 3. – С. 45-48.

10. *Федоренко И.Д.* Об испарении воды при дождевании и зависимость его от диаметра капель дождя // Труды ВНИИГиМ. – М., 1938. – Т. 22. – С. 68–78.

11. *Хабаров В.Е.* Исследования влияния метеорологических факторов на зону формирования искусственного дождя при орошении: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1982. – 20 с.

12. *Хабаров В.Е.* Потери воды на испарение и снос ветром при дождевании // Рациональное использование и охрана природных ресурсов: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1980. – С. 28–36.

Карпова Ольга Валериевна, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова.*

Ломакин Максим Александрович, *магистр кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова.*

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-35.

Ключевые слова: *потери воды; испарение и унос ветром; дождевальные насадки; устройства приповерхностного дождевания.*

LOSSES OF WATER ON EVAPORATION AND ABLATION BY WIND WHEN WATERING BY DEVICES OF NEAR-SURFACE OVERHEAD IRRIGATION UNITS

Karpova Olga Valerievna, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technosphere Safety and Transport and Technological Machines", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Lomakin Maxim Aleksandrovich, *Master Student of the chair "Technosphere Safety and Transport and Technological Machines", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Keywords: *water losses; evaporation and ablation by wind; irrigation nozzle; devices of near-surface overhead irrigation.*

Results of researches losses of water on evaporation and ablation by wind when watering by devices of near-surface overhead irrigation are given in the article.