

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН И УСТРОЙСТВ ДЛЯ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА



Москва
2023

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН И УСТРОЙСТВ
ДЛЯ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА**

Москва
2023

УДК 631.347
ББК 40.62
С 56

Авторы:

Н.Ф. Рыжко, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.,
С.Н. Рыжко, канд. техн. наук, мл. науч. сотр.,
Е.С. Смирнов, мл. науч. сотр., **Е.А. Шишенин**, мл. науч. сотр.,
Б.Н. Бельтиков, мл. науч. сотр. (ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»)

Рецензенты:

А.В. Кравчук, д-р техн. наук, проф.
(ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии им. Н.И. Вавилова»);
Л.А. Журавлева, д-р техн. наук, проф. (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»)
Ответственный за выпуск:
М.В. Боровой, директор Депелиорации (Минсельхоз России)

С 56 **Совершенствование дождевальных машин и устройств для мелноративного
комплекса:** науч.-практ. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 124 с.

ISBN 978-5-7367-1744-6

Представлены технические характеристики современных многоопорных дождевальных машин, применяемых в Российской Федерации, проведен анализ и определены основные направления их совершенствования. Обоснованы конструктивные параметры, приведены математические зависимости для расчёта основных агротехнических характеристик полива новых дефлекторных насадок из полимерного материала, модернизированных аппаратов «Фрегат» и устройств приповерхностного дождевания для повышения качества полива; результаты исследований и внедрения низконапорных ДМ; технические предложения для снижения потребления электроэнергии на насосных станциях; технические решения для снижения металлоёмкости и стоимости дождевальных машин с дополнительным полиэтиленовым трубопроводом, а также для очистки решет на водозаборах насосных станций от водорослей и мусора; машины ипподромного типа; устройства для механизации работ на системах капельного орошения.

Предназначено для инженерно-технических работников в области механизации сельскохозяйственного производства и орошаемого земледелия.

Рекомендовано к изданию Научно-техническим советом Минсельхоза России (протокол HTC № 6 от 29 марта 2023 г.)

Improvement of Sprinklers and Devices for Amelioration Complex: Scientific and Practical Publication – Moscow: Rosinformagrotech, 2023. – 124 p.

The technical characteristics of modern multi-support sprinklers used in the Russian Federation are presented, the analysis is carried out and the main directions for their improvement are determined. The design parameters are substantiated, mathematical dependencies are given for calculating the main agrotechnical characteristics of irrigation of new deflector nozzles made of polymeric material, modernized "Fregat" devices and near-surface sprinkler devices to improve irrigation quality. The results of research and implementation of low-pressure sprinklers, technical proposals for reducing electricity consumption at pumping stations, technical solutions to reduce the metal capacity and cost of sprinklers with additional polyethylene pipeline, as well as to clean sieves at the water intakes of pumping stations from algae and mud, hippodrome-type machines, devices for mechanization of work on drip irrigation systems are described.

It is intended for engineering and technical workers in the field of mechanization of agricultural production and irrigated agriculture.

Recommended for publication by the Scientific and Technical Council of the Ministry of Agriculture of Russia (STC Minutes № 6 dated March 29, 2023).

ISBN 978-5-7367-1744-6

УДК 631.347
ББК 40.62

© Минсельхоз России, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Орошение земель во всем мире является одним из основных приемов повышения урожайности сельскохозяйственных культур, стабилизации сельскохозяйственного производства и эффективности работы товаропроизводителей.

Согласно Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации на период 2022-2031 годы, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации № 731 от 14 мая 2021 г., планируется к концу 2031 г. вовлечь в оборот земли сельскохозяйственного назначения площадью не менее 13234,8 тыс. га, на 853, 5 тыс. га из которых будут проводится гидромелиоративные мероприятия.

В 1990 г. в России для полива дождеванием на площади 4,9 млн га использовалось 79,3 тыс. дождевальных машин (ДМ), в том числе 51,7 тыс. широкозахватных: «Фрегат» – 20,4 тыс., «Волжанка» – 25,6 тыс., «Днепр» – 3,1 тыс., «Кубань» – 2 тыс., ДДА-100МА и других – 14 тыс.

Однако после 1991 г. началось стремительное сокращение площадей орошаемых земель и количества поливной техники, техническое состояние оросительных систем значительно ухудшилось.

Структура парка оросительной техники в Российской Федерации на 2019 г.: наличие оросительной техники (всего) – 11826 ед., в том числе дождевальных машин – 8736, включая машины отечественного производства, – 5177 (59,2%), из них ДМ «Фрегат» – 2772 (31,6%) и импортного производства – 3459 (39,4%), в том числе многоопорные – 2285 (26,5%), а также системы капельного орошения – 3190 ед. (12,4%).

Структура дождевальных машин меняется в сторону увеличения числа электрифицированных, которые с учетом иностранных увеличились до 28,6%, а доля высоконапорных машин «Фрегат» снизилась до 32%. В последние годы производство дождевальных машин ферменной конструкции налажено на Казанском заводе – более 160 ДМ «Казанка» за последние три года, в ООО «БСГ» (г. Тольятти) – порядка 200 ДМ «Кубань-С», в ООО «Мелиомаш» (г. Саратов) – за последние пять лет 30 ДМ «Каскад». Выпущено небольшое

количество ДМ «Орсис», «Ахтуба», «Нева» и др. Доля российских многоопорных дождевальных машин ферменной конструкции пока небольшая – 5,6%, а всех многоопорных ДМ с учётом иностранных увеличилась до 48,5%, что позволяет поливать более 60% орошаемых земель. Для сравнения: в США на многоопорные машины приходится 65% всего парка дождевальных машин.

Сельское хозяйство и Саратовской области ведётся в сложных природно-климатических условиях. Наиболее характерная особенность климата в Заволжье – недостаточное и резко меняющееся в отдельные годы увлажнение в период вегетации сельскохозяйственных культур. Учитывая прогноз потепления климата и рост его засушливости, проблема повышения водообеспеченности земель в регионе очень актуальна.

В области большой клин орошаемых земель. После 1966 г. приняты кардинальные меры по мелиоративному строительству. Наибольшая интенсивность развития мелиорации отмечена с 1970 по 1975 гг., когда ежегодно в эксплуатацию вводилось в среднем 50 тыс. га. С 1970 по 1990 г. орошаемый клин увеличился с 58,0 до 481,4 тыс. га и орошаемые земли, занимающие 6-8% площади пашни, обеспечивали получение 22% валовой продукции растениеводства: до 45 – зеленых и сочных кормов, 100 – овощей, 45% картофеля. Один орошаемый гектар работал за 2,5-3,0 га богарных.

Начиная с 1991 г. в области наблюдается сокращение орошаемых площадей. В 1996 г. она составляла 257,3 тыс. га, т.е. на ее долю приходилось всего 4% общей площади пашни. Благодаря проведенной реконструкции в настоящее время эта цифра не изменилась.

Динамика изменения численности дождевальных и поливных машин за период с 1966 по 2016 г. приведена в табл. 1.

До 1970 г. (первый этап развития орошения) в области использовались дождевальные машины по поливу с большей интенсивностью и крупностью капель дождя – двухконсольный агрегат ДДА-100М и дальнеструйные машины типов ДДН-45, ДДН-70. В начале 1970-х годов начался второй этап развития орошения с применением многоопорных дождевальных машин типов «Фрегат», «Волжанка», «Днепр». С 1980 г. введены в эксплуатацию машины типа «Кубань». Начался третий этап развития орошения.

Таблица 1

**Динамика численного состава технических средств полива
в Саратовской области**

Показатели	1966 г.	1974 г.	1976 г.	1987 г.	1990 г.	1995 г.	2016 г.
Площадь орошаемых земель, га	32	151,9	309,0	481,4	453,5	363,7	257,3
Число дождевальных машин	385	2989	5421	79 07	6085	5316	1700
В том числе:							
«Фрегат»	-	72	1843	2714	2996	2927	1396
«Волжанка»	-	440	2710	3893	2445	1775	1
«Днепр»	-	-	215	309	456	338	17
«Кубань»	-	-	-	-	3	33	6
ДДА-100М	124	832	542	835	-	-	17
ДДН-45, ДДН-70	248	581	-	-	-	-	-
Прочие	13	253	111	156	185	243	-
Число насосных станций	3		173	365	384	391	
Иностранная техника							200

В 1987 г. площадь орошаемых земель составила 481,4 тыс. га, для полива использовалось 7,9 тыс. дождевальных машин, причем суммарная доля многоопорных достигла 87,4%, в том числе «Фрегат» – 34,3, «Волжанка» – 49,2, «Днепр» – 3,9%.

С началом перестройки объем ввода орошаемых земель и поставки новых отечественных дождевальных машин сократились, а затем прекратились. Наступил период постепенного сокращения количества дождевальных машин. За последние годы значительно уменьшилось число машин типов «Волжанка», «Днепр», что связано с хищением водопроводящего трубопровода и гидрантов, изготовленных из цветного металла – алюминиевого сплава.

К 2007 г. число дождевальных машин «Фрегат» сократилось с 2996 до 2162, однако их доля в парке техники полива области постепенно увеличивалась до 78%. Вызвано это рядом причин, в том числе и высокой надежностью работы стальных деталей с цинковым покрытием, не подверженных хищению. Вместо деталей из цветного металла на машине «Фрегат» в последние годы используются детали из черных металлов и пластмасс.

По данным министерства сельского хозяйства Саратовской области, к началу 2022 г. число дождевальных машин уменьшилось до 918 ед., в том числе ДМ «Фрегат» – до 203 (22%). Дефицит дождевальной техники достиг предельных значений, и сельхозтоваропроизводители компенсировали его приобретением дождевальных машин импортного производства: «Zimmatic», «Valley», «Bauer», «T-L», «Western» и др. (табл. 2).

Таблица 2

**Состояние парка дождевальных машин Саратовской области
по состоянию на начало 2022 г.**

Дождевальная машина	Число	Площадь орошения, га
Отечественного производства:		
«Фрегат»	203	13 419
«Днепр»	17	1 250
«Волжанка»	1	65
«ДДА-100»	17	950
ДМ «Кубань»	6	475
ДМ «Орсис»	1	75
ДМ «Иртек»	21	1 396,30
ДМ «Левада»	2	142
Импортного производства:		
ДМ «Zimmatic»	350	29 346,22
ДМ «T-L»	57	4 808
ДМ «Valley»	194	14 747,48
ДМ «Reinke»	7	674,7
ДМ «Bauer»	8	360
ДМ «Irrigreat»	3	187
ДМ «Rainstar»	20	751,1
ДМ «Genterliner»	2	100
ДМ «Osmic»	9	255
Итого	918	69 001,8

Таким образом, в России, в том числе и Саратовской области, многоопорные дождевальные машины являются основными в мелиоративном комплексе и повышение эффективности их использования является важной задачей.

Проблема реконструкции оросительных систем и совершенствования технических средств и технологий орошения для Российской Федерации и Саратовской области является актуальной.

1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СОВРЕМЕННОЙ МНОГООПОРНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Дождевальная машина «Фрегат» предназначена для полива всех сельскохозяйственных культур. Представляет собой движущийся по кругу трубопровод, установленный на А-образных колесных опорах-тележках. На трубопроводе монтируются 38-50 средне-струйных дождевальных аппаратов, а на консоли трубопровода – концевой дальнеструйный аппарат секторного действия с радиусом полива 25-30 м. В зависимости от природно-климатических и хозяйственных зон выпускают несколько модификаций таких машин. Площадь полива за смену – 4,5-5,0 га.

Дождевальные машины «Фрегат», созданные в начале 1970-х годов, не удовлетворяют современным требованиям сельскохозяйственного производства, так как отличаются высокой энергоемкостью полива, интенсивностью и крупностью капель дождя. Их технические характеристики приведены в табл. 3. Давление на входе машины в зависимости от модификации должно быть в пределах 0,47-0,70 МПа, а на выходе насосной станции, как правило, составляет 0,9-1,2 МПа. Такой режим определяет достаточно высокие значения удельной энергоемкости подачи воды (0,35-0,60 кВт·ч/м³) и экстремальные условия работы насосно-силового оборудования и элементов закрытой оросительной сети под воздействием гидравлических ударов, возникающих при включении – отключении дождевальных машин, что характеризуется значительным (в 2-2,5 раза) повышением рабочего давления.

Исследованиями установлено, что при поливах в условиях интенсивного ветрового режима (для Саратовского Заволжья скорость ветра равна 4-7 м/с) коэффициент эффективного полива снижается до 0,53-0,45. Связано это с тем, что режим работы серийных аппаратов не оптимальный. В результате подъема дождевого облака до 5-7 м от поверхности почвы наблюдаются значительные потери воды на испарение и снос ветром (в среднем 10-15%), которые в дневные часы могут достигать 20-30% и более.

Таблица 3

**Технические характеристики основных модификаций
дождевальных машин «Фрегат» марок ДМУ-А, ДМУ-Б, ДМ**

Модификация машины	Число тележек	Длина маши- ны, м	Расход воды, л/с / требуе- мое давление, МПа	Площадь полива, га	Минималь- ная поливная норма, м ³ / га / минимальное время оборо- та, ч	Масса маши- ны, т
ДМУ-А199-28	7	199,0	28 / 0,47	15,8	137 / 21,4	6,5
ДМУ-А229-32	8	228,7	32 / 0,48	20,2	142 / 24,9	7,4
ДМУ-А253-38	9	253,4	38 / 0,50	24,4	156 / 27,8	8,2
ДМУ-А283-45	10	283,0	45 / 0,51	29,8	170 / 31,3	9,2
ДМУ-А308-55	11	307,8	55 / 0,54	34,8	195 / 34,2	10,0
ДМУ-А337-65	12	337,4	65 / 0,59	41,3	213 / 37,6	10,9
ДМУ-А362-50	13	362,2	50 / 0,54	47,1	155 / 40,5	11,7
ДМУ-А392-50	14	391,8	50, / 0,55	54,6	145 / 44,0	12,6
ДМУ-А417-55	15	416,5	55 / 0,57	61,2	152 / 46,9	13,4
ДМУ-Б379-75	13	379,2	75 / 0,57	51,3	222 / 42,3	12,2
ДМУ-Б409-80	14	408,8	80 / 0,58	59,1	223 / 45,7	13,2
ДМУ-Б434-90	15	433,6	90 / 0,62	66,1	238 / 48,7	14,0
ДМУ-Б463-90	16	463,2	90 / 0,63	74,9	225 / 52,2	15,0
ДМ-454-100	16	453,5	100 / 0,7	72,0	240 / 51,0	15,0
ДМ-424-90	15	423,9	90 / 0,63	64,0	240 / 47,5	14,1
ДМ-394-80	14	394,3	80 / 0,58	55,0	230 / 44,0	13,2
ДМ-365-68	13	364,7	68 / 0,53	48,0	210 / 40,5	12,3
ДМ-335-58	12	335,1	58 / 0,50	40,5	190 / 37,0	11,4

В конце трубопровода ДМ «Фрегат» аппараты формируют дождь ливневого характера, средняя интенсивность которого достигает 0,6-0,8 мм/мин, средняя действительная интенсивность – 2,6-3,0 мм/мин, а крупность капель в конце струи – 2,5-3,5 мм. Такой дождь оказывает значительное энергетическое воздействие на почву, разрушая и уплотняя ее верхний слой. Норма полива до стока в конце ДМ «Фрегат» при поливе тяжелосуглинистых и глинистых почв (наиболее часто встречаются в Саратовской области) составляет всего 230-280 м³/га, что не

обеспечивает достаточную глубину промачивания. К концу поливного сезона величина стока достигает 20-30%. На склоновых участках наблюдаются эрозионные процессы.

Латунные дождевальные аппараты подвержены хищению, имеют значительную стоимость и должны заменяться аппаратами и дефлекторными насадками, изготовленными из полимерного материала.

При работе машины кругового действия угловые участки поля не поливаются. Коэффициент земельного использования (КЗИ) площади поля 12-16-опорных машин «Фрегат» составляет 0,81-0,83, а с учетом примыкающих площадей в реальных условиях эксплуатации КЗИ снижается до 0,5-0,7.

Недополив площади вызывает следующие нежелательные последствия:

- ▶ снижение урожая сельскохозяйственных культур и неодновременность их созревания, что затрудняет уборку;
- ▶ исключение из оросительного фонда значительных площадей ирригационно-освоенных земель.

Разработка технических решений, повышающих площадь полива и коэффициент земельного использования дождевальной машины «Фрегат», – актуальная задача.

Дождевальный колесный трубопровод ДКШ-64 «Волжанка» состоит из двух водопроводящих трубопроводов – крыльев, монтируемых из отдельных звеньев труб. На каждом крыле жестко закреплены металлические колеса. В центре каждого крыла имеются приводные тележки с двигателем внутреннего сгорания, вращение от которого передается на ходовые колеса тележек, которые перемещают машину с позиции на позицию. На каждом крыле установлены среднеструйные дождевальные аппараты ДКШ с расходом воды 1 л/с. К гидрантам оросительной сети крылья машины подключают с помощью гибких шлангов. Технические характеристики данной машины приведены в табл. 4.

Работает позиционно, площадь орошения на каждой позиции при работе двух крыльев – 1,46 га.

Недостатки машины: подвержена хищению, так как многие узлы и детали изготовлены из цветного металла; трудоемкие затраты на выравнивание её трубопровода.

Таблица 4

**Технические характеристики
дождевальных машин кругового и фронтального действия**

Наименование машины	Число тележек	Длина машины, м	Расход воды, л/с / требуемое давление, МПа	Площадь полива, га	Минимальная поливная норма, м ³ /га / минимальное время оборота, ч	Масса машины, т
«Кубань-ЛК1»	4-10	До 473,2	6-90 / 0,15-0,35	73,3*	170 / 26*	23,0*
«Фрегат»	7-16	199-463	28-90/0,47-0,65	74,9*	225/52*	6,5-16
«Кубань-С»	1-20	До 850	До 200/ 0,15-0,5	73,3*	170 / 26*	
«Каскад»	1-8	До 496	До 64/0,2-0,43	4,5-105	100/17,5*	16,1
«Волжанка»	1	400,0	64 / 0,40	60,0	300/116	5,4
«Днепр»	17	450,0	120 / 0,45	100,0	200/80,4	13,3

*Для базовой модификации машины.

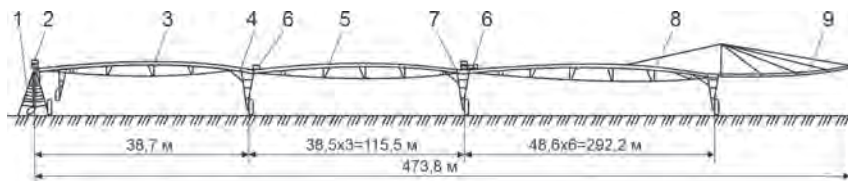
Дождевальная машина среднеструйная многоопорная ДФ-120 «Днепр» фронтального действия, предназначена для полива зерновых, овощных, технических и ягодных культур, многолетних трав, лугов, пастбищ (см. табл. 4).

Состоит из водопроводящего трубопровода, установленного на опорных тележках. В местах расположения тележек находятся фермы-открылки, на концах которых размещены дождевальные аппараты «Роса-3». Работает позиционно, площадь орошения с одной позиции – 2,4 га. Один человек обслуживает две машины.

Достоинства машины «Днепр» – высокий КЗИ = 0,96, снижение в 1,5 раза напора на гидранте по сравнению с ДМ «Фрегат», простота переоборудования из рабочего положения в транспортное.

Дождевальная машина «Кубань-ЛК1» представляет собой водопроводящий трубопровод, движущийся по кругу, состоящий из пролетов ферменной конструкции, шарнирно соединенных между

собой и опирающихся на десять тележек на пневмошинах (рис. 1). В начале и концевой части снабжен среднеструйными дождевальными аппаратами, в средней – короткоструйными секторными насадками. Шарнирно соединен с неподвижной опорой.



*Рис. 1. Машина дождевальная электрифицированная круговая
«Кубань-ЛК»:*

1 – неподвижная опора; 2 – установка системы управления электроприводом машины; 3 – головная ферма; 4, 7 – опорные тележки; 5 – ферма; 6 – муфта; 8 – предконсольная ферма; 9 – консоль

Машина снабжена системой управления электропривода. Электропитание осуществляется от внешнего источника через силовой щит. Оборудована аварийными защитами, предотвращающими появление недопустимых значений электрических и механических параметров.

Близкие по конструкции ферменные машины «Кубань-С» выпускает ООО «БСГ» (г. Тольятти).

Дождевальная машина «Каскад» (ООО «Мелиомаш», г. Саратов) предназначена для полива дождеванием всех сельскохозяйственных культур, включая и высокостебельные, на полях с уклоном местности не более 11-15%. Орошает круговые участки площадью 4,5-105,5 га.

Состоит из неподвижной опоры, от одной до восьми последовательно соединенных секций с длиной пролета 59,5 или 65,25 м, представляющих собой шпренгельную ферму с трубопроводом, размещенную на самоходных тележках. На последней тележке дополнительно монтируется консольный трубопровод длиной до 31 м с дальнеструйным аппаратом на конце, радиус полива которого составляет 27 м.

Для машин последней серии «Каскад» 60Т/65Т разработан сверхдлинный пролет – 65,25 м, не имеющий аналогов в России, применение которого позволяет увеличивать длину машины, снижать энергозатраты, уменьшать площадь отчуждения земель под колею. Ширина захвата сверхдлинного пролета, оборудованного консолью, составляет 96 м. Машина, состоящая из семи таких пролетов, способна орошать участок Ø 500 м. Применение двух типоразмеров пролетов позволяет легко подбирать длину машины под размеры участка.

Секции машины соединены между собой посредством шарниров карданного типа, на которых размещены элементы автоматизированной системы управления. Герметичность соседних трубопроводов обеспечивает муфта из армированной резины. В качестве водоподающего трубопровода использована труба Ø 159х3 мм с максимальным расходом воды 64 л/с при рабочем давлении 0,2-0,43 МПа.

Несущим элементом фермы, работающим на растяжение, является изготовленный в виде круглого прутка Ø 20 мм шпренгель из легированной стали, благодаря чему он выдерживает значительные нагрузки (максимальное усилие на разрыв 12500 кгс) Одноточечная схема крепления раскосов и шпренгелей одним болтовым соединением обеспечивает простоту конструкции фермы. При этом надежность ферм и самоходных тележек достигается благодаря использованию высокопрочных болтовых соединений.

2. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛИВА

Дождевальные машины являются конечным звеном в работе оросительных систем, от использования которых зависит эффективная работа всей оросительной системы и отдельных сельскохозяйственных производителей.

Как показал отечественный и зарубежный опыт создания и модернизации дождевальных машин, основными тенденциями и стратегическими задачами являются (рис. 2):

- повышение уровня механизации и автоматизации технологий процесса полива;

- ▶ снижение материалоемкости и энергоемкости;
- ▶ сохранение земельных, водных и трудовых ресурсов;
- ▶ обеспечение экологически безопасного орошения и жизнеобеспечения человека.



Рис. 2. Основные направления совершенствования дождевательных машин кругового действия и технологии полива

Степень совершенствования дождевальной техники и технологии полива не могут рассматриваться отдельно: дождевальная техника является частью (подсистемой) оросительной системы, а технология полива рассматривается как комплексная индустриальная технология орошаемого земледелия с рациональным природопользованием массива и региона.

Проблема создания новой дождевальной техники должна соответствовать генеральной цели – рациональному природопользованию и сельскохозяйственному производству для жизнедеятельности человека и решать следующие основные задачи:

- ▶ экологическая безопасность с воспроизводством плодородия почв и сохранением природного ландшафта;
- ▶ повышение продуктивности орошаемых земель и урожайности сельскохозяйственных культур;
- ▶ рациональное использование природных, материальных и энергетических ресурсов;
- ▶ повышение производительности и прогрессивное изменение характера труда (автоматизация и механизация производства);
- ▶ экономическая эффективность и конкурентоспособность.

Основными задачами совершенствования многоопорных дождевальных машин с учетом их особенностей являются:

- ▶ обеспечение высокой равномерности и экологически безопасного полива при сохранении водных и земельных ресурсов;
- ▶ повышение продуктивности сельскохозяйственных культур;
- ▶ рациональное использование материальных и трудовых ресурсов.

Экологически безопасный полив возможен за счет снижения или оптимизации параметров средней и действительной интенсивности дождя, крупности капель и скорости их падения, что позволит уменьшить энергетическое воздействие дождя на почву и сельскохозяйственные растения, уплотнение и разрушение верхнего слоя почвы, ее кальмацию, вымывание и оголение корневой системы рассады и улучшить ее приживаемость, а также снизить вероятность покрытия листьев растений мелкоземом.

Уменьшение энергетического воздействия дождя способствует увеличению нормы полива до стока и глубины промачивания по-

чвы, а также величины стока и перераспределения воды по полю, сокращению эрозионных процессов. Один из важнейших показателей данного направления – повышение равномерности полива при ветре.

Решение вышеперечисленных задач зависит от совершенствования дождевальных аппаратов и других дождеобразующих устройств, модернизации технологического процесса полива благодаря применению устройств приповерхностного дождевания, увеличению цикличности и кратности поливов при уменьшении разового слоя дождя за один цикл.

Повышение продуктивности сельскохозяйственного производства во многом определяется своевременностью проведения поливов, поддержанием влажности почвы в оптимальном диапазоне, исключением больших периодов снижения влажности почвы во время вегетации растений, что зависит от надежности работы дождевальных машин, закрытой оросительной системы и насосной станции. Важным в этом направлении являются повышение мобильности дождевальных машин, возможность регулирования нормы полива в широком диапазоне, в том числе освежающих поливов и передвижения по полю без полива. Обязательное условие всех дождевальных машин – возможность реверсивного передвижения.

Продуктивность сельскохозяйственных культур можно повысить за счет многофункционального использования дождевальных машин путем внесения удобрений и других химических элементов с поливной водой. Это позволяет снизить материальные и трудовые затраты и обеспечить эффективность использования удобрений.

Рациональное использование материальных (водные, земельные, трудовые) и энергетических ресурсов возможно благодаря снижению напора на входе дождевальной машины и на насосной станции за счет уменьшения потребления мощности двигателей на подачу 1000 м³ воды и связанным с ней потреблением электроэнергии и ГСМ, а водных ресурсов при поливе дождевальными машинами – при снижении потерь воды на испарение и снос ветром в результате использования машин с устройствами приповерхностного дождевания, проведении ночных и освежающих поливов, снижающих метеорологическую напряженность погоды.

Экономии водных и земельных ресурсов можно достичь при внедрении экологически безопасных дождевателей и технологии полива, снижении интенсивности и мощности дождя. При этом должны быть исключены сток воды и вынос почвы с орошаемого участка и эрозионные процессы.

Вопросы рационального использования дождевальных машин должны решаться при максимальном повышении коэффициента земельного использования (КЗИ), что достигается применением комплекса дополнительных средств, обеспечивающих полив углов при работе дождевальных машин кругового действия, а также широким использованием на поливе машин, обеспечивающих фронтальное передвижение с высоким КЗИ (0,96-0,98). Необходима разработка дождевальных машин, поливающих не только традиционные участки (прямоугольник, квадрат, круг), но и участки поля неправильной конфигурации, чтобы максимально поливать примыкающие к орошаемым участкам неорошаемые площади.

Рациональное использование земельных ресурсов при поливе дождевальными машинами должно подразумевать правильное природопользование с целью исключения разрушения почвы (уплотнение, разрушение структуры, кальмация, подъем уровня грунтовых вод и др.). Эта проблема решается совершенствованием дождеобразующих устройств и технологии полива.

Рациональное использование трудовых ресурсов и повышение производительности труда достигаются путем автоматизации и механизации процесса полива. При этом важная роль отводится обеспечению надежности работы дождевальных машин, закрытых оросительных сетей и насосных станций. Решение проблемы возможно путем улучшения мобильности дождевальных машин, обеспечивающих реверсивное передвижение, что особенно важно при выращивании на одной позиции (площадь обслуживания) дождевальной машины нескольких сельскохозяйственных культур, имеющих разные сроки полива, продолжительность вегетационных периодов, технологические особенности при выращивании одной сельскохозяйственной культуры на различные цели (зеленый корм, сено, силос) и др. Многофункциональность дождевальных машин, расширение диапазона регулировки скорости движения и нормы полива

также способствуют повышению их производительности. Производительность труда зависит также от увеличения и оптимизации расхода воды на неполнокомплектных дождевальных машинах. Важное значение при этом имеют проходимость и колееобразование. Исключение колееобразования и повышение проходимости способствуют повышению производительности машинно-тракторных агрегатов и уборочной техники. При этом уменьшаются динамические нагрузки на агрегаты, обеспечивается надежность их работы, снижается утомляемость механизаторов.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно констатировать, что развитие дождевальной техники и, в частности, многоопорных дождевальных машин «Фрегат» должно быть направлено:

- ▶ на совершенствование дождевальных насадок и аппаратов, устройств приповерхностного дождевания с целью обеспечения экологически безопасного водосберегающего, почвощадящего, высоко-равномерного, малоэнергоемкого дождевания;

- ▶ снижение энергоемкости полива (низконапорные машины), обеспечение кругового реверсивного передвижения и фронтального, повышение multifunctionality и мобильности при внесении удобрений и других химических веществ;

- ▶ расширение диапазона норм полива и скорости передвижения, повышение коэффициента земельного использования, расхода воды неполнокомплектными машинами;

- ▶ улучшение проходимости и снижение колееобразования.

Современные проблемы заключаются в создании новых дождевальных машин и совершенствовании технологии полива, удовлетворяющих условиям рационального природопользования и сельскохозяйственного производства.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ДОЖДЕОБРАЗУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Анализ литературных и патентных источников показывает, что на широкозахватных дождевальными машинах кругового действия типа «Фрегат» и других многоопорных применяются дождеватели различных типов:

- ▶ среднеструйные дождевальные аппараты «Фрегат» № 1, 2, 3, 4, 5 и фирмы «Rein Bird»;
- ▶ насадки:
 - секторного полива (разработки СибНИИГиМ, ВолжНИИГиМ, ЮжНИИГиМ и ВНИИ «Радуга»), фирмы «Zimmatic» и грибкового типа (разработка «СтавНИИГиМ»);
 - центробежная (разработка ВНИИ «Прогресс»);
 - щелевого типа (разработка ВИСХОМ);
 - дефлекторные (разработки ВНИИГиМ и ВолжНИИГиМ);
- ▶ дождеватель типа «сегнерово колесо» (разработка ВНИИ «Радуга»);
- ▶ импортные дождеватели с вращающимся или неподвижным дефлектором фирм «Nelson», «Senninger», «Komet» и др. (рис. 3).

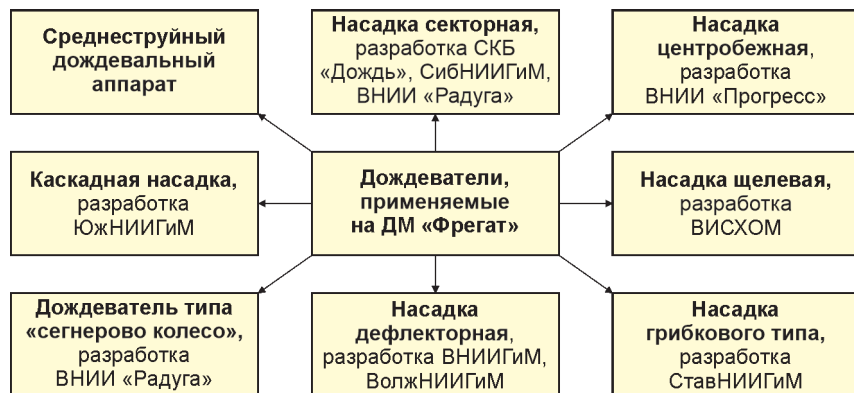


Рис. 3. Дождеватели, применяемые на дождевальных машинах «Фрегат»

Преимущества и недостатки применяемых типов дождевателей представлены далее. Серийные дождевальные машины «Фрегат» из-

начально комплектовались среднеструйными дождевальными аппаратами (СДА) «Фрегат» № 1, 2, 3, 4, 5, на которых установлен коромысловый привод горизонтального колебания.

Достоинства среднеструйных дождевальных аппаратов машины «Фрегат»: большой радиус полива, который изменяется вдоль трубопровода (от 10 до 25 м), низкая средняя интенсивность дождя при штиле (от 0,05 до 0,40 мм/мин), высокая равномерность полива, даже если штуцеры расположены на расстоянии 10 м друг от друга. Коэффициент эффективного полива машин при штилевой погоде и хорошей регулировке на расход воды составляет 0,75-0,87. Дождевальные аппараты обычно имеют гидравлически правильную форму, значение коэффициента расхода μ составляет 0,87-0,97, что выше, чем у дождевателей других типов.

Основной недостаток серийных дождевальных аппаратов – формирование дождя большой крупности капель. Средний диаметр капли вдоль машины «Фрегат» изменяется от 0,8 до 1,7 мм, а в конце струи достигает 2,0-3,5 мм. Большое значение имеет и мгновенная интенсивность дождя, которая изменяется вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» от 1,2 до 2,6 мм/мин. Дождь, создаваемый среднеструйными аппаратами, оказывает большое энергетическое воздействие на сельскохозяйственные растения и почву, разрушая и уплотняя ее, не позволяет поливать оптимальными поливными нормами без стока. Норма полива до стока ДМ «Фрегат» для тяжелосуглинистых и глинистых почв Саратовского Заволжья составляет 240-270 м³/га.

Среднеструйные дождевальные аппараты (СДА) формируют дождь с высотой подъема дождевого облака 5-8 м, который при ветре подвержен сносу. Равномерность полива ДМ «Фрегат» при ветре 3,8 м/с снижается до 0,35-0,55. Потери воды на испарение и снос ветром в среднем составляют 10-15%, а в жаркие и ветреные дневные часы возрастают до 30% и более.

Для интенсификации распыления струй известны устройства постоянного действия (насадки специальных форм или имеющие боковую прорезь, дефлекторные лопатки или отражатели, переходники с дополнительными стволами для создания многоструйного аппарата), периодического (прерыватели кругового (турбинки) и гребенча-

того типов). На среднеструйных аппаратах коромыслового привода наиболее простым является применение прерывателя гребенчатого типа, но для оценки его эффективности необходимы исследования.

Повышения устойчивости струй к ветру можно добиться путем конструктивных изменений аппаратов: снижения угла вылета струи, степени распыления и частоты ее вращения.

Недостатки СДА: сложность изготовления и высокая стоимость. В настоящее время их выпуск практически прекращен, а имеющиеся в хозяйствах изготовленные из латуни аппараты предельно изношены и подвержены хищению.

Всё вышеперечисленное привело к тому, что с середины 1990-х годов численность дождевальных машин «Фрегат», на которых применяются среднеструйные дождевальные аппараты, постепенно снизилась, и в настоящее время в Саратовской области осталось порядка нескольких десятков таких машин, которые применяются в основном на участках с уклонами и почвами тяжелого механического состава. Поэтому совершенствование среднеструйных аппаратов и разработка новых из полимерного материала на данном этапе являются актуальной задачей.

Применяемые на дождевальных машинах «Фрегат» **насадки секторного полива** разработаны и изготавливаются в «СибНИИГиМ», «ЮжНИИГиМ», «ВолжНИИГиМ», ВНИИ «Радуга», ООО «Агро-ТехСервис» (г. Маркс). Первоначально они изготавливались из латуни и использовались на низконапорных дождевальных машинах «Кубань». В настоящее время изготавливаются из полиэтиленового материала.

Насадки рекомендуется устанавливать по длине водопроводящего трубопровода машины на расстоянии 2,5 и 3,75 м, так как ширина захвата их дождем небольшая. В результате количество насадок на машине увеличивается в 3-4 раза. Например, на дождевальной машине «Фрегат» конструкции «СибНИИГиМ» – 159 насадок вместо 49 среднеструйных дождевальных аппаратов. Это требует некоторых затрат из-за необходимости вваривать дополнительные муфты в водопроводящий трубопровод машины. Секторные насадки работают на машине «Фрегат» при высоком напоре 0,6-0,7 МПа, чтобы обеспечить необходимый расход воды. Диаметр сопла в начале машины

составляет всего 1,5-2,0 мм и при поливе насадки часто засоряются. Насадки, поливая при высоком напоре, формируют мелкокапельный дождь с большими потерями на испарение и снос ветром.

Изготовление секторных дождевальных насадок из полимерных материалов значительно снизило их стоимость по сравнению с насадками из металла. Кроме того, они не подвержены коррозии и хищению.

Вышеперечисленные преимущества секторных насадок позволяют сделать вывод о перспективности их применении на ДМ как и среднеструйных аппаратов, формирующих мелкокапельный, ветроустойчивый и эрозионно безопасный дождь.

Иностранные дождевальные машины комплектуются дождевальными насадками типов «Senninger», «Nelson», «Komet» и др. Зарубежная широкозахватная многоопорная дождевальная техника имеет большой диапазон модификаций с учётом конкретных условий эксплуатации, поэтому производят оборудование дождевальных машин с различными разбрызгивающими устройствами, которые устанавливаются на поливных трубопроводах. Дождеобразующие аппараты и насадки выпускаются различных типов и применяются с учётом конкретных почвенно-климатических, территориальных и вегетативных условий техники полива (табл. 5).

Таблица 5

Агротехнические характеристики дождевателей различных типов

Название	Давление, атм	Высота установки, м	Радиус действия, м
L-Wob	0,69-1,38	0,92-2,75	2,0-8,5
LDN	0,42-1,38	0,46-4,27	2,0-8,5
Superspray	0,42-1,72	0,46-4,27	2,0-8,5
Quad- spray	0,42-6,90	0,20-4,60	2,0-8,5
6IMPACT	1,72-4,83	3,05-4,27	12,5-17,0
8025 HD	2,42-5,18	3,05-4,27	12,5-17,0

Так, ДМ «Reinke» могут оснащаться различными дождеобразующими устройствами в зависимости от их расположения на машине,

поливаемой культуры, фазы её развития, почвенно-климатических условий и др.

Далее представлены дождеобразующие устройства (форсунки) зарубежного производства.

Разбрызгивающее устройство **R 3000 Rotator** работает при давлении 1,0-3,4 атм. Радиус разбрызгивания – 7,6-11,3 м. Форсунка отличается малой интенсивностью дождя, поэтому идеально подходит для систем приземного (приповерхностного) дождевания (рис. 4а).

Разбрызгивающее устройство **A 3000 Accelerator** работает при давлении 0,4-1,0 атм. Радиус разбрызгивания – 4,5-8,5 м. Работая при низком давлении (0,7 атм), обеспечивает самый низкий угол распыла (струя располагается практически горизонтально), радиус (площадь) полива при этом не уменьшается. Спроектировано для дождевания изнутри стеблей растений (рис. 4б).

Разбрызгивающее устройство **S 3000 Spinner** поливает при давлении 0,7-1,4 атм. Радиус разбрызгивания – 6,5-8,2 м. Свободно вращающийся S 3000 обеспечивает мягкий дождь для чувствительных культур и почв, высокую равномерность полива. Модифицировано для приземного дождевания (рис. 4в).



Рис. 4. Разбрызгивающие устройства:

а – R 3000 Rotator; б – A 3000 Accelerator; в – S 3000 Spinner

D 3000 Sprayhead работает при давлении 0,4-2,8 атм. Радиус разбрызгивания – 2,5-6,1 м. Предназначено для проращивания семян, орошения и внесения химикатов.

Т 3000 Trashbuster, Т 3000 FC используются без регуляторов давления, легко пропускают мусор, изготавливаются для приземного дождения сточными водами.

Распылители i-Wob имеют вращающуюся дефлекторную пластину, что обеспечивает большой радиус полива, хорошее распределение воды и низкую интенсивность дождя (табл. 6, рис. 5). Благодаря рассекателю и системе привода разбрызгивателя струя воды распадается на средние капли.

Таблица 6

Параметры конструкции системы i-Wob

Параметры конструкции системы i-Wob	Модель			
	SA6G	SA9G	LA9G	LA6G
<i>Размер носика, мм</i>				
Минимум	№ 10 – 3,57	№ 6 – 2,38	№ 6 – 2,38	№ 12 – 4,76
Максимум	№ 26 – 10,32	№ 26 – 10,32	№ 26 – 10,32	№ 26 – 10,32
<i>Расход, л/ч</i>				
Минимум	509	182	182	736
Максимум	4811	4811	4811	4811
<i>Расстояние между шлангами, м</i>				
Подвески при расстоянии от земли 1,8 м	5,5	6,1	5,5	4,6
<i>Рабочее давление носика, атм</i>				
Минимум	0,69	0,69	0,69	0,69
Максимум	1,36	1,38	1,38	1,38

Радиус действия вращающихся разбрызгивателей 3,7-7,62 м при давлении 0,07-0,35 МПа (в зависимости от высоты установки и давления разбрызгивателя). Оборудованы сменными дефлекторами и рекомендованы для орошения больших площадей.



*Рис. 5. Дождевальная насадка
«Senninger i-wob»*

Анализ технических характеристик зарубежных дождевателей позволяет сделать вывод, что работают они при невысоком давлении – 0,1-0,14 МПа, при котором формируется дождь с большим средним диаметром капель – 1,2-1,8 мм, что способствует большому энергетическому его воздействию на почву, вызывающему сток и эрозию почвы. Стоимость дождевателей высокая.

4. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕФЛЕКТОРНЫХ НАСАДОК КРУГОВОГО И СЕКТОРНОГО ПОЛИВА ДЛЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

При обосновании конструкции дефлекторной насадки для ДМ учитывались следующие требования: обеспечение качественного распыла дождя в большом диапазоне расхода воды (0,1-3,8 л/с), возможность регулировки насадки на требуемый расход воды на стадии изготовления, простота конструкции, изготовления и невысокая стоимость из-за отсутствия цветных материалов.

С учетом вышеизложенного в «ВолжНИИГиМ» были разработаны дефлекторные насадки кругового и секторного полива (патенты

№ 2087096, 74033). Дефлекторная насадка (рис. 6) состоит из корпуса 1 с коническим дефлектором 2, установленным на двух ножках.

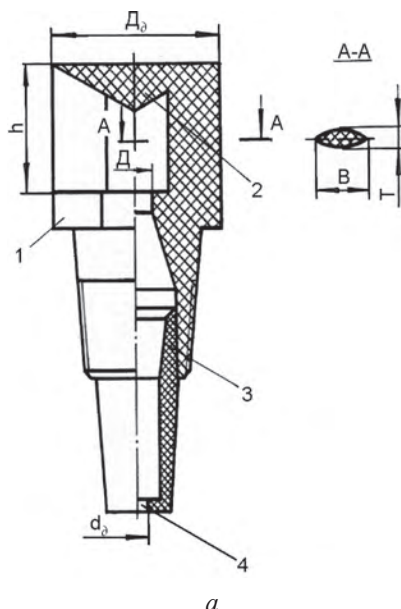
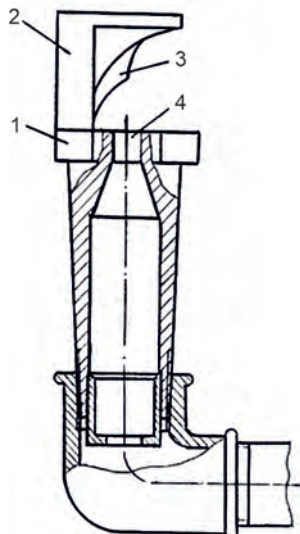


Рис. 6. Дождевальная насадка кругового полива:
а – схема; б – внешний вид

Для настройки дефлекторной насадки на требуемый расход воды и качественный распыл в корпус 1 под натягом устанавливается дюза 3 с калиброванным отверстием 4.

Диаметр сопла изменяется в широких пределах – от 4 до 16 мм, а калиброванного отверстия дюзы – от 3 до 16 мм. В нижней части корпуса насадки выполнена коническая резьба (1"), позволяющая монтировать насадку в трубопровод дождевальной машины без дополнительной арматуры.

Чтобы уменьшить количество оросительной воды, попадающей в зону перемещения колес тележек, разработана секторная дефлекторная насадка, состоящая из корпуса 1, дефлектора 2 с клином рассекателем 3. Причем, окончание клина рассекателя совпадает с осью сопла 4 (рис. 7).



а



б

Рис. 7. Насадка секторного полива: а – схема; б – внешний вид

Результаты исследований дефлекторных насадок

Согласно исследованиям, при увеличении диаметра сопла с 4 до 16 мм и напора – с 10 до 30 м вод. ст. расход воды дефлекторной насадки повышается с 0,1 до 4,1 л/с и соответствует расходу серийных дождевальных аппаратов «Фрегат» и насадкам «Кубань». Уравнение для расчета расхода воды дефлекторных насадок при среднем значении коэффициента расхода ($\mu = 0,87$) принимает вид:

$$q = \frac{\mu \cdot D^2(H)^{0,5}}{287,595} = \frac{D^2 \cdot H^{0,5}}{330}. \quad (1)$$

При настройке дефлекторных насадок на определенный расход воды необходимо знать диаметр калиброванного отверстия дюзы. Исследования показали, что напор на выходе струи H определяется напором в трубопроводе, отношением площадей насадки и дюзы ω_n/ω_d , отношением диаметра ствола и диаметра дюзы $D_{ст}/D_d$ и имеет вид:

$$H_{TP} / H = 0,2258 \left(\frac{10\omega_n}{\omega_d} \right)^{0,68} \left(\frac{D_{CT}}{D_d} \right)^{0,456} (0,1H_{TP})^{0,15}, \quad (2)$$

где H_{TP} , H – напор в трубопроводе машины и на выходе струи, м вод. ст.;

ω_n/ω_d – отношение площади насадки к площади отверстия регулировочной дюзы;

D_{CT} – внутренний диаметр регулировочной дюзы, мм;

D_d – диаметр калиброванного отверстия регулировочной дюзы, мм.

При постоянной величине внутреннего диаметра регулировочной дюзы $D_{ct} = 18$ мм и после преобразования уравнения (2) диаметр калиброванного отверстия дюзы определяется по зависимости

$$D_{III} = 1,783 D^{0,74889} \cdot H_{II}^{0,55} \cdot H_{TP}^{-0,468}. \quad (3)$$

Результаты лабораторных исследований дефлекторных насадок показали, что радиус захвата дождем зависит в основном от диаметра сопла, напора перед насадкой и высоты ее установки над поверхностью поля.

Максимальный радиус захвата дождем дефлекторной насадки при изменении диаметра сопла от 4 до 16 мм при напоре перед насадкой 30 м вод. ст. составляет 4,0-11,5 м (рис. 8).

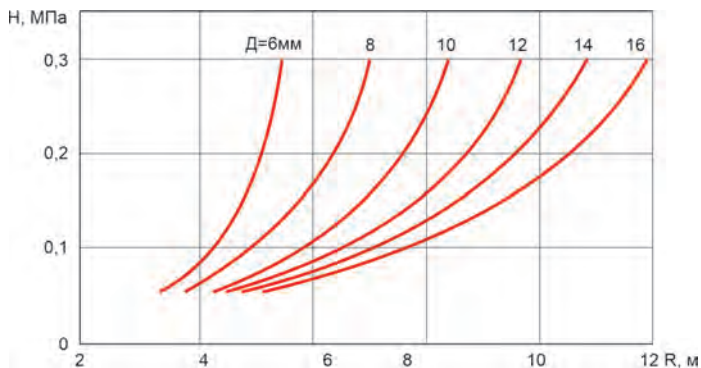


Рис. 8. Радиус захвата дождем R дефлекторной насадки в зависимости от диаметра сопла D и напора перед насадкой H при высоте установки 2,0 м

Обработкой экспериментальных данных получено уравнение для определения радиуса захвата дождем R дефлекторной насадки при установке ее на высоте 2,0 м от поверхности почвы:

$$R = (1 + 0,02h)H / (0,728 + 0,742H/D), \quad (4)$$

где H – напор перед дефлекторной насадкой, м вод. ст.;

D – диаметр сопла, мм;

h – высота установки дождевальной насадки, м.

Распределение нормированного слоя дождя (h_i/h_{cp}) вдоль радиуса захвата дефлекторной насадки зависит от диаметра сопла и напора. С увеличением напора распределение слоя дождя вдоль радиуса захвата становится более равномерное (рис. 9).

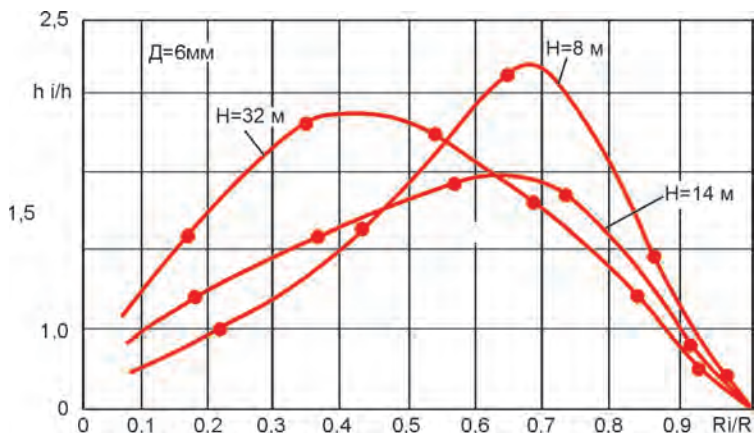


Рис. 9. Распределение нормированного слоя дождя вдоль относительного радиуса полива дефлекторной насадки $\varnothing 6$ мм в зависимости от напора (H)

При небольшом напоре $H = 4-10$ м и отношении $H/D = 1-1,6$ м/мм струя слабо распадается на капли, и основная масса дождя выпадает в конце радиуса захвата дождем. Значения параметров бета-распределения (Рыжко Н.Ф., 2012) изменяются в пределах $\gamma = 3,0-4,0$ и $\eta = 1,8-2,0$.

При большом напоре $H = 15-50$ м и $H/D = 2-8$ м/мм струя распадается на мелкие капли и более равномерно распределяется вдоль радиуса захвата дождем. Значения параметров: $\gamma = 2,0-2,5$ и $\eta = 2,5-2,7$.

Оптимальная равномерность полива дефлекторных насадок диаметром сопла 4-16 мм – при напоре $H = 6-25$ м вод. ст.

Математической обработкой установлено, что изменение параметров γ и η бета-распределения описывается регрессионной зависимостью

$$\gamma = 0,97 \cdot D^{0,41} + 2,65 e^{-0,15H}; \quad (5)$$

$$\eta = 1,6 + 0,04D + 0,01H, \quad (6)$$

где H – напор, м вод. ст.;

D – диаметр сопла, мм;

e – основание натурального логарифма.

Крупность капель дождя дефлекторных насадок определяется диаметром сопла и напором. Средний диаметр капель дождя дефлекторных насадок увеличивается с возрастанием относительного радиуса полета капель (R_i/R), диаметра сопла и уменьшением напора перед насадкой. Минимальный и максимальный диаметры капель в начале и конце радиуса захвата дождем дефлекторной насадки зависят от диаметра сопла D и напора H описывается уравнением

$$d_{\min} = 0,274 \cdot H^{0,5397} \cdot D^{-1,07}; \quad (7)$$

$$d_{\max} = 1,558 \cdot H^{-0,358} \cdot D^{0,490}. \quad (8)$$

Значение диаметра капель дождя в i -ой точке радиуса действия струи дефлекторной насадки описывается уравнением

$$d_i = d_{\min} + (d_{\max} - d_{\min}) X_i / R \cdot e^{-0,757(1 - X_i/R)}, \quad (9)$$

где X_i/R – относительная величина радиуса захвата дождем, $0 \leq X_i/R \leq 1$;

$d_{\min}$, $d_{\max}$ – минимальный и максимальный диаметры капель вдоль радиуса захвата дождем, мм. Описываются уравнениями 7, 8.

Исследования показали, что средний диаметр капель дождя дефлекторных насадок в 1,8-2,0 раза меньше, чем у серийных аппара-

тов «Фрегат» и изменяется вдоль трубопровода машины в пределах 0,50-0,86 мм.

Дефлекторные насадки, установленные по учащенной схеме (через 5 и 6 м) на дождевальная машина «Фрегат», повышают равномерность распределения дождя, коэффициент эффективного полива при скорости ветра 3-4 м/с находится в пределах 0,70-0,75. Дождевое облако от дефлекторных насадок поднимается на высоту 3,0-3,5 м, при этом потери воды на испарение и снос вдоль трубопровода снижаются до 14,4-9,3% вместо 22,3-10,4% у серийных аппаратов (при среднем температурном режиме (Саратовская область), коэффициент метеорологической напряженности по В.Е. Хабарову – $\Phi = 34,5$).

Энергетическое воздействие дождя дефлекторных насадок ниже, чем у серийных дождевальных аппаратов «Фрегат». Обусловлено это формированием мелкокапельного дождя ($d = 0,5-0,8$ мм) вдоль трубопровода и снижением действительной интенсивности дождя (до 0,30-0,45 мм/мин). Дождевальные машины «Фрегат» с дефлекторными насадками внедрены в Саратовской и Самарской областях, республиках Татарстан и Башкортостан, Ставропольском крае и др.

5. МОДЕРНИЗАЦИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ АППАРАТОВ «ФРЕГАТ»

При выборе рациональных параметров и для усовершенствования дождевальных аппаратов ДМ «Фрегат» исходят из того, что расход воды может быть получен при различных значениях напора, диаметра основной и дополнительной насадок. К *основным качественным показателям полива аппарата и машины* относятся норма полива до стока, которая должна быть больше оптимальной нормы полива или стремиться к ней, и коэффициент эффективного полива $K_{э.п}$, который должен быть больше 0,7, к *дополнительным показателям работы дождевального аппарата* – потери воды на испарение и снос

($E_{ис} \rightarrow 0$); коэффициенты равномерности полива аппарата ($K_{pa} = 0,5-0,7$) и вариации слоя дождя ($KB < 15\%$); частота вращения аппарата (должна быть $0,5-1,0 \text{ мин}^{-1}$); радиус действия струи аппарата ($R > 0,7 \cdot \ell_a$, где ℓ_a – расстояние между аппаратами).

Общее направление выбора рациональных параметров аппаратов заключается в том, что на основе учета климатических, почвенно-рельефных условий и засоренности оросительной воды выделялись лимитирующие показатели работы аппарата и определялись основные конструктивные изменения, направленные на повышение качества полива.

В первой половине машины лимитирующими показателями аппаратов «Фрегат» № 1, 2 являются значительные потери воды на испарение и снос, низкая равномерность полива при ветре, высокая частота вращения аппаратов. Модернизация аппаратов направлена на уменьшение угла вылета и снижение высоты подъема струи за счет установки переходников, оптимизацию распыла струи и уменьшение частоты вращения до $0,5-1,0 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 10а, б).

Во второй половине машины модернизация аппаратов «Фрегат» № 3, 4, где лимитирующими показателями полива являются значительная действительная интенсивность и крупность капель дождя, направлена на обеспечение мелкокапельного полива (за счет создания многоструйных аппаратов, использования рассекателей, прерывателя струи и отражательной лопатки) и снижение высоты подъема струи (рис. 10в, г).

Исследования серийных и модернизированных дождевальных аппаратов, смонтированных на ДМ «Фрегат», показали, что радиус действия вращающейся струи при ветре R_v (его определяли по площади эллипса) более точно можно определить как произведение радиуса действия неподвижной струи R_n (вылетающей из аппарата, выполненного в соответствии с рекомендациями и близкого к идеальному – с оптимальным углом наклона струи к горизонту) и коэффициентов уменьшения от скорости ветра K_v , частоты вращения K_n , угла наклона струи к горизонту K_θ , высоты установки аппарата K_h , несовершенства конструкции аппарата K_k :

$$R_v = R_n \cdot K_v \cdot K_n \cdot K_\theta \cdot K_h \cdot K_k. \quad (10)$$

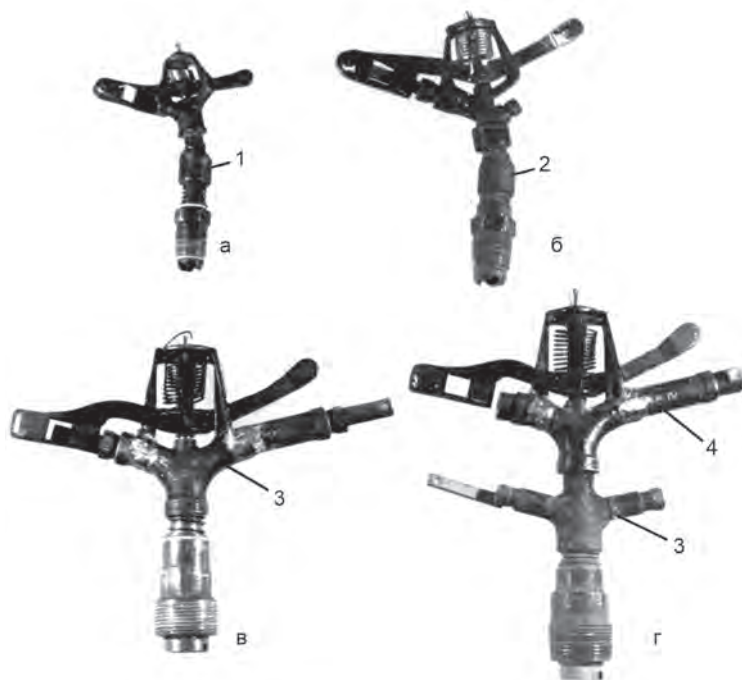


Рис. 10. Модернизированные дождевальные аппараты ДМ «Фрегат»:
 а, б – аппараты «Фрегат» № 1, 2 с переходником для снижения
 угла вылета струи до 15° к горизонту (1, 2);
 в – аппарат «Фрегат» № 3 с модернизированным корпусом (3),
 обеспечивающим снижение вылета струй до 15° к горизонту;
 г – многоструйный аппарат «Фрегат» № 3 с модернизированным
 корпусом (3) и переходником (4) для снижения угла вылета струи

Математической обработкой опытных данных установлены значения коэффициентов:

$$K_v = D^{0,016V} \cdot \cos \theta^{0,363V} (100H)^{-0,0177V}, r = 0,76; \quad (11)$$

$$K_n = (0,4^{-n/2,5} + 0,6)(0,0465D \cdot H^{-1})^{0,074n}, r = 0,72; \quad (12)$$

$$K_\kappa = 0,2 + 0,8\mu, r = 0,78; \quad (13)$$

$$K_h = 0,86 + 0,06h, r = 0,77; \quad (14)$$

$$R_{\mu} = H/[0,4 + 0,25(1 - e^{-0,47})H/D], r = 0,96, \quad (15)$$

где D – диаметр сопла, мм;

H – напор, м вод. ст.;

n – частота вращения аппарата, мин⁻¹;

μ – коэффициент расхода;

h – высота установки аппарата, м.

При снижении угла вылета струи уменьшается радиус ее действия на величину коэффициента K_{θ} , который получен после преобразования уравнения (В. М. Маркварте, 1966):

$$K_{\theta} = 0,866[1 + 4\lambda \cdot (H/D) \sin\theta_{\lambda}] / \sin 2\theta_{\lambda} [1 + 4\lambda \cdot (H/D) \sin\theta_0], \quad (16)$$

где λ – безразмерный коэффициент, $\lambda = 1 - e^{-H/1,6D}$;

$\theta_0, \theta_{\lambda}$ – оптимальный и экспериментальный угол наклона струи к горизонту, град.

Исследования показали, что в первой половине трубопровода ДМ «Фрегат» радиусы действия вращающихся струй модернизированных аппаратов при ветре увеличены на 0,5–3,2 м, или на 20%, в результате оптимизации конструктивно-технологических параметров (увеличение диаметра основной струи и уменьшение угла наклона струи к горизонту до 15°, частоты вращения до 0,5–1,0 мин⁻¹) и распыленности струй (табл. 7).

Таблица 7

Агротехнические характеристики полива в начале ДМ «Фрегат» ДМУ-Б-463-90 серийных (с) и модернизированных (м) аппаратов, дефлекторных насадок (дн) и устройств приповерхностного дождевания типов «рычаг» (упр) и «вращающая штанга» (вш)

q, л/с	Тип дождевателя	D-d, мм	H, МПа	θ , град	n, мин ⁻¹	R_{ν} , м	ρ_{ν} , мм/мин	KB, %	$E_{ис}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,192	ДА1 с	3,2	0,309	27	3,0	6,0	0,095	25,3	22,3
	ДА1 м	3,6	0,193	15	0,5	8,9	0,064	12,7	12,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,415	ДА2 с	3,6-2,4	0,432	27-27	0,5	10,7	0,112	14,8	21,4
	ДА2 м	4,8	0,285	15	0,5	11,6	0,106	9,7	12,3
	дн	4	0,26	23	0	3,8	0,395	26,0	15,8
	упр-дн	4	0,26	23	0	3,7	0,403	16,0	10,6
	упр-да	4,8	0,285	15	0,5	10,4	0,119	10,3	8,4
	вш	4,8	0,285	23	0,5	9,6	0,129	11,0	8,9
0,825	ДА2 с	5,1-3,2	0,450	27-27	1,7	9,8	0,253	18,0	17,8
	ДА2 м	5,1-3,9	0,350	27-15	0,5	11,8	0,210	9,8	13,9

Примечание: q – расход воды дождевателем на пролете; D, d – диаметр основного и дополнительного сопел; R_v – радиус действия вращающейся струи; KB – коэффициент вариации слоя дождя на пролете; $E_{ис}$ – потери воды на испарение и снос.

При этом уменьшается средняя интенсивность дождя и повышается равномерность полива. Погрешность расчета радиуса действия струи по формуле 10 – 7,9%, по формулам Б.М. Лебедева и Ф.И. Пикалова – 13,7 и 15,3% соответственно.

Для оценки средней действительной интенсивности дождя необходимо знать мгновенную площадь полива неподвижной струей, которая приближенно описывается двумя полуэллипсами с наибольшей шириной захвата в зоне выпадения максимального объема дождя. Максимальная ширина захвата струи B описывается уравнением

$$B = H / (20 \cdot D^{0,5} + 2H \cdot D^{-1}), r = 0,7. \quad (17)$$

При использовании во второй половине трубопровода низконапорной ДМ «Фрегат» многоструйных аппаратов действительная интенсивность дождя снижается до 2,0 мм/мин, или на 17-23% (табл. 8), а при установке на коромысле прерывателя струи на 24-30% за счет увеличения мгновенной площади полива.

Таблица 8

**Агротехнические характеристики полива в конце ДМ «Фрегат»
ДМУ-Б-463-90 серийных (с) и модернизированных (м) аппаратов,
дефлекторных насадок (дн) и устройств приповерхностного
дождевания типов «рычаг» (упр) и «вращающая штанга» (вш)**

q, л/с	Тип дождева- теля	Д-d, мм	Н, МПа	θ, град	n, мин ⁻¹	R _в , м	ρ _с , мм/ мин	ρ _д , мм/ мин	d _с , мм	h, мм	m ₁ , мм
2,22	ДА 3с	9,5- 5,6	0,31	27-27	0,60	20,4	0,43	2,39	1,61	0,170	35,6
	ДА 3м	7,1- 5,6- 4,5- 4,5	0,31	27- 15- 15-15	0,75	16,4	0,54	1,98	1,30	0,310	48,2
3,80	ДА 4с	11,9- 5,6	0,42	27-27	0,66	25,6	0,59	2,60	1,58	0,234	34,7
	ДА 4м	7,1- 6,3- 5,6- 5,1	0,30	27- 15- 15-15	0,50	16,4	0,69	2,00	1,20	0,220	42,8
	дн	16,0	0,23	23	-	9,4	1,20	0,58	0,87	-	32,8
	упр-дн	12,0	0,25	23	-	7,4	1,47	0,76	0,72	-	30,9
	вш	7,1- 12,0	0,42	23	0,5	18,0	0,63	0,72	1,00	0,337	66,2

Примечание: q – расход воды дождевателем на пролете; Д, d – диаметры основного и дополнительного сопла; R_в – радиус действия вращающейся струи; h – слой дождя за оборот дождевального аппарата; m₁ – норма полива до стока при поливе пашни на темно-каштановых почвах Саратовской области (тяжелые 1, С = 30,3; а = 2, по классификации Ф.И. Колесникова).

Распределение диаметра капель вдоль радиуса действия струи дождевального аппарата описывается зависимостью

$$d_{Xi/R} = d_{min} + (d_{max} - d_{min}) \cdot X_i/R \cdot e^{-1,033(1-X_i/R)}, r = 0,96, \quad (18)$$

где d_{min} – минимальный диаметр капель в начале струи, мм;

$d_{min} = 0,3 + 0,625/N$;

d_{max} – максимальный диаметр капель в конце струи, мм;

$d_{max} = 5,75(D)^{0,5} \cdot (100H)^{-0,5}$;

N – показатель распыла струй (В. Миршел, ГДР, 1984),
 $N=(1000H/D-4)96^{-1}$.

Установлено также, что средний диаметр капель у ДМ «Фрегат» снижается на 19-24% по сравнению с двухсopловыми аппаратами при одинаковом расходе воды.

При вводе рассекателя на величину 0,3-0,5 диаметра струи и увеличении напора медианный диаметр капель уменьшается на 30-60%, а при работе прерывателя струи – на 15-40.

6. НОРМА ПОЛИВА ДО СТОКА ПРИ ПОЛИВЕ ДОЖДЕВАНИЕМ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕЁ УВЕЛИЧЕНИЮ

Исследованиями Н.С. Ерхова, А.П. Исаева, Ф.И. Колесникова, Г.И. Швевса, А.О. Гаврилицы, Ф.Г. Абрамова, Ю.А. Мосвичева, Ю.П. Полякова, П.И. Кузнецова, А.П. Клепальского и другими доказано, что впитывание воды в почву следует рассматривать как изменяющийся во времени процесс, который определяется множеством природных и хозяйственных факторов, основными из которых являются тип, механический состав и объемный вес почвы; уклон поля; предполивная влажность; вид сельскохозяйственных растений; энергетические характеристики дождя (его мощность, средняя и мгновенная интенсивность; крупность капель – их скорость падения, сила удара, кинетическая энергия; величина подачи разового слоя дождя и др.). В последние годы для качественного описания закономерностей впитывания искусственных осадков широкое распространение получили эмпирические зависимости Н.С. Ерхова, Ф.И. Колесникова, А.П. Исаева.

Обширный экспериментальный материал по определению величины нормы полива до стока при поливе дождеванием короткоструйными насадками, струйными аппаратами и дождевальными машинами в Заволжье был получен в «ВолжНИИГиМ» под руководством А.П. Клепальского и во «ВНИИГиМ» – Ф.И. Колесникова. Опыты проводились в Самарской области в зоне Высокого сыртового Заволжья, в колхозе им. Шевченко Волжского района на участках с посе-

вами яровой пшеницы и люцерны третьего года. Почвы – чернозем карбонатный, малогумусный, маломощный, глинистый. Объемная масса – 1,27 г/см³. Участок орошался с 1954 г. Уклон поля изменялся от 0 до 0,038, а влажность поля перед поливом – от 48,2 до 88,6%.

В Саратовском Заволжье при поливе темно-каштановых почв исследования по определению нормы полива до стока проводились Г.С. Кальяновым, Ю.А. Москвичевым, А.П. Клепальским, Ф.И. Колесниковым и др.

Обработкой на ЭВМ экспериментальных данных при короткоструйном непрерывном дождевании были получены следующие математические зависимости по типу формул Ф.И. Колесникова и Н.С. Ерхова:

$$m = C \frac{(d_1^{1,5} + 1) \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5}{\rho^{\theta-1} \cdot (d_2^{1,5} + 1)} = \frac{C_1^1 (d_1^{1,5} + 1) \cdot k_1 \cdot k_2}{\rho^{\theta-1} \cdot (d_2^{1,5} + 1)}, r^2 = 0,734 \quad (19)$$

$$m = \frac{P_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5}{\rho^{0,5} \cdot e^{0,5d}} = \frac{P_1 \cdot k_1 \cdot k_2}{\rho^{0,5} \cdot e^{0,5d}}, r^2 = 0,758, \quad (20)$$

где $C = 44,5$ – постоянная впитывания открытого перекопанного участка. Соответствует типу почвы (средние II) по классификации Ф.И. Колесникова;

$v = a - 0,15 + 0,15 \cdot (d - 0,5)$ – показатель степени кривой впитывания;

$a = 1,75$ – показатель степени в уравнении кривой впитывания воды в почву при дожде с каплями $\varnothing 1,5$ мм;

$k_1 = 1 + 0,0147 \cdot (70 - W)$ – коэффициент, учитывающий предполивную влажность почвы перед дождеванием;

W – влажность почвы от наименьшей влагоемкости, %;

$k_2 = 1 - 15,11 \cdot i$ – коэффициент, учитывающий величину уклона поверхности поля; i – уклон поверхности поля;

$k_3 = e^{n(\alpha - \alpha_0)}$ – коэффициент, учитывающий плотность почвы перед поливом (Абрамов А.М.);

k_4 – коэффициент, учитывающий наличие почвенной корки;

k_5 – коэффициент, учитывающий агрофон, степень покрытия растениями участка орошения (Абрамов А.М.);

$C_1 = C \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$ – постоянная впитывающей способности для конкретного состояния почвы;

$P_o = 80-90$ – постоянная впитывания по формуле Н.С. Ерхова для черноземов Заволжья, открытого перекопанного участка без уклона ($W = 70\% HB$, $\alpha_o = \alpha$, $k_4 = 1$, $k_5 = 1$);

$P_1 = P_o \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$ – постоянная впитывания для конкретного состояния орошаемого участка.

Параметр C_1 изменяется от вида сельскохозяйственных культур и кратности полива. Для данного типа почв наиболее близки параметры $C = 37,1$; $a = 1,87$, которые занимают промежуточное значение между параметрами для почв – среднее II и тяжелая I по классификации Ф.И. Колесникова. Значения коэффициентов: $k_3 = 0,67$; $k_4 = 0,8$; $k_5 = 1,0$.

Формула для определения нормы полива до стока при первом поливе яровой пшеницы дефлекторными насадками дождем – диаметр капель 0,3-0,5 мм (среднее значение 0,4 мм) – после преобразования имеет вид:

$$m = C \frac{(d_1^{1,5} + 1) \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5}{\rho^{e-1} \cdot (d_2^{1,5} + 1)} = \frac{C_1^1 (d_1^{1,5} + 1) \cdot k_1 \cdot k_2}{\rho^{e-1} \cdot (d_2^{1,5} + 1)} =$$

$$(21)$$

$$= \frac{37,1 \cdot (1,5^{1,5} + 1) \cdot 0,54 \cdot k_1 \cdot k_2}{\rho^{1,7-1} \cdot (0,4^{1,5} + 1)} = \frac{45,3 \cdot k_1 \cdot k_2}{\rho^{0,7}},$$

где $e = a - 0,15 + 0,15 \cdot (d - 0,5) = 1,87 - 0,15 + 0,15 \cdot (0,4 - 0,5) = 1,7$.

При первом поливе яровой пшеницы дождем от дефлекторной насадки со средним диаметром капель 0,40 мм (0,3-0,5 мм) параметр $C_1 = 20$, при поливе средним диаметром капель 0,65 мм (0,6-0,7 мм) параметр $C_1 = 18,9$, а при поливе средним диаметром капель 1,05 мм (0,8-1,3 мм) параметр $C_1 = 12,2$.

При первом поливе более плотных почв под люцерной третьего года жизни параметр $C_1 = 16,3$.

При втором поливе яровой пшеницы значение параметра C_1 снизилось на 14% по сравнению с первым поливом и составило $C_1 = 16,3$.

С изменением величины диаметра капель изменяется показатель степени (ν) в уравнении кривой впитывания. При поливе каплями $\varnothing 0,3-0,5$ мм (в среднем 0,4 мм) показатель степени ν равен 1,38, при среднем диаметре $d = 0,65$ мм, $\nu = 1,45$, при $d = 1,05$ мм, $\nu = 1,75$.

Изменение показателя степени описывается уравнением

$$\nu = a - 0,15 + 0,15 \cdot (d - 0,5). \quad (22)$$

На рис. 11 показаны изменения нормы полива до стока в зависимости от интенсивности дождя, диаметра капель и вида сельскохозяйственной культуры.

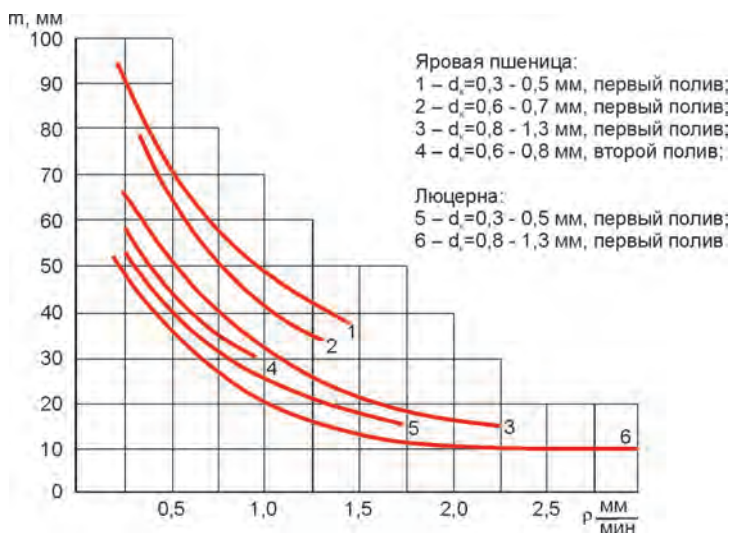


Рис. 11. Изменение нормы полива до стока при короткоструйном непрерывном дождевании карбонатных черноземов

Параметр P_1 в формуле (20) составляет для яровой пшеницы при первом поливе 49,35, при втором – 43,08, для люцерны при первом

поливе – 44,43. По классификации Н.С. Ерхова, для черноземов $P_0 = 80-90$, тогда $P_1 = P_0 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 = (80-90) \cdot 0,54 = 43,2-48,6$.

При поливе темно-каштановой пашни Саратовской области параметры для формулы (19) имеют следующие значения: $C_1 = 27$, $v = 2,25-2,37$, что соответствует типу почв (тяжелые 2) по классификации Ф.И. Колесникова. При поливе яровой пшеницы параметр C_1 снижается до 19% или при струйном и короткоструйном, прерывистом дождевании установками и машинами типов «Фрегат», «Днепр», «Волжанка», ДДА-100МА, ДДН-70 дождь характеризуется следующими параметрами: средняя и мгновенная интенсивность дождя, разовый слой дождя за один оборот (проход) аппарата. О независимом влиянии этих параметров сказано в работах Г.И. Чижикова, Б.О. Миленина, В.К. Сорочкина, А.П. Исаева, А.М. Пospelова, А.П. Клепальского.

При изменении частоты вращения аппаратов с постоянными параметрами средней и мгновенной интенсивности дождя разовый его слой может существенно измениться. При поливе движущимися дождевальными машинами типов «Фрегат», «Кубань», ДДА-100МА на условия впитывания также оказывает влияние неравномерность подачи дождя во времени, что отмечается в работах П.И. Кузнецова, В.С. Краснощекова. На рис. 12 показано изменение интенсивности дождя во времени для дождевальной машины «Фрегат». Отношение максимальной интенсивности к средней интенсивности дождя $\rho_{\max}/\rho_{\text{cp}}$ у машины «Фрегат» в среднем равно 2,0.

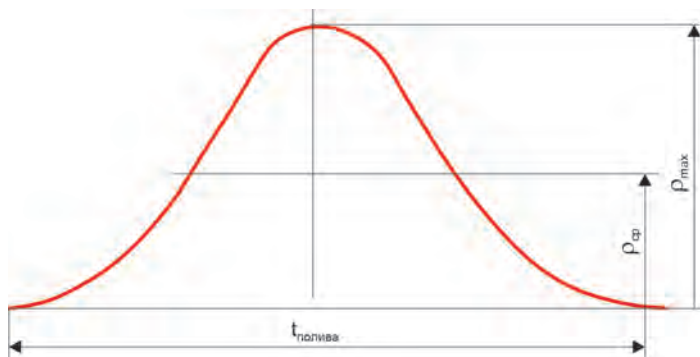


Рис. 12. Изменение интенсивности дождя во времени при поливе ДМ «Фрегат»

Обработкой на ЭВМ наших экспериментальных данных, а также данных Ф.И. Колесникова, А.П. Клепальского было получено уравнение расчета нормы полива до стока при струйном дождевании с учетом средней мгновенной интенсивности дождя, слоя дождя за один проход аппарата, коэффициента неравномерности подачи средней интенсивности дождя во времени полива. Уравнение имеет вид:

$$m = \frac{C \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \left(d_1^{1,5} + 1 \right)}{\rho_{мг}^{(e-1/e-0,1)} \cdot \rho_c^{(1/e-0,2)} \cdot h^{0,25} \cdot k_7^{0,3} \left(d_2^{1,5} + 1 \right)}, \quad (23)$$

где $\rho_{мг}$ – средняя мгновенная интенсивность дождя аппарата, мм/мин;

ρ_c – средняя интенсивность дождя за время полива с учетом перекрытия струй соседних аппаратов мм/мин;

h – слой дождя за один оборот аппарата или проход машины ДДА-100МА, мм;

K – коэффициент неравномерности подачи интенсивности дождя;

$K_6 = 1,1$ – коэффициент прерывистости дождя.

В табл. 9 приведены расчетные (по формуле 23) и экспериментальные данные нормы полива до стока для условий Саратовской области при следующих параметрах впитывания: $C = 30$, $e = 2$. Состояние почвы перед поливом: $W = 70\% \text{ НВ}$, Уклон поля $i = 0,00$, $K_3 = K_4 = K_5 = 1$.

Полученное уравнение (23) хорошо описывает экспериментальные данные и одновременно показывает пути дальнейшего совершенствования дождевальных аппаратов. Они заключаются в снижении средней интенсивности дождя за счет повышения устойчивости струй к ветру, мгновенной его интенсивности из-за использования прерывателя струи, разового слоя дождя за счет увеличения частоты вращения аппарата до оптимальной величины; в повышении равномерности подачи дождя за время полива.

В табл. 10 приведен расчет нормы полива до стока для темно-каштановых почв (Комсомольская ОС) Саратовской области с параметрами впитывания: $C = 30,3$; $a = 2,0$ (почвы средней водопроницаемости, тяжелые 1, по классификации Ф.И. Колесникова) и почв средней водопроницаемости по классификации Н.С. Ерхова.

Таблица 9

Норма полива до стока различных типов дождевальных машин и аппаратов

Тип машины, аппарата	Расход воды, л/с	Параметры дождевания				Медианный диаметр капель, d, мм	Норма полива до стока, м³/га	
		средняя интенсивность дождя, ρ_c , мм/мин	средняя мгновенная интенсивность дождя, $\rho_{мг}$, мм/мин	слой дождя за один оборот, h, мм	коэффициент неравномерности подачи воды, K		расчетная $m_{дср}$, мм	экспериментальная $m_{дсэ}$, мм
ДКШ-64	1,00	0,275	1,70	0,140	1,0	1,50	794,0	800
«Днепр»	3,53	0,320	2,95	1,000	1,0	1,60	282,7	302
«Фрегат» № 1	0,10	0,100	1,52	0,145	2,0	0,85	1040	1172
«Фрегат» № 4	3,80	0,580	2,54	0,245	2,0	1,57	257,0	238
ДДА-100МА	?	0,100	3,50	4,000	1,8	1,50	323,0	300
ДДН-70	70,0	0,360	8,45	1,640	1,0	2,00	118,8	128

Таблица 10

Норма полива до стока при поливе ДМ «Фрегат» с серийными (ДА) и модернизированными (МДА) дождевальными аппаратами и дефлекторными насадками (ДН)

Тип дождевателя	Положение вдоль машины	q, л/с	D-d, мм	H, МПа	ρ_c , мм/мин	ρ_c^1 , мм/мин	$\rho_{мг}$, мм/мин	h_c , мм	n, мин ⁻¹	d_c , мм	m_1 , мм	m_2 , мм	m_3 , мм	m_4 , мм	m_5 , мм
ДА	Начало	0,415	3,6-2,4	0,430	0,086	0,126	1,525	0,163	0,50	0,7	146,4	131,2	141,4	101,0	282,0
	Середина	1,790	7,1-5,6	0,180	0,200	0,275	1,940	0,180	0,50	1,0	69,8	63,5	85,2	58,0	80,5

	Конец	2,42	5,6-9,5	0,448	-	0,438	2,05	0,168	1,0	1,247	55,1	49,6	-	-	-
	Конец	3,780	11,9-5,6	0,420	0,430	0,524	2,600	0,234	0,66	1,575	34,7	31,2	44,1	31,5	21,1
МДА	Начало	0,415	3,9-2,8	0,285	-	0,125	1,93	0,158	0,5	0,94	109,4	98,4	-	-	-
	Конец	2,42*	5,6-9,5	0,448	-	0,438	1,57	0,168	1,0	1,05	71,2	64,0	-	-	-
	Конец	3,78**	9,5-5,6-5,1-5,1	0,42	-	0,626	2,19	0,22	1,0	1,21	42,8	38,5	-	-	-
ДН	Начало	0,415	6	0,144	0,344	0,412	0,240	-	-	0,675	97,7	87,9	77,8	55,5	86,1
	Сере-дина	1,790	12	0,168	0,654	0,784	0,378	-	-	0,86	48,2	43,3	51,4	36,7	53,8
	Конец	3,780	16	0,237	1,016	1,200	0,429	-	-	0,866	32,8	29,5	41,5	29,6	43,4

Примечание: q – расход воды дождевальным аппаратом и дефлекторной насадкой, л/с; $D-d$ – диаметр сопла дождевального аппарата и дефлекторной насадки, мм; H – напор, МПа; ρ_c – средняя интенсивность дождя при средней скорости ветра 0 и 3,8 м/с; ρ_m – мгновенная интенсивность дождя, мм/мин; h_c – слой дождя за оборот дождевального аппарата, мм; n – частота вращения дождевального аппарата, мин⁻¹; d_c – средний диаметр капель, мм; m_1, m_2 – норма полива до стока при поливе пашни и яровой пшеницы – рассчитывается по формуле (64) для темно-каштановых почв Саратовской области (тяжелые 1, $C = 30,3$; $a = 2$, по классификации Ф.И. Колесникова); m_3, m_4 – норма полива до стока – рассчитываются по формуле (66) Н.С. Ерхова для почв средней водопроницаемости пашни $P_0 = 70$, яровая пшеница, $P_0 = 50$; m_5 – норма до стока – рассчитывается по формуле (65) Ф.И. Колесникова при $C = 30,3$; $a = 2$; *дождевальный аппарат (снабжен прерывателем струи); **многоструйный аппарат.

Из табл. 10 видно, что при использовании на ДМ «Фрегат» модернизированных дождевальных аппаратов (за счет установки прерывателя струи на коромысле или многоструйных аппаратов) норма полива до стока повышается на 20-30%. Дефлекторные насадки в конце трубопровода ДМ «Фрегат» обеспечивают практически такую же норму полива до стока, как и серийные среднеструйные аппараты. Данные расчетов по формулам 19, 23 – близки. Оптимальная норма полива до стока у дефлекторных насадок объясняется тем, что средний диаметр капель и мгновенная интенсивность дождя меньше, чем у дождевальных аппаратов.

Лучшие результаты нормы полива до стока имеют устройства приповерхностного дождевания типа «вращающаяся штанга» с открылками длиной 2,5 м, дефлекторной насадкой на одном конце, соплом $\varnothing$ 5,6-7,1 мм и отражателем на другом конце. При этом формируется дождь со средним диаметром капель 0,9-1,0 мм, средней интенсивностью 0,20-0,63 мм/мин и мгновенной – 0,6-0,9 мм/мин, что снижает энергетическое воздействие дождя и повышает норму полива до стока на темно-каштановых тяжелосуглинистых почвах с 230-280 до 350-390 м³/га.

7. ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПОТЕРЬ ВОДЫ НА ИСПАРЕНИЕ И СНОС ПРИ ПОЛИВЕ ДОЖДЕВАНИЕМ

Для оценки суммарной величины испарения и сноса дождя $E_{ис}$ при поливе дождеванием были математически обработаны результаты полевых опытов, полученные в «ВолжНИИГиМ» при поливе одиночными аппаратами «Фрегат» -1, -2, -3, -4 и ДКШ-64 дефлекторными насадками, а также дождевальными машинами «Фрегат», «Волжанка», ДДН-70. Результаты опытов приведены в табл. 11. С целью получения достоверной математической зависимости для расчета $E_{ис}$ использовались также опытные данные М.С. Мансурова, А.П. Клепальского, К.М. Мустафайевой, Е.Г. Петрова, П.К. Дороженко.

Таблица 11

Величина испарения и сноса дождя при поливе дождевальными аппаратами, насадками и машинами

Д-д, мм	Н, МПа	q, л/с	h _п , м	d _к , мм	ρ _с , мм/мин	ρ _м , мм/мин	n+1, мин ⁻¹	α, град	T, град	φ, %	V _в , м/с	E _с , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Полив одиночным аппаратом «Фрегат» и машиной ДДН-70</i>												
4,8	0,36	0,46	6,0	1,05	0,053	1,635	1,31	-	30,0	20	3,4	35,0
11,9-5,6	0,19	2,54	5,3		0,260	2,70	2,0	-	18,0	22	3,6	36,5
9,5-5,6	0,22	1,92	5,5	2,20	0,289	2,640	1,35	-	13,0	87	3,3	5,0
11,1-5,6	0,28	2,76	6,1	1,98	0,169	2,810	2,44	-	10,0	90	2,5	2,4
10,3-5,6	0,38	2,86	7,5	1,50	0,450	2,230	2,0	-	27,6	38	0,9	20,4
9,5-5,6	0,55	3,32	8,1	1,11	0,410	2,220	2,0	-	27,6	38	0,9	30,1
3,2	0,56	0,27	5,9	0,60	0,074	1,534	4,0	-	27,6	38	0,9	30,8
55-16	0,60	72,0	17,5	2,50	0,432	8,450	1,14	-	23,0	35	1,5	10,7
<i>Полив ДМ «Фрегат» (на пролетах установлены дождевальные аппараты)</i>												
10,3-5,6	0,38	2,86	7,5	1,50	0,450	2,230	2,0	90	27,0	40	2,90	10,20
9,5-5,6	0,55	3,88	8,1	1,11	0,410	0,220	2,0	90	27,0	40	2,88	16,20
3,2	0,17	0,137	4,3	1,28	0,046	1,506		90	27,0	40	2,88	15,0
9,5-5,6	0,24	2,0	5,8	1,94	0,370	2,645	1,5	90	27,0	40	2,88	13,80
8,7-5,6	0,23	1,74	5,5	1,92	0,370	2,452	1,5	90	27,0	40	2,88	16,60
7,9-5,6	0,36	1,89	6,6	1,30	0,284	1,975		15	18,8	73	5,30	15,90
4,3-3,9	0,24	0,55	5,0	1,17	0,139	1,645	2,75	15	18,8	73	5,30	7,0
3,6	0,43	0,28	6,0	0,75	0,071	1,459		90	21,4	69	4,0	30,60
7,1-4,8	0,35	1,55	6,3	1,24	0,243	1,710		90	21,4	69	4,0	11,10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10,3-5,6	0,43	2,72	7,8	1,370	0,420	1,926	1,7	45	21,0	26	1,30	9,16
9,5-5,6	0,45	2,95	7,8	1,247	0,445	2,197	1,5	45	23,7	22,5	1,59	13,17
10,3-5,6	0,43	2,72	7,8	1,370	0,420	1,926	1,7	45	23,7	22,5	1,59	12,10
9,5-5,6	0,25	2,17	5,8	1,910	0,450	2,678	1,5	45	26,0	18	2,70	10,90
9,5-5,6	0,24	2,10	5,8	1,940	0,362	2,645	2,0	10	29,0	20	3,0	4,60
9,5-5,6	0,24	2,0	5,8	1,940	0,371	2,645	1,5	45	30,0	20	3,0	7,50
9,5-5,6	0,28	2,17	6,0	1,735	0,445	2,015	2,0	10	30,5	20	4,50	8,10
9,5-5,6	0,28	2,17	6,0	1,735	0,445	2,015	2,0	10	25,0	20	3,10	3,80

Примечание: Д-d – диаметры основной и дополнительной насадок; Н – напор на выходе струи; q – расход воды;

h_n – средняя высота подъема струи над полем; d_k – средний диаметр капель дождя; ρ_c , ρ_m – средняя и мгновенная интенсивность дождя; n – частота вращения аппарата; α – угол между направлением ветра и трубопроводом машины; t, φ – температура и относительная влажность воздуха; V_v – скорость ветра; $E_{ис}$ – величина испарения и сноса дождя.

Из данных табл. 11 видно, что величина $E_{ис}$ при поливе отдельным аппаратом или дефлекторной насадкой увеличивается с повышением температуры воздуха и скорости ветра и уменьшается с увеличением относительной влажности воздуха. При дождевании эти факторы воздействуют одновременно, поэтому важно выяснить, как изменяется величина $E_{ис}$ от комплексного показателя напряженности климата Φ , который предложил В.Е. Хабаров (1982):

$$\Phi = t \cdot \left(1 - \frac{\phi}{100}\right) \cdot (V_u + 1), \quad (24)$$

где t – температура воздуха, град;

ϕ – относительная влажность воздуха, %;

V_u – скорость ветра, м/с.

Из рис. 13, построенного по данным А.П. Клепальского, видно, что при увеличении напряженности климата (Φ) величина $E_{ис}$ дождя при поливе имитационными установками с дождевальными насадками АДП-350 и аппаратами ДКШ-64 увеличивается и достигает соответственно 45 и 35% при $\Phi = 60-80$.

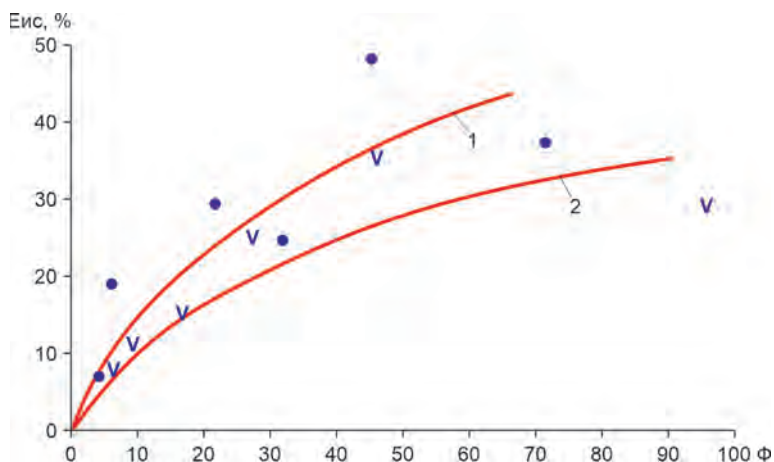


Рис. 13. Зависимость величины испарения и сноса дождя ветром ($E_{ис}$) от напряженности климата (Φ) при поливе дождевальными установками АДП-350 (1) и «Волжанка» (2)

Аналогичный характер имеют зависимости $E_{ис}$ от Φ при поливе дефлекторными насадками, средне- и дальнеструйными аппаратами (данные М.С. Мансурова), аппаратами «Фрегат» (данные «ВолжНИИГиМ», см. табл. 11).

При поливе дождевальными машинами величина $E_{ис}$ зависит от направления ветра относительно трубопровода машины: если оно перпендикулярно оси трубопровода, то величина $E_{ис}$ максимальная, а при направлении ветра вдоль трубопровода – минимальная. Для оценки влияния на величину направления ветра вдоль трубопровода введем коэффициент K_a . Если угол направления ветра к трубопроводу машины составляет 90 градусов ($a = 90^\circ$), то величина $E_{ис}$ максимальная, а коэффициент $K_a = 1$.

Если направление ветра вдоль трубопровода машины равно нулю ($a = 0^\circ$), то величина $E_{ис}$ минимальная и величина коэффициента K_a снижается. Его значения зависят от типа дождевальных машин: для широкозахватных машин типов «Фрегат», «Волжанка», «Днепр», у которых зона захвата дождем достигает 400-500 м, величина K_a снижается до 0,2-0,3, у двухконсольных агрегатов типа ДДА-100МА зона захвата дождем составляет 120 м и по данным В.А. Кван (1985) коэффициент K_a при $a = 0$ уменьшается до 0,85.

Зависимость коэффициентов K_a от величины угла между направлением ветра и трубопроводом машины описывается следующими уравнениями:

для дождевальных машин «Фрегат», «Волжанка», «Днепр»:

$$K_a = 1 - 0,009 \cdot (90 - a); \quad (25)$$

для ДДА-100 МА:

$$K_a = 1 - 0,0017 \cdot (90 - a). \quad (26)$$

Для каждой машины величина $E_{ис}$ определяется конструктивными, технологическими и метеорологическими параметрами, а также направлением ветра относительно оси трубопровода.

Обработкой опытных данных на ЭВМ получено уравнение для расчета величины испарения и сноса дождя $E_{ис}$ при дождевании оди-
ночным дождевальным аппаратом, насадкой или машиной:

$$E = 1,22 \frac{h^{0,6} \cdot (n+1)^{0,08}}{d^{0,6} \cdot \rho_c^{0,2} \cdot \rho_m^{0,1}} \cdot \left[T \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100} \right) \cdot (V+1) \right]^{0,5} \cdot K_\alpha, \quad (27)$$

где h – высота подъема капель дождя над почвой, м;

n – частота вращения аппарата, мин⁻¹;

d_k – средний диаметр капель, мм;

ρ_c, ρ_m – средняя и мгновенная интенсивность дождя, мм/мин;

T – температура воздуха, град;

φ – относительная влажность воздуха, %;

V – скорость ветра, м/с;

K_α – коэффициент, учитывающий изменение величины испарения и сноса дождя в зависимости от величины угла между трубопроводом машины и направлением ветра.

Исследования показывают, что величина $E_{ис}$ модернизированных аппаратов при средних метеоусловий для Саратовской области (температура воздуха – 17,4°C, относительная влажность воздуха – 59%, скорость ветра – 3,8 м/с) понижается в начале машины на 30-40%, а по машине – в среднем на 16% (табл. 12). Достигнуто это благодаря уменьшению угла наклона малорасходных струй до 15° к горизонту и величины подъема над поверхностью поля, а также изменением степени распыла струй (снижение отношения Н/Д с 0,06-0,12 до 0,03-0,05 МПа/мм) и средней и мгновенной интенсивности дождя.

Применение на ДМ «Фрегат» дефлекторных насадок уменьшает высоту подъема дождевого облака с 5,6-8,0 м (у серийных аппаратов «Фрегат») до 3,2-3,6 м, повышает среднюю интенсивность дождя, одновременно снижая его мгновенную интенсивность и крупность капель.

Величина потерь воды на испарение и снос при поливе ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками изменяется вдоль трубопровода машины в пределах 14,1-9,3% (в среднем на 11,7% при средних метеорологических условиях Саратовской области), что несколько меньше, чем при поливе среднеструйными аппаратами, средняя величина испарения которых составляет 15,6% (табл. 12, рис. 14). В основном это связано с уменьшением высоты подъема дождевого облака с 5,6-8,0 до 3,2-3,6 м.

Таблица 12

**Величина испарения и сноса дождя при поливе
серийными и модернизированными аппаратами ДМ «Фрегат»**

q, л/с	Тип аппарата	Д-d, мм	H, МПа	θ, град.	h _с , м	d _к , мм	ρ _с , мм/мин	ρ _м , мм/мин	E _{ис} , %	E _{ис} *, %
0,192	1м	3,2	0,307	27	4,1	0,86	0,091	1,545	37,2	22,3
	1м	3,6	0,197	27	4,5	1,24	0,070	1,760	23,0	13,8
	1м	3,6	0,197	15	2,1	1,25	0,072	1,893	21,4	12,8
0,415	2с	3,6-2,4	0,432	27-27	5,6	0,70	0,112	1,525	35,7	21,4
	2м	4,8	0,285	15	3,5	1,21	0,106	1,995	20,5	12,3
	2м	3,6-3,2	0,230	27-15	4,7	1,10	0,128	1,930	23,1	13,9
	ДН	6	0,144	20	3,2	0,67	0,216	0,24	23,6	14,1
0,480	2с	4,3-2,4	0,344	27-27	5,5	0,92	0,117	1,618	29,5	17,7
	2м	4,8	0,380	15	3,8	1,02	0,114	1,897	23,3	14,0
1,790	3с	5,6-7,1	0,483	27-27	7,4	1,0	0,276	1,921	25,3	15,1
	3м	7,1-5,6	0,483	27-15	6,2	1,0	0,276	1,922	25,0	15,0
	ДН	12	0,168	20	3,4	0,87	0,565	0,378	18,1	10,2
2,420	3с	5,6-9,5	0,448	27-27	7,7	1,24	0,311	2,050	21,8	13,1
	3м	9,5-5,6	0,448	27-15	7,0	1,05	0,311	1,570	22,0	13,2
2,650	4с	9,6-5,6	0,437	27-27	7,7	1,25	0,344	2,175	21,1	12,6
	4м	9,5-5,6	0,437	27-15	7,0	1,1	0,344	1,60	22,0	13,0
3,780	4с	11,9-5,6	0,420	27-27	8,0	1,57	0,433	2,60	17,3	10,4
	4м	11,9-5,6	0,420	27-27	7,5	1,25	0,433	1,80	18,5	11,1
	4м	9,5-9,0	0,420	27-27	7,7	1,35	0,490	2,460	17,0	10,2
	4м	9,5-9,0	0,420	27-27	7,7	1,17	0,490	1,750	17,5	10,5
	4м	9,5-5,6-5,1-5,1	0,420	27-27	7,3	1,21	0,490	2,190	17,2	10,3
	ДН	16	0,237	20	3,6	0,87	0,874	0,429	15,6	9,3

Примечание: q – расход воды аппаратом; Д-d – диаметр основной и дополнительной насадки; H – напор на выходе струи; θ – угол наклона струи к горизонту; h_с – средневзвешенная высота подъема струи; d_к – средний диаметр капель дождя; ρ_с, ρ_м – средняя и мгновенная интенсивность дождя; E_{ис}, E_{ис} * – величина испарения и сноса дождя (температура – 17,4°C, относительная влажность воздуха – 59%; скорость ветра – 3,8 м/с; угол между направлением ветра и трубопроводом машины – 90 и 45°).

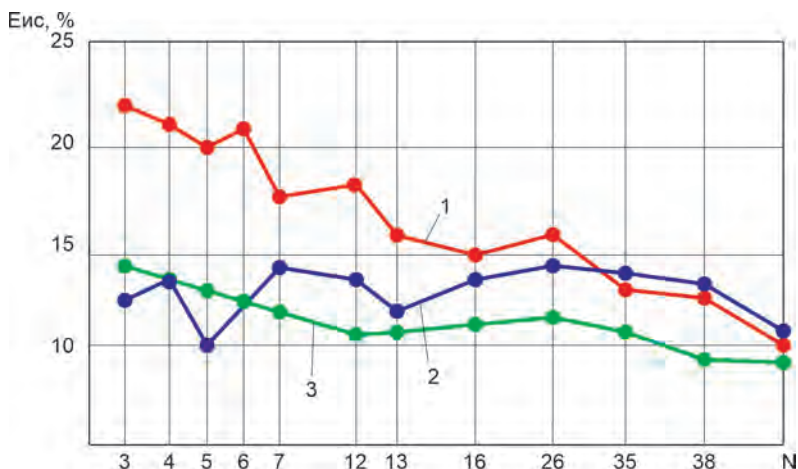


Рис. 14. Экспериментальная зависимость величины испарения и сноса дождя ($E_{ис}$) вдоль трубопровода машины «Фрегат» с серийными (1) и модернизированными (2) аппаратами и дефлекторными насадками (3); N – номер дождевателя на машине

8. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ УСТРОЙСТВ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ДОЖДЕВАНИЯ ДЛЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН И ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

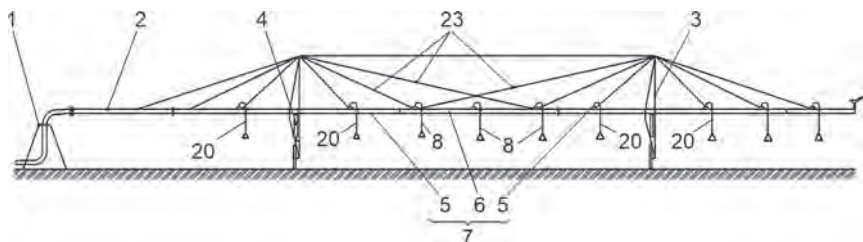
Одним из направлений улучшения агротехнических показателей полива многоопорных дождевальной машины является использование устройств приповерхностного дождевания (УПД). Первые работы в этом направлении были выполнены «КазНИИВХ», «ТуркНИИЗ», Киргизской ОМС, «ВолжНИИГиМ» под руководством Н.Е. Чубикова (1969-1977) на базе двухконсольных агрегатов ДДА-100М, ДДА-100МА.

За период с 1978 по 2002 г. в «ВолжНИИГиМ» разработан ряд конструкций УПД для дождевальных машин типов «Фрегат», «Кубань-М», «Кубань-ЛК». Аналогичные разработки для много-

опорных машин проводились во «ВНИИМитП», США, Австрии и других странах.

Зарубежные конструкции УПД (США) примерно одинаковые, представляют собой вертикальный рукав, на нижнем конце которого установлена короткоструйная насадка. Основным недостатком конструкции данного типа УПД – отсутствие регулировки высоты расположения дождевателя над почвой. Дождеватели устанавливаются ниже трубопровода машины (обычно на постоянной высоте 1,8-2 м от почвы), что способствует сносу дождевого облака и снижению равномерности полива в стеблестое.

Анализ работы дождевателей и УПД указывает на необходимость их совершенствования. На рис. 15 представлена схема дождевальной машины (патент № 197334) с усовершенствованными УПД. Она состоит из неподвижной опоры 1, трубопровода 2, смонтированного на тележках 3 с гидроприводами 4. Трубопровод имеет крайние и центральные трубы 5, 6, образующие между тележками пролеты 7.



*Рис. 15. Схема дождевальной машины
с усовершенствованными устройствами
приповерхностного дождевания*

На средней части пролётов выполнены устройства приповерхностного дождевания 8 в виде напорного рукава 9, верхний конец которого закреплен на патрубке 10 труб 6, а на нижнем его конце установлена труба 11 с жестким фиксатором 12, который крепится крючками 13 к горизонтальному тросу 14, расположенному на расстоянии 1,5 м от оси трубы 6 (рис. 16а). На нижнем конце трубы 11 смонтированы короткий рукав 15 с трубкой 16 и дождевальными насадками 17, 24 контурного полива. Между трубкой 16 и тру-

бой 11 установлен регулятор 19 вертикального положения дождевальной насадки, которая обеспечивает круговой полив.

На крайних трубах 5 пролетов в районе тележек монтируются устройства приповерхностного дождевания 20, выполненные в виде напорного рукава, верхний конец которого закреплен на патрубке труб 5, а на нижнем конце напорного рукава установлена труба 11 с жестким кронштейном 21 и тросоцепочным фиксатором 22, закрепленным на вертикальном тросе 23 (рис. 16б).

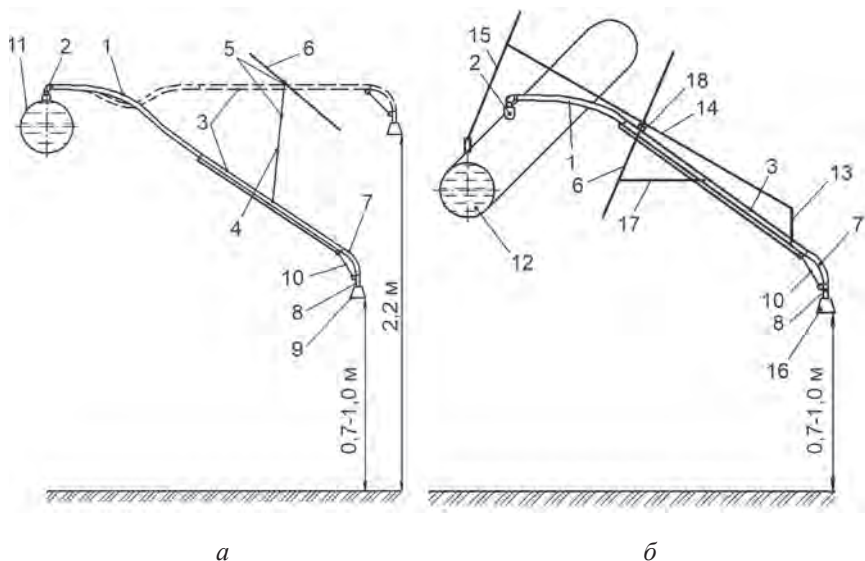
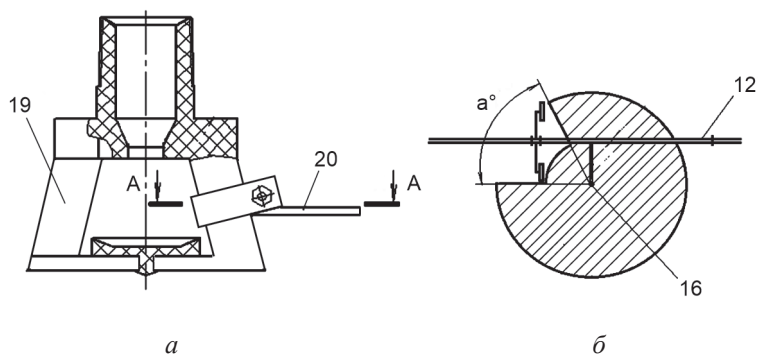


Рис. 16. Устройства приповерхностного дождевания:
а – в центральной части пролета; б – в районе тележки

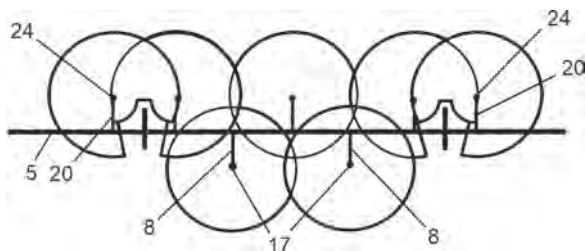
Труба 11 снабжена ограничителем 25 её разворота в горизонтальной плоскости. В начале трубы установлен зацеп 26, который крепится к горизонтальному тросу, расположенному на расстоянии 0,5 м от оси трубы 5. На ножке 19 дождевальной насадки 16 (рис. 17а) смонтирована отражательная пластина 20, снижающая угол вылета струи с 30 до 5-20° в зависимости от расхода воды в зоне угла полива $\alpha = 60^\circ$ и обеспечивающая контурный полив (рис. 17б).



*Рис. 17. Дождевальная насадка:
а – контурного полива; б – схема её полива*

При изменении длины жесткого фиксатора регулируется высота установки дождевальной насадки 17 от поверхности почвы – от 1,2 до 2,5 м, а при изменении длины тросоцепочного фиксатора 22 – дождевальной насадки 24 – от 1,2 до 2,5 м. При изменении высоты расположения дождевальной насадки 24 от поверхности почвы расстояние от оси трубопровода 2 увеличивается от 2,5 до 3 м. Расстояние между дождевальными насадками 17 и 24 при шахматном расположении на пролете увеличивается до 5-6 м, при этом уменьшается интенсивность дождя.

Схема полива дождевальной машины приведена на рис. 18.



*Рис. 18. Схема полива на пролёте ДМ
с устройствами приземного полива
с дождевальными насадками кругового и контурного поливов*

Работает машина следующим образом. Вода под напором через неподвижную опору 1 поступает в трубопровод 2 и далее – в гидроприводы 4 тележек 3. Из трубопровода она направляется в устройства приповерхностного дождевания 8, 20 и распыляется по полю дождевальными насадками кругового 17 и контурного поливов 24. В районе тележек на трубопроводе на устройствах приповерхностного дождевания 20 монтируются дождевальные насадки контурного полива, которые исключают попадание дождя под колеса тележек (рис. 19, 20).

Рис. 19. Устройство приповерхностного дождевания с дождевальными насадками кругового полива в центральной части пролёта (высота установки насадки – 2 м от земли)



Рис. 20. Устройство приповерхностного дождевания в работе



Устройства приповерхностного дождевания обеспечивают несложное регулирование высоты установки дождевателей от 1,2 до 2,5 м по мере роста высокостебельных сельскохозяйственных куль-

тур путем монтажа кронштейна 9 с переходником на патрубок 10 с фиксатором 11. В районе тележек и во второй половине машины устройства приповерхностного дождевания 6 обеспечивают регулирование высоты установки дождевателей путем монтажа кронштейна с переходником 13 и секторной насадкой 14 на патрубок с фиксатором.

Использование в районе тележек дождевальных насадок контурного полива способствует увеличению площади полива и снижению интенсивности дождя, повышая норму полива до стока и его качество. Данные насадки не допускают попадание дождя под колеса тележек, снижая глубину колеи, исключая буксование тележек и улучшая эксплуатацию машин. Гибкий рукав позволяет оператору легко очищать насадки и фильтр от мусора даже при работающей машине. Вертикальное положение насадок обеспечивается за счёт металлического переходника 8, что исключает применение дополнительного груза на насадке.

Устройства приповерхностного дождевания обеспечивают несложное регулирование высоты установки дождевателей от 0,8 до 2,5 м по мере роста высокостебельных сельскохозяйственных культур, снижая при этом вероятность засорения мусором дождевальных насадок и обеспечивая равномерность полива. Уменьшение высоты подъёма дождевого облака сокращает потери воды на испарение и снос, повышает равномерность полива при ветре.

Для улучшения качественных показателей полива в «ВолжНИИГиМ» разработана ДМ ферменной конструкции, которая состоит из неподвижной опоры 1, ферменных пролетов 2, включающих в себя трубы 3, раскосы 4 и шпренгели 5. Пролёты монтируются на тележки 6 с колесами 7 (рис. 21, 22).

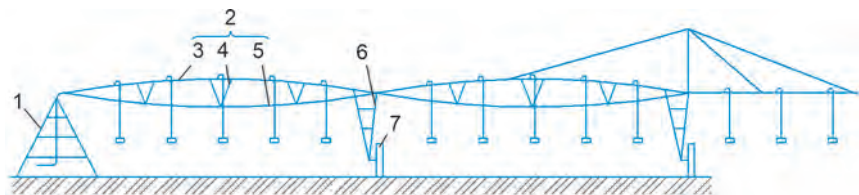


Рис. 21. Общая схема дождевальной машины ферменной конструкции

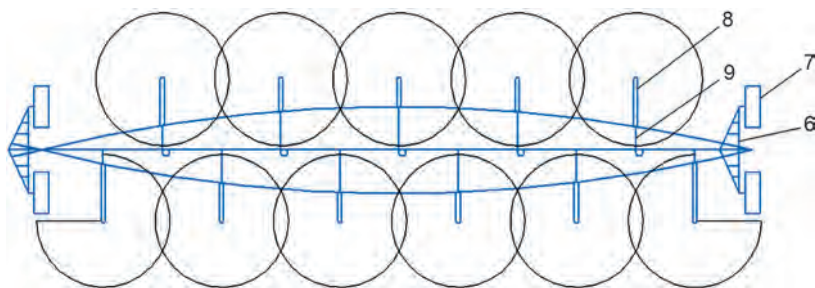


Рис. 22. Схема полива дождевальными насадками на пролёте машины

Устройство приповерхностного дождевания в средней части пролёта включает в себя напорный рукав 9, соединенный со стальными трубами 3, 8, верхний конец трубы 8 монтируется на шпренгеле 5, а на нижнем конце через короткий напорный рукав 12 устанавливается переходник 13 с дефлекторной насадкой 14 (рис. 23а).

Высота установки дефлекторной насадки регулируется по мере роста сельскохозяйственных культур – от 1,5 до 3,2 м и более, что обеспечивает нахождение дождевого облака всегда выше растений, равномерность полива, небольшие потери воды на испарение и снос ветром, так как его скорость тем меньше, чем ближе дождевое облако к поверхности растений или почвы (рис. 23б).

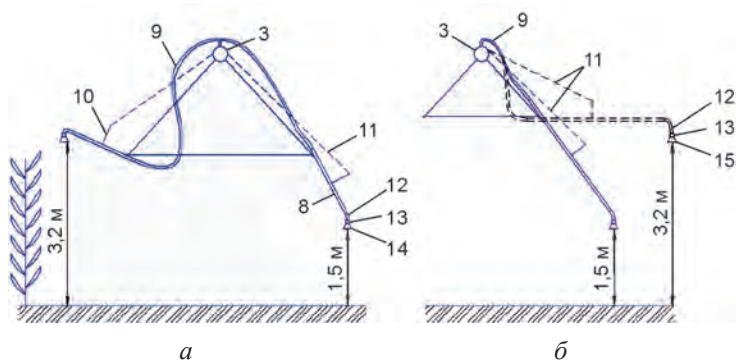


Рис. 23. Устройство приповерхностного дождевания:
а – в центральной части машины; б – в районе тележки

Для регулирования высоты установки дождевальных насадок используют кронштейн 10 и тросцепочный фиксатор 11, а вертикальное положение дождевальных насадок 14 регулируется изменением фиксатора 16. Длина металлической трубы 8 изменяется от 1 м в центре ферменного пролёта до 2,5 м на его краях.

Расстояние между насадками перпендикулярно трубопроводу увеличивается до 6 м, при этом средняя интенсивность дождя в средней и концевой частях машины уменьшается с 0,6-1,4 до 0,3-0,7 мм/мин. Дефлекторные насадки формируют мелкокапельный дождь, который изменяется вдоль трубопровода от 0,5 до 0,9 мм.

Дождевальные насадки с вращающимися дефлекторами

В «ВолжНИИГиМ» ведутся разработки и исследования дождевальных насадок с многоструйными дефлекторами: вращающемся на ножке (рис. 24а), а также смонтированном на стойках (рис. 24б); двухструйным (рис. 24в).



а



б



в

*Рис. 24. Дождевальные насадки с многоструйными дефлекторами:
а – вращающемся на ножке; б – смонтированном на стойках;
в – двухструйным дефлектором*

Данные дождеватели при меньшей стоимости обеспечивают агротехнические показатели полива на уровне зарубежных, их планируется использовать как на трубопроводе, так и на УПД на многоопорных дождевальных машинах и полосовых дождевателях российского производства.

9. УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЧЕСТВА ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

Урожайность сельскохозяйственных культур на отдельных участках поля вдоль трубопровода дождевальных машин кругового действия при одинаковых условиях возделывания (срок сева, тип и механический состав почвы, система ее обработки, количество вносимых удобрений, срок и кратность полива, световые и климатические условия) в основном определяется количеством оросительной воды, поступившей за вегетационный период, качеством полива (его равномерность), и нормой полива до стока (интенсивность и крупность капель, мощность дождя и др.) и рельефом поля.

В табл. 13 приведены данные распределения урожайности (в процентах) вдоль трубопровода машины «Фрегат» при возделывании различных сельскохозяйственных культур (100% – средняя урожайность вдоль всего трубопровода).

Таблица 13

Относительная урожайность вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с неотрегулированными аппаратами

Хозяйство, номер машины	№ створа	Культура	Относительная урожайность вдоль трубопровода машины, %		
			начало	середина	конец
Колхоз «Победа» Марковского райо- на, ДМ № 67	1	Кукуруза на силос	37,7	107,5	94,8
	2		76,7	130,9	92,2
	3		125,5	95,8	78,8
	4		66,2	148,7	84,8
Колхоз «Победа» ДМ № 72	1	Кукуруза на силос	89,5	100,3	110,2
	2		92,0	109,2	98,7
	3		87,0	124,2	88,4
Колхоз им. 22 Парт- съезда Марковского района	1-6	Люцерна на зеле- ный корм	101,8	100,0	96,2
Колхоз им. 19 Парт- съезда Энгельсского района	1-4	Кукуруза на силос	101,7	102,4	95,7
	1-6	Соя	109,8	90,2	99,8
Среднее			97,1	108,6	93,4

Машины «Фрегат» с неотрегулированными аппаратами характеризуются разбросом урожайности (от 37,6 до 148%) и ее снижением как на участках недополива и большой мощности дождя (конец трубопровода), так и на участках переполива (обычно – начало трубопровода).

Так, у машины «Фрегат» с неотрегулированными аппаратами (АО «Энгельское») на участках полива аппаратов № 4, 5 (дождь большой мощности) урожайность озимой пшеницы составила 10,6-18,0 ц /га, а в зоне полива мелкокапельных аппаратов № 2, 3 – 26,9-27,7 ц/га.

На участках поля отмечаются различия в морфологических показателях растений (табл. 14, 15).

Таблица 14

**Урожайность озимой пшеницы и структура урожая
вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» в зависимости от типа аппарата
(ровный участок, АО «Энгельское»)**

Тип аппарата	Номер тележки	Средняя длина растения, см	Число		Масса, г		Урожайность, ц/га
			растений на 0,25 м ²	колосков	растений	зерна	
2	2-3	40,0	125,0	118,0	109,2	69,2	27,6
3	9-10	43,5	150,0	125,0	106,2	67,2	26,9
3	12-13	42,8	153,0	135,0	74,3	51,6	20,6
3	15-к	-	163,0	149,0	92,9	52,4	20,9
4	14-15	28,6	-	-	106,9	54,3	21,7
4	15	-	152,0	137,0	95,4	45,2	18,1
5	к	-	114,0	96,0	82,3	44,6	17,8
5	к	61,4	-	-	44,5	26,0	10,4
СГ		33,5	-	-	78,0	42,0	16,8
Богара		56,8	92,0	82,0	61,8	37,6	15,1

Примечание. к – консоль машины, СГ – зона слива из гидроцилиндра.

Таблица 15

**Урожайность ячменя и структура урожая вдоль ДМ «Фрегат»
в зависимости от типа аппарата
и рельефа поля (АО «Энгельское»)**

Тип аппарата	№ тележки	Средняя длина растений, см	Число на 0,25 м ²		Масса на 0,25 м ² зерна, г	Урожайность, т/га	Характер рельефа поля
			растений	коло-сьев			
2	5-6	39,0	151	106	41,7	1,67	Уклон небольшой
3	11-12	36,9	192	187	32,8	1,31	Ровный
3	12-13	45,8	68	57	24,4	0,98	Уклон незначительный
3	14-12	35,3	95	66	21,6	0,86	Уклон
4	14-15	35,8	113	94	22,9	0,92	Понижение
4	14-15	31,1	79	49	12,8	0,54	Уклон незначительный
4	15-к	29,6	65	41	15,9	0,64	Уклон значительный
5	15-к	22,2	110	44	7,8	0,32	Уклон значительный

Примечание. к – консоль дождевальной машины «Фрегат».

Урожайность ячменя в зоне полива аппаратов № 4, 5 снижается в 2-4 раза по сравнению с участками поля, где поливают аппараты № 2. Объясняется это тем, что в результате большой мощности дождя, создаваемого аппаратами № 4, 5, на участках поля с уклонами происходят сток воды и эрозия почвы.

В табл. 16 показано изменение урожайности ячменя и кукурузы на силос в АО «Ленинское» Энгельского района .

Таблица 16

**Урожайность кукурузы на силос вдоль ДМ «Фрегат»
в зависимости от нормы полива и типа аппарата (АО «Ленинское»)**

№ за- мера	Место замера	Тип аппарата	Диаметр насадки, мм	Норма полива, мм	Ороситель- ная норма за сезон, мм	Урожай- ность, т/га
1	5 м от Т2	2	5,6	14,1	99,0	48,5
2	6 м от Т3	2	3,6-2,4	19,0	133,1	53,0
3	10 м от Т4	2	5,6-3,2	13,7	96,0	42,5
4	5 м от Т5	2	7,0-2,4	30,0	210,0	58,5
5	15 м от Т5	2	5,1-3,2	27,4	192,0	66,0
6	6 м от Т6	3	7,1-5,6	21,5	150,0	50,7
7	4 м от Т7	3	8,7-5,6	11,3	79,5	42,5
8	2 м от Т10	3	9,5-5,6	20,6	137,2	55,4
9	3 м от Т12	4	10,3-5,6	18,0	126,2	58,0
10	15 м от Т13	4	11,1-5,6	16,4	115,3	51,0
11	2 м от Т14	4	11,1-5,6	55,0	385,0	53,0

Примечание. Т2 – номер тележки; замер № 7 – аппарат № 3 не вращается; замер № 11 – в результате разрыва прокладки во фланце трубопровода происходят значительная подача поливной воды и размыв почвы.

Результаты замеров (см. табл. 16) показывают уменьшение урожайности на участках поля, где оросительная норма снижена в результате недополива, а также на участках поля, где аппаратами «Фрегат» № 4 выдается большая оросительная норма и мощность дождя высокая.

Обработкой опытных данных по яровой пшенице установлено уравнение для расчета прибавки Y и коэффициента урожайности K_y в зависимости от характера дождя:

$$Y = Y_0 + Y_m \cdot K_y, \quad (28)$$

$$K_y = \left(1 - 0,0625 \cdot \left[4 \left(1 - \frac{M_i}{M_0} \right) \right]^2 \right) \cdot (0,7 + 0,3 \cdot e^{-4N}) \cdot (1,04 - 0,00875 \cdot KB), \quad (29)$$

где U – урожайность, полученная при определенном характере дождя, ц/га;

U_o, U_m – урожайность на богарном участке и максимальная на орошении, ц/га;

M_i, M_o – оросительная норма на i -ом участке и оптимальная, мм;

N_i – мощность дождя на i -ом участке, Вт/м² с;

KB – коэффициент вариации слоя дождя в зоне работы основного аппарата, поливающего i -ый участок, %.

Максимальная урожайность (39-48 ц/га) получена в зоне эффективного полива при оросительной норме 300-430 мм, небольшой мощности дождя ($N = 0,06-0,08$ Вт/м²) и $KB < 15\%$.

Средняя урожайность в зоне недостаточного полива – 27,6 ц/га (снижена на 13,4 ц/га), недобор урожая составил 37,2 т, а в зоне переполива она снижена на 0,84 т/га, недобор урожая составил 11,4 т.

В зоне эффективного полива урожайность снижена на 0,34 т/га, недобор урожая достиг 8,7 т. Общий недобор урожая по неотрегулированной машине – 57,3, т, или 20,6%.

10. СНИЖЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПОДКАЧИВАЮЩИХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА

Одним из важнейших направлений в современном сельскохозяйственном водоснабжении является применение энерго- и водосберегающих технологий на подкачивающих насосных станциях, работающих на закрытую оросительную сеть. Насосные установки потребляют до 25% вырабатываемой в стране электроэнергии, поэтому экономия её на насосной станции является важной задачей повышения эффективности работы электрооборудования.

Для подачи воды к дождевальным машинам в Саратовской области используются подкачивающие насосные станции в основном высоконапорными насосными агрегатами марок Д, CVE, QVD, энергоёмкость подачи 1000 м³ воды которых даже в оптимальном режиме высокая – 400-475 кВт (табл. 17, рис. 25).

Таблица 17

**Структура насосных агрегатов и энергоемкость подачи воды
в оптимальном режиме ($N_{уд}$) на подкачивающих насосных станциях
Саратовской области**

Марка насоса	Расход воды, $м^3/ч$	Напор, м	Мощ- ность, кВт	$N_{уд}$, кВт на $1000 м^3$	Число насосов	Доля, %
Д1250-125	1250	125	630	475	152	39,1
Д1250-90	1250	90	500	385	23	5,9
Д1250-63	1250	63	315	252	8	2,0
250-CVE-460	792	103	400	450	73	18,8
250- QVD -570	900	95	400	400	43	11,1
200Д90	720	86	250	305	30	7,7
300Д90	1080	90	320	300	31	7,8
200Д60	720	89	250	305	4	1,0
Грундфос	972	64	250	240	13	3,3
Прочие (СНП, ЦН)	360	100	160	380	11	2,8
Всего					388	100

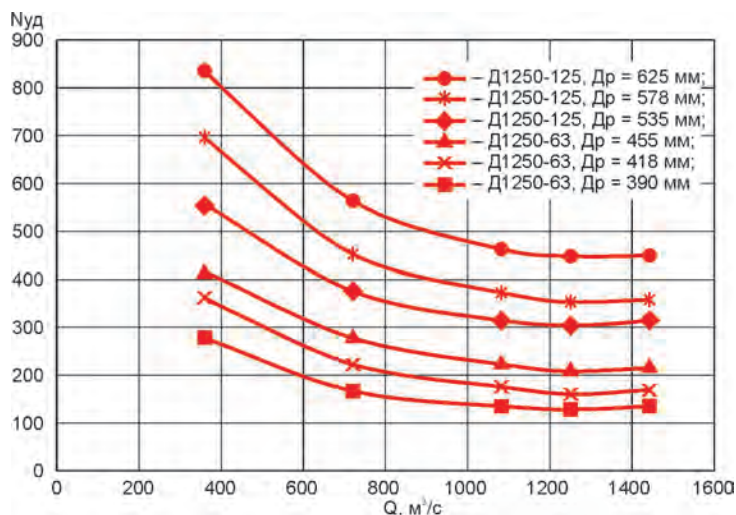


Рис. 25. Изменение удельных затрат электроэнергии на подачу воды в зависимости от типа насоса и диаметра рабочего колеса

Доля таких насосов очень велика – 69%. Удельная энергоёмкость подачи воды наиболее применяемых в Саратовской области насосов Д1250-125 с электродвигателем мощностью $N_{\text{э}} = 630$ кВт и 250 QVD 570-50 ($N_{\text{э}} = 400$ кВт) составляет 1,78-1,22 кВт/л/с, а в случае нерационального использования воды достигает 2,8 кВт/л/с.

Включение и отключение дождевальных машин вызывают значительные колебания давления в закрытой оросительной сети – до 1,5-2,1 МПа и часто приводят к гидравлическим ударам и порыву трубопровода.

В Саратовской области за год происходит порядка 5 тыс. порывов, что приводит к срыву сроков полива и недобору урожая. Насосные станции, построенные в 1970-1980 гг., обеспечивали работу в основном высоконапорных ДМ «Фрегат», «Днепр», «Волжанка».

В настоящее время еще есть станции, которые работают с насосами, установленными по проекту (ПНС № 2, 4 на Энгельсской ОС; НС-А, ПНС № 43, 43б, 11 на Приволжской ОС и др.). На некоторых из них проведена замена всех высоконапорных насосов низконапорными (ПНС № 21, 22, 29 – на Приволжской ОС, ПНС № 4 – на Комсомольской ОС и др.). В последние годы построены новые насосные станции с низконапорными насосами – БКНС-А, БКНС-Б, БКНС-3 (Приволжская ОС, ООО «Воскресенское», ООО «Сельхозтехника», ООО «Время-91», ООО «Студенецкое», ООО «ТД и К» и др.). Их строительство вызвано вводом в эксплуатацию новых орошаемых участков с низконапорными дождевальными машинами «Кубань», «Каскад», «Казанка» и зарубежными типов «Zimmatic», «Bauer», «Valley» и др.

В Саратовской области эксплуатируется большое количество ДМ «Фрегат» с неотрегулированными дождевателями. Это приводит к тому, что при напоре на входе машин 0,6-0,7 МПа расход воды увеличивается на 5-15 л/с. В результате на орошаемом участке нельзя обеспечить включение проектного числа одновременно работающих машин – их обычно на одну-две меньше, чем по проекту. Так, в ЗАО «Прибрежное» Энгельсского района один агрегат 200Д90 подает воду только на одну неотрегулированную ДМ «Фрегат» вместо положенных двух. В хозяйствах АО «Дружба» и ОПХ «Привольное» Ровенского района (ПНС № 12) один агрегат Д1250-125 в течение

поливного сезона подавал воду на одну-две и максимум две с половиной ДМ «Фрегат» вместо проектных трех-четырех машин. Нерациональная эксплуатация насосных агрегатов в этом случае приводит к перерасходу потребления электроэнергии и снижению их вододачи.

Перерасход электроэнергии на НС при эксплуатации наблюдается, если режим эксплуатации насосного агрегата отличается от оптимального. Например, для насосного агрегата Д1250-125 оптимальное число одновременно работающих низконапорных машин составляет три-пять, фактически в весенний и осенний периоды часто наблюдается полив всего одной или двух машин. Удельные затраты электроэнергии на подачу 1000 м³ воды при этом возрастают с 340 до 600-800 кВт·ч.

В последние годы в связи с организационно-правовыми изменениями на отдельных орошаемых участках отмечается снижение числа эксплуатирующихся дождевальных машин, а на насосных станциях продолжают использоваться мощные насосные агрегаты, рассчитанные на групповую эксплуатацию. Это приводит к нерациональной загрузке насосных агрегатов и увеличению энергопотребления. Для снижения потребления электроэнергии на полив на насосных станциях ПНС № 3 и № 14 Энгельсской ОС проведена замена одного высоконапорного агрегата Д1250-125 (мощность электродвигателя 630 кВт) насосом 200Д90 (мощность электродвигателя 250 кВт).

В Саратовской области эксплуатируется ещё большое количество ДМ «Фрегат», поэтому для снижения энергопотребления на полив необходима их модернизация на низконапорный режим работы.

11. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ НАПОРА НА ВХОДЕ ДМ «ФРЕГАТ»

Давление на гидранте серийной ДМ «Фрегат» в зависимости от модификации составляет 0,47-0,70 МПа, а на выходе насосной станции обычно поддерживается в пределах 0,9-1,2 МПа.

Энергоемкость подачи 1000 м³ воды большинства насосных станций Саратовской области, где на поливе применяются ДМ «Фрегат», составляет 330-530 кВт·ч, в то же время с ЭДМФ «Кубань» – всего 185 кВт·ч, а с ДДПА-130/140 – 82 кВт·ч.

В нашей стране первая низконапорная ДМ «Фрегат» была разработана в «ВНИИМиТП» в 1976 г. Она обеспечивала полив с расходом воды 72 л/с при давлении на входе 0,42 МПа. Техническая характеристика приведена в табл. 18. Недостатки машины – увеличение минимального времени оборота с 52 до 86 ч и недостаточный расход воды.

Таблица 18

**Техническая характеристика серийной
и низконапорных ДМ «Фрегат»**

Показатели	Серийная машина	Низконапорная машина		
		ВНИИМиТП	СтавНИИГиМ	УкрНИИГиМ
Расход воды при нулевом уклоне, л/с	72,0	72,3	72,0	72,0
Давление на входе в машину, МПа	0,57	0,42	0,38	0,38
Площадь орошения с одной позиции, га	74,9	70,0	74,9	73,3
Минимальное время одного оборота, ч	52	86	64	90
Минимальная поливная норма, мм	18,0	30,0	22,0	30,0
Число короткоструйных насадок и среднеструйных аппаратов	50	156	146	171

В 1987 г. прошла испытания низконапорная ДМ «Фрегат» конструкции «УкрНИИГиМ» с увеличенным со 122 до 153 мм диаметром гидроцилиндра. В 1991 г. испытана низконапорная ДМ «Фре-

гат» конструкции «СтавНИИГиМ», у которой вдоль основного трубопровода прокладывался дополнительный пластмассовый трубопровод $\varnothing$ 50 мм. При этом конструкция машины усложнялась, в дополнительном трубопроводе возникали значительные колебания давления, надежность насадок грибкового типа была недостаточна.

Широкое внедрение низконапорных ДМ «Фрегат» сдерживается недостаточным расходом воды, значительным увеличением числа дождевальных аппаратов, насадок и временем на проведение полива, сложностью повышения скорости машины, а также ненадлежащей проработкой этого вопроса при групповой эксплуатации большого числа одновременно работающих машин.

Для перевода ДМ «Фрегат» на энергосберегающий режим работы предлагается использовать полиэтиленовый трубопровод, который прокладывался параллельно основному стальному (патент № 180447). Дождевальная машина состоит из неподвижной опоры 1, самоходных тележек 2 с гидроприводами 3, основного стального трубопровода 4 и дополнительного полиэтиленового 5. Полиэтиленовый трубопровод обеспечивает подачу воды на гидроприводы тележек с помощью седелок 6 (рис. 26).

В поворотное колено 7 неподвижной опоры монтируется дисковый затвор 8. Подача воды в полиэтиленовый трубопровод осуществляется через фильтр тонкой очистки 9, установленный в поворотном колене. Для полива используются устройства приповерхностного полива 10 с дождевальными насадками 11 типа «обратный конус». Между фильтром тонкой очистки и полиэтиленовым трубопроводом размещен диафрагменный клапан 12, который гидроканалом 13 соединен с клапаном управления 14, а гидроканалом 15 через тройник 16 – с трубкой гидрозащиты 17. Противоаварийная защита 18, установленная на последней тележке машины, трубкой гидрозащиты соединена с исполнительным клапаном 19 регуляторов скорости и через тройник и регулирующий кран 20 – с верхней платой реле 21, которое смонтировано на гидрозадвижке 22. Расчеты позволили определить давление на входе ДМ «Фрегат» в зависимости от модификации и диаметра полиэтиленового трубопровода при средней цикличности последней тележки (4 ход/мин) (табл. 19).

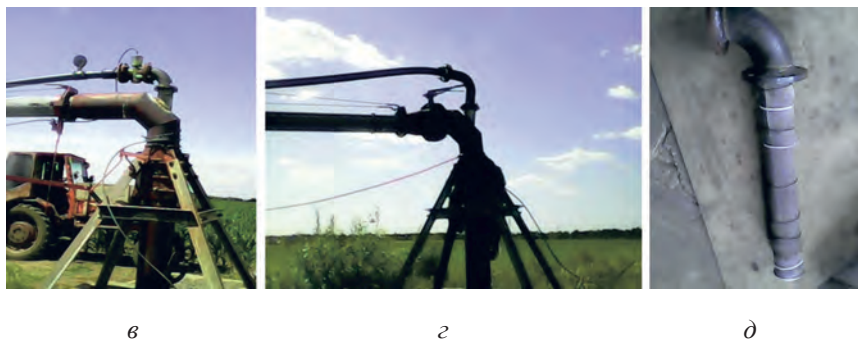
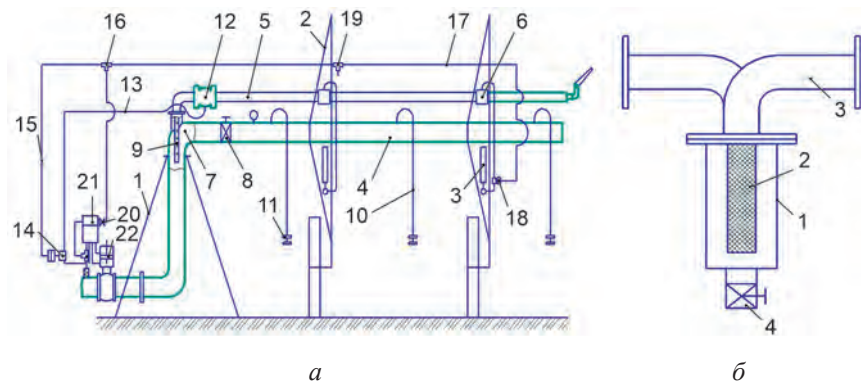


Рис. 26. Схема:

а – энергосберегающая ДМ «Фрегат»; *б* – фильтр тонкой очистки;
в, г, д – дополнительные узлы очистки воды,
 монтируемые на неподвижной опоре

Таблица 19

**Требуемое давление на входе ДМ «Фрегат» в зависимости
 от её модификации и диаметра полиэтиленового трубопровода**

Число опор	12	13	14	15	16
Расход воды, л/с	65	75	80	90	90
Давление на входе, МПа:					
при Ø 63 мм	0,37	0,38	0,40	0,42	0,43
при Ø 75 мм	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37

Преимущества предлагаемой дождевальной машины с дополнительным полиэтиленовым трубопроводом: обеспечивает низконапорный режим работы (0,37-0,43 МПа вместо 0,53-0,69 МПа), технические характеристики серийных дождевальных машин «Фрегат» (время оборота, норма полива и др.), а также может увеличивать площадь полива концевым дождевальным аппаратом.

При увеличении нормы полива до $350 \text{ м}^3/\text{га}$ цикличность гидроцилиндра последней тележки сокращается до 3-3,5 ход/мин, потери напора по длине полиэтиленового трубопровода $\varnothing 63 \text{ мм}$ снижаются до 4-8 м в. ст., что позволяет уменьшить давление на входе в машину для 13-16 опорных до 0,34-0,4 МПа, а при поливе люцерны и других многолетних трав – до 0,32-0,34 МПа.

Для увеличения скорости движения энергосберегающих ДМ «Фрегат», в том числе и с увеличенными диаметрами гидроцилиндров (152 мм), проведена модернизация – напорные рукава с внутренним диаметром 18 мм заменены на 25 мм, внутренний диаметр штуцеров и выходное отверстие фильтра увеличены с 12 до 20 мм, применен кран-задатчик скорости с Ду-20, а регулирующей клапан ДМ-06.240 снабжен клапаном без направляющих (рис. 27, патент № 205812), что повышает пропуск воды.

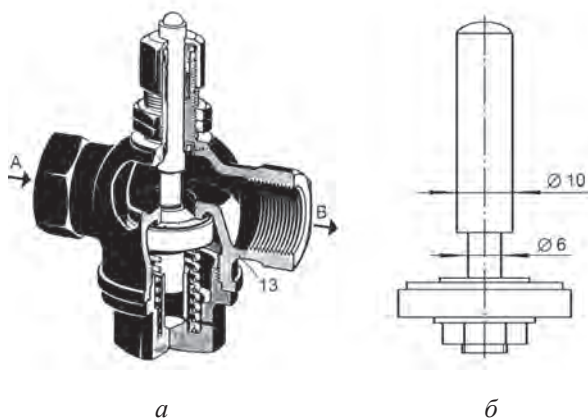


Рис. 27. Схема:

а – клапан регулирующий в сборе; б – модернизированный шток

Использование таких ДМ «Фрегат» на ПНС № 22 и НС-А показывает, что увеличение диаметра напорного рукава и расхода воды через регулирующий клапан снижает потери напора и повышает цикличность гидроцилиндров Ø 152 мм при $P_{\text{вх}} = 0,38$ МПа с 3,17 до 3,64 ход/мин, или на 15%.

Внедрение в ООО «Наше дело» 10 энергосберегающих ДМ «Фрегат» с дополнительным полиэтиленовым трубопроводом при групповой эксплуатации на ПНС № 2 со стандартными насосами Д1250-125, работающими на близком к оптимальному режиму, позволило увеличить число одновременно работающих машин с 7-8 до 10-12 от двух агрегатов и до 15 машин с тремя агрегатами (табл. 20), а также снизить цикл полива орошаемого участка площадью 947 га с 20 машинами с 16-18 до 11-12 дней при работе двух агрегатов и до 8-6,5 дней при работе трех.

Таблица 20

**Характеристики работы насосной станции НС-2
и насосных агрегатов (НА) до и после модернизации ДМ «Фрегат»
на низконапорный режим работы в ООО «Наше дело»**

Год	Показатели эксплуатации насосной станции и энергосберегающих ДМ «Фрегат»				
	продолжи- тельность полива орошаемого участка, дни	число		максималь- ный расход воды НС, л/с	максималь- ная суточная выработка ДМ, га
		часов, от- работанных агрегатами за полив участка	одновремен- но работаю- щих ДМ от НА		
2015*	16-18	462	7-8 от 2 НА	600-650	56-60
2016	11-12	370	10-11 от 2 НА	680-720	75-80
2017	10	347	10-11 от 2 НА	680-720	75-80
	6,5-7	297-299	14-15 от 3 НА	900-1116	110-140
2018	10	344	10-11 от 2 НА	680-720	75-80
	6,7-8	267-271	14-15 от 3 НА	900-1116	110-130

* В 2015 г. все ДМ «Фрегат» работали при серийном напоре.

При этом расход воды насосной станции повышается с 600-650 до 680-720 л/с при работе двух агрегатов и до 900-1116 л/с – трех, произ-

водительность машин в сутки – с 50-60 до 75-80 га от двух агрегатов и до 90-140 га – трех; снижаются давление на выходе насосной станции с 1,0-1,2 до 0,7-0,9 МПа и динамические нагрузки на трубопровод закрытой оросительной сети, удельное потребление электроэнергии на подачу 1000 м³ воды – с 470-600 до 448-470 кВт·ч; обеспечивается годовая экономия электроэнергии на полив 1,04-1,24 млн руб.

Перерасход электроэнергии до модернизации наблюдался в ООО «Березовское», где насосный агрегат 200Д 90 с расходом воды 250 л/с обеспечивает поочередную её подачу на одну или две ДМ «Фрегат» с расходом воды 90 л/с.

При работе двух и одной ДМ «Фрегат» расход воды насосного агрегата составлял 180 и 90 л/с, соответственно давление на насосной станции поднималось до 0,85 и 0,95 МПа, КПД насоса снижался до 0,8 и 0,6, а удельное потребление электроэнергии на подачу 1000 м³ воды достигло 324 и 389 кВт·ч. Снижение потребления электроэнергии обеспечено при одновременной работе трех ДМ «Фрегат», которые были настроены на расход воды 80 л/с согласно измененной карте настройки дождевателей. При оптимальном режиме работы насосного агрегата потребление электроэнергии на подачу 1000 м³ воды сокращается с 389 или 324 кВт до 266 кВт, или на 31,3 и 17,6% соответственно, а время полива орошаемого участка – со 184,8 до 100 ч, или в 1,8 раз. Одновременная работа трех машин обеспечит годовую экономию электроэнергии за пять поливов на насосной станции ($47775 \times 5,62 = 268495$ руб.), или более 268 тыс. руб.

Модернизация ДМ «Фрегат» № 4 на низконапорный режим работы и регулировка расхода воды в ООО «Росагро Заволжье» позволили проводить полив четырём машинам (ДМ «Фрегат» № 4, 10, «Т-Л», «Bauer») от насосного агрегата Д 1250-125 с электродвигателем мощностью 500 кВт. До модернизации на орошаемом участке данный агрегат обеспечивал одновременный полив только трем машинам. Рабочее давление на насосной станции снижено с 1,1 до 0,9 МПа благодаря подключению большего числа машин и регулировке расхода воды на ДМ «Фрегат» № 4.

Удельные затраты электроэнергии на 1000 м³ воды снизились с 466 до 370 кВт·ч (на 26,6%), повысилась дневная выработка операторов, обеспечена своевременность поливов.

В ОПХ «Красный боец» для снижения потребления электроэнергии на НС № 28 Ершовской ОС в качестве разменных использованы два насоса 150-CVE-350, которые обеспечивали подачу воды на одну или две 12-опорные ДМ «Фрегат», при этом затраты электроэнергии снизились с 722 и 452 кВт·ч до 352 кВт·ч, или в 1,6-2,6 раз, а основной насос 250-QVD-570 включался при одновременном поливе от трех до пяти машин, затраты электроэнергии при этом находились в оптимальных пределах – 352-463 кВт·ч.

В ОПХ «ВолжНИИГиМ» на оросительной системе для максимального использования площади полива применялись ДМ «Фрегат» нескольких модификаций (4, -6, -9, -10, -12 и 16-опорные с различным расходом воды). Для экономии электроэнергии на насосной станции использовались разнотипные насосные агрегаты: один – СПС 100/100, по два – СПС-70/80 и СПС- 200/50 (табл. 21).

Таблица 21

**Эффективность регулировки расхода воды ДМ «Фрегат»
для энергосбережения на поливе в ОПХ ВолжНИИГиМ**

Тип насосного агрегата (число)	Работающие ДМ «Фрегат», хозяй- ственный №	Q, л/с	P _{нс} , МПа	P _{дм} , МПа	N _{уд} , кВт·ч на 1000 м ³
СПС 100/100 (1), стандарт	2; 6	45; 20	1,0	0,45; 0,35	320
После регулировки	2; 6	55; 45	0,8	0,55; 0,5	280
СПС100/100 (1) стандарт	2; 1	45; 38	0,95	0,45; 0,36	300
После регулировки	2; 1	55; 40	0,8	0,55; 0,4	280
СПС 100/100 (1)	3	100	0,8	0,55	280
СПС100/100 (1)	1; 7; 8	230	0,6	0,37-0,5	290
СПС 70/80 (2)	5; 10				

Такой набор насосных агрегатов позволяет подавать строго требуемый расход воды, иметь максимальный КПД и экономить электроэнергию на насосной станции при изменении числа работающих ДМ «Фрегат» от одного до пяти. В зависимости от необходимости

полива и числа одновременно работающих машин можно включать различные насосные агрегаты. При работе двух ДМ «Фрегат» № 2, 6 от агрегата СПС-100/100 проведена замена насадок на ДМ № 6 для увеличения расхода воды с 20 до 40 л/с. На ДМ № 2 расход воды повышен с 45 до 50 л/с при увеличении давления на входе с 0,37 до 0,47 МПа. Это позволило оптимизировать работу насоса и обеспечить полив при минимальных энергозатратах на полив.

Среднегодовые затраты электроэнергии на подачу 1000 м³ воды снижаются с 422 (ЗАО «АФ «Волга») до 265 кВт·ч (ОПХ «Волж-НИИГиМ») при работе в низконапорном режиме. Годовая экономия электроэнергии от применения низконапорной ДМ «Фрегат» составляет 10,0-12,0 тыс. руб. на машину.

12. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПОДКАЧИВАЮЩИХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Для экономии электроэнергии на насосной станции разработано несколько технических решений, некоторые из них приведены далее.

Оптимальный режим работы насосных агрегатов

Снижение давления на входе низконапорных машин до 0,32-0,45 МПа в зависимости от ее модификации и увеличение числа работающих ДМ обеспечат экономию электроэнергии на насосной станции в среднем на 25-30%. Потребление электроэнергии насосным агрегатом Д1250-125 в зависимости от расхода воды приведены в табл. 22.

Таблица 22

Технико-экономическая характеристика насосного агрегата Д 1250-125 при переводе на низкий напор

Напор, м вод. ст.	Расход агрегата		Мощность электродвига- теля, кВт·ч	Потребляемая мощ- ность на 1000 м ³ воды		Экономия электро- энергии, %
	л/с	м ³ /ч		кВт·ч	%	
125	350	1260	536	425,3	100,0	-
100	440	1584	539	340	80,0	20
90	500	1800	551	306	72,9	28
80	550	1980	580	292	69,0	31

Регулировка расхода воды на низконапорной ДМ «Фрегат» для экономии электроэнергии на насосной станции

На орошаемых участках часто используются ДМ «Фрегат» различной модификации (длина машины – от 50 до 463 м, расход воды – от 5 до 100 л/с), которые имеют различное время полива, что приводит к неоптимальному режиму работы агрегата и перерасходу электроэнергии. Для экономии затрат (времени полива) необходима регулировка расхода воды низконапорных ДМ (Ступак А.М., 1977; Просветов Ю.С. 1982) на одновременное завершение полива.

Обрезка рабочего колеса для экономии электроэнергии на насосной станции

Применение на насосных станциях насосных агрегатов с обрезанным рабочим колесом позволит снизить давление на выходе агрегатов и снизить потребление электроэнергии на полив на 5-12% (Ступак А.М.).

Использование низконапорных агрегатов на насосных станциях для экономии электроэнергии при одиночной работе ДМ «Фрегат»

Энергоемкость серийных высоконапорных агрегатов марок Д и QVD при подаче воды в неоптимальном режиме на одну или две ДМ «Фрегат» повышается до 500-600 кВт на подачу 1000 м³ воды (см. рис. 25).

Применение малоэнергоёмких насосных агрегатов (в весенний, осенний и по потребности в летний периоды) позволит снизить энергоёмкость полива до 180-258 кВт на подачу 1000 м³ воды, или в 1,7-3,3 раза (табл. 23).

Таблица 23

Характеристики малоэнергоёмких насосных агрегатов, которые можно использовать как разменные на насосной станции

Марка насоса	Расход воды, л/с	Мощность, кВт	Затраты на 1000 м ³ , кВт	Марка насоса	Q, л/с	N, кВт	Ny, кВт на 1000 м ³
Д200/60	55	50	185	СПС70/80	70	100	228
Д315/50	87	75	180	СПС100/100	100	160	258
Д500/63	138	160	190	СПС200/50	200	160	185

Использование малоэнергоемких насосных агрегатов и частотного регулирования частоты вращения электродвигателя для энергосбережения

Энергосбережение при внедрении низконапорных ДМ «Фрегат», «Valley» и малоэнергоемких насосов Д 1250-65 на ПНС-4а Комсомольской ОС (на орошаемом участке 900 га поливают шесть ДМ «Фрегат» и восемь ДМ «Valley») достигает порядка 1,5 млн руб. за поливной сезон с пятью поливами (табл. 24).

Таблица 24

Эффективность применения малоэнергоемких насосов Д1250-65 и низконапорных дождевальных машин

Техническая характеристика	До модерни- зации	После модер- низации
Марка насосного агрегата	250CVE-460	Д1250-65
Число насосных агрегатов	5	5
Мощность электродвигателя, кВт	400	315
Номинальный расход воды, м ³ /ч	778	1250
Рабочий напор, МПа	1,2	0,65
Удельные затраты электроэнергии на 1000 м ³ воды, кВт·ч	340	170
Годовая экономия потребления электроэнер- гии на площади 500 га при проведении пяти поливов, кВт·ч, млн руб.	-	1,5

Ещё более существенная экономия электроэнергии получе-
на БКНСЗ Приволжской ОС в ЗАО «АФ «Волга» при внедрении
низконапорных ДМ «Zimmatic» и малоэнергоемких насосов типа
Д 1250-65 с частотным регулированием частоты вращения электро-
двигателя. Затраты электроэнергии на подачу 1000 м³ воды состав-
ляют 198 кВт·ч (табл. 25).

**Эффективность использования низконапорных ДМ,
малознергоёмких насосных агрегатов
и оптимального режима работы**

Насосная станция	Наименование хозяйства	Тип насоса (дождевальные машины)	Затраты электроэнергии, кВт·ч	Отработано мото/ч	Объём поданной воды, тыс. м ³	Затраты на 1000 м ³ , кВт·ч
НС-436	ЗАО ПЗ «Мелиоратор»	Д 1250/125 («Фрегат»)	771539	1337	1671,25	461
НС-А	ЗАО «АФ «Волга»	1Д 1250/125 («Фрегат»)	1647434	2003	2503,75	658
ПНС-5	ООО «Наше дело»	250 CVA 460 («Фрегат»)	779328	2238	1656,12	470
НС-43а	ЗАО ПЗ «Мелиоратор»	Д 1250/125 («Фрегат» + «Zimmatic»)	1 263651	2064	2580	489
НС-1	ИП Крючков	1Д 1250/125 («Т-Л» + «Фрегат»)	515540	1152	1041,5	495
НС-2	ООО «Наше дело»	1Д 1250/125 («Фрегат»)	756630	1204	1688,9	448
ПНС-4	ООО «Наше дело»	1Д 1250/63 («Фрегат-Н» + «Valley»)	474326	1573	1966,25	241
БКНС	ЗАО «АФ «Волга»	1Д 1250/63 («Zimmatic»)	343632	1388	1735	198

В то же время при неоптимальном режиме работы насосных агрегатов на НС-43а в ЗАО ПЗ «Мелиоратор», где поливали ДМ «Фрегат» и низконапорные ДМ «Zimmatic», экономия электроэнергии на полив отсутствует. Годовые затраты на подачу 1000 м³ воды остались высокими – 489 кВт. Аналогичные результаты – на НС-1 ИП Крючков, где применялись «Т-Л» + «Фрегат» и «Волжанка». Годовые за-

траты на подачу 1000 м³ воды остались высокими – 495 кВт. В тоже время использование низконапорных ДМ «Фрегат» и оптимальный режим работы насосных агрегатов на НС № 2 позволили обеспечить оптимальные затраты – 448 кВт·ч на 1000 м³.

При внедрении низконапорных ДМ «Zimmatic» и малоэнергоёмких насосов с частотным регулированием частоты вращения электродвигателя на ПНС № 29, в ООО «Воскресенское», ООО «Студинекское» и других. Затраты электроэнергии на подачу 1000 м³ воды находятся на низком уровне – 198-210 кВт·ч.

Внедрение низконапорных дождевальных машин позволит снизить:

- ▶ потребление электроэнергии на насосной станции на 20-30% за счет уменьшения энергозатрат на подачу 1000 м³ с 420-570 кВт·ч до 110-300 кВт·ч. Экономия электроэнергии на одной ДМ «Фрегат» составит 15-20 тыс. кВт·ч при средней норме полива за сезон 2000 м³/га и подаче 120 тыс. м³ воды;

- ▶ давление на насосной станции с 1,0-1,2 до 0,5-0,7 МПа, а на входе ДМ – до 0,22-0,38 МПа. Увеличить водоподачу насосной станции и водообеспеченность орошаемого участка;

- ▶ давление в закрытой оросительной сети с 1,0 до 0,5-0,7 МПа и величину гидроудара, тем самым повысить надежность работы закрытой сети и уменьшить эксплуатационные затраты на ДМ устранение порывов трубопровода.

13. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОХОДИМОСТИ МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

При работе многоопорной дождевальной машины тележки перемещаются в зоне дождя, что способствует снижению твердости и несущей способности почвы, а это, в свою очередь, образованию глубокой и широкой колеи под колесами машины.

По данным исследований Г.П. Синеокова, твердость почвы обыкновенного террасового чернозема с различным агрономическим фоном (целина, люцерна, ячмень, яровая пшеница, озимая рожь) снижается почти линейно с 30-45 кг/см² (при абсолютной влажности 5-10% или относительной влажности 17-33%) до 4-15 кг/см² (при абсолютной влажности 30% или относительной влажности 96%).

Исследования несущей способности (q , кПа) и коэффициент объемного смятия почвы (K_o , МПа/м) торфяных почв Белоруссии (Алейничук А.Н.) показали, что с увеличением относительной влажности с 55 до 87% показатели q и K_o уменьшаются на всех изучаемых агрофонах (многолетние травы, стерня, прикатанное поле, продискованное поле).

В приведенных выше исследованиях четко прослеживается влияние влажности и агрофона на несущую способность почвы. Так, целина и почва под посевами люцерны и других многолетних трав имеют задернелость и опутаны корнями растений, что способствует увеличению ее твердости и несущей способности. Напротив, у вспаханного, продискованного поля, а также с посевами сахарной свеклы, картофеля, которые подвергаются систематической механической обработке, эти показатели обычно ниже. Исследованиями А.И. Рязанцева установлены значения несущей способности почвы после полива нормой 400-600 м³/га в зависимости от агрофона (табл. 26).

**Значения средней несущей способности почвы,
коэффициента сцепления
и коэффициента сопротивления качения от агрофона**

Агрофон	Средняя величина несущей способности почвы при поливной норме 400-600 м ³ /га, МПа (кг/см ²)	Коэффициент сцепления (φ) между почвой и техникой на колесах		Коэффициент сопротивления качения (f) между почвой и техникой на колесах	
		пневматических	металлических	пневматических	металлических
Пахота	0,03 (0,3)	0,43-0,50	0,25-0,32	0,15-0,20	0,24-0,32
Поле, подготовленное под посев	0,05 (0,5)	0,45-0,53	0,30-0,37	0,12-0,17	0,22-0,25
Поле со всходами растений	0,08 (0,8)	0,50-0,55	0,36-0,43	0,07-0,13	0,15-0,20
Стерня	0,12 (1,2)	0,55-0,63	0,52-0,65	0,06-0,10	0,13-0,17

Известно, что при качении колеса происходят деформация почвы и образование колеи. Чем глубже колея, тем больше тяговое сопротивление колеса и ущерб, причиняемый почве, заключающийся в распылении ее структуры и уменьшении пористости.

Для определения тягового сопротивления качения колеса Q_x используется формула Грандвуанде-Горячкина:

$$Q_x = \sqrt{Q_z^4 / q \cdot D^2 \cdot \epsilon_o}, \quad (30)$$

где Q_z – вертикальная нагрузка на ось колеса, кг;
 q – коэффициент, характеризующий сопротивление почвы деформации, кг/см³;

D, ϵ_o – диаметр и ширина обода колеса, см.

Сопротивление качения и глубину колеи после прохода металлического колеса, по данным А.И. Рязанцева, можно определить по формулам:

$$P = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{Q}{P_0 \cdot B \cdot D^{1,5}}}, \quad (31)$$

$$H = 1,2 \cdot Q / P_0 \cdot B \cdot D^{0,5}, \quad (32)$$

где Q – вертикальная нагрузка на ось колеса, Н;

P_0 – несущая способность почвы, Н/м²;

D, B – диаметр и ширина обода колеса, м.

Исследования В.П. Горячкина, А.К. Бируля, Г.Н. Синеокова, Н.П. Крутикова, А.И. Рязанцева и анализ формулы показывают, что уменьшение глубины колеи может быть достигнуто за счет увеличения диаметра (D) и ширины обода (B) колеса, а также несущей способности почвы (P_0). Исследования глубины колеи, образующейся при поливе дождевальной машиной «Фрегат», приведены в работах А.И. Рязанцева и Ю.Н. Егорова (ВНИИ «Радуга»), А.М. Салдеева («ВНИИОЗ»), А.В. Калганова, «ВолжНИИГиМ», «СтавНИИГиМ» и др.

По данным А.И. Рязанцева, глубина колеи зависит от агрофона, нормы полива (влажности почвы), числа проходов колес тележки по колее. Так, после первого прохода (полива) глубина колеи на стерне пшеницы составляет 5,9 см, на посевах пшеницы – 6,5, на пахоте – 12,3-16,2 см. Экспериментально установлено, что глубина колеи к четвертому проходу достигает 26-30 см. А.И. Рязанцевым установлено, что каждый последующий проход после первого приводит к увеличению глубины в среднем на 20%. По данным Ю.Н. Егорова, при втором проходе машины глубина колеи возрастает на 300-350%, при последующих проходах – в среднем на 30%. В момент буксования колес она может достигать 500 мм и более, в некоторых случаях тележка «садится» рамой на почву и даже может завестись. А.М. Салдеев отмечает, что колея интенсивно увеличивается во всех случаях до плужной подошвы, образованной многолетней обработкой почвы без рыхления на глубину 20-30 см.

Результаты исследований глубины колеи ДМ «Фрегат» и «Кубань»

Исследованиями ДМ «Фрегат» с серийными дождевальными аппаратами в условиях Саратовского Заволжья установлено, что глубина колеи после первого прохода определяется поливной нормой, объемом воды перед колесами, объемом воды (протечек), попадаемой под колеса в результате нарушения герметичности отдельных узлов. К ним относятся разрыв прокладок и сварки трубопровода, износ гидроцилиндра, неисправности клапана распределителя, напорного рукава, сливной магистрали гидропривода.

Исследования подтверждают положение, что глубина колеи во многом зависит от несущей способности почвы, которая, в свою очередь, определяется нормой полива перед колесами и влажностью почвы. Из табл. 27 видно, что при первом проходе машины глубина колеи может изменяться от 3,9 до 12,9 см.

При поливе ДМ «Фрегат» при ветре, когда дождь сносится, а колеса тележки идут по сухой или почти сухой почве, глубина колеи в основном определяется агрофоном, влажностью и несущей способностью почвы и составляет 2-4 см (опыты № 1, 2). Если ДМ «Фрегат» поливает при небольшом ветре и дождь попадает в зону движения тележек, то глубина колеи определяется оросительной нормой и агрофоном и составляет 5-8 см.

Таблица 27

**Глубина колеи после первого прохода ДМ «Фрегат»
с серийными дождевальными аппаратами в зависимости от нормы
полива перед колесами тележек и агрофона**

№ опыта	Агрофон	Норма полива, мм	Погодные условия	Параметры колеи		
				h, см	σ	V, %
1	2	3	4	5	6	7
1	Кукуруза	0	Машина движется против ветра	3,9	13,0	37,1
2	Суданка	5,0	-«-	4,0	13,3	34,0
3	Кукуруза	15,0	Штиль	5,8	19,7	34,0

1	2	3	4	5	6	7
4	Кукуруза	30,0	Машина движется за ветром	9,7	24,3	36,0
5	Суданка	45,0	-«-	10,8	37,0	36,0
6	Озимая пшеница	60,0	-«-	12,9	37,7	29,2

Примечание: h , σ и V – средняя глубина колеи, среднееквадратичное отклонение и коэффициент вариации.

Если направление движения ДМ «Фрегат» и ветра совпадают и поливная норма возрастает до 300-600 м³/га и более, то увеличивается и объем воды под колесами тележек. Глубина колеи достигает 10-13 см (опыты № 4, 5, 6), а на пашне – 16 см. При увеличении глубины колеи (h) увеличивается и высота выпирания почвы с внутренней (без грунтозацепов) гладкой стороны обода колеса с 1 до 7 см, а общая глубина колеи $H = 20$ см (табл. 28). Высота выпирания почвы со стороны установки зацепов незначительная – 1-2 см.

Глубина колеи увеличивается с числом проходов машины по полю (табл. 29), причем, наиболее интенсивно за первые три прохода. При средней поливной норме 300 м³/га глубина колеи (h) после четырех поливов составляет 13 см, а с учетом выпирания почвы (H) – 20 см. При поливной норме 600 м³/га она увеличивается до 30 см, а с учетом выпирания почвы – до 40 см.

Таблица 28

Зависимость высоты выпирания почвы от глубины колеи

Глубина колеи, h , мм	Высота выпирания почвы, мм		Глубина колеи с выпиранием H , мм
	возле обода	около зацепов колес	
55	40	10	95
100	60	20	160
130	70	20	200

**Изменение глубины колеи (без выпирания почвы)
при поливной норме 300 м³/га в зависимости от агрофона
и числа проходов ДМ «Фрегат»**

Число проходов	Агрофон	Глубина колеи			Увеличение глубины колеи, %
		h, мм	σ	V, %	
1	Кукуруза	58,3	19,7	34,0	45,5
2	Озимая пшеница	89,0	21,0	23,5	24,2
3	Кукуруза	117,0	28,1	24,0	23,5
3	Яровая пшеница	119,0	29,7	25,0	24,5
3	Яровая пшеница	122,0	23,9	19,6	23,5
4	Озимая пшеница	128,0	20,0	15,7	6,2

Тележки ДМ ферменных конструкций «Кубань», «Т-Л» и других перемещаются в зоне дождя, поэтому на поле в конце сезона образуются глубокие колеи (до 15-20 см), а ширина достигает 50-60 см (рис. 28).



а



б

*Рис. 28. Образование глубоких колеи при поливе:
а – ДМ «Zimmatic»; б – «Т-Л»*

Для снижения глубины колеи на ДМ «Кубань» кругового действия рекомендуется использовать насадки секторные и контурного полива, которые устанавливаются на крайних водовыпусках пролета около тележки. Во второй половине трубопровода машины кругового действия такие насадки должны быть смонтированы на открылках длиной 2,6-3,0 м (см. рис. 23, 29).



а



б

*Рис. 29. Устройства приповерхностного дождевания на ДМ «Кубань»:
а – в районе тележки во время полива на низкой высоте;
б – небольшая глубина колеи в конце поливного сезона*

14. КОЭФФИЦИЕНТ ЗЕМЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЕГО ПОВЫШЕНИЮ

Одним из недостатков дождевальной машины кругового действия является низкий коэффициент земельного использования (КЗИ) участка поля. При проектировании орошаемого участка машины «Фрегат» стороны поля могут быть кратными:

- ▶ длине трубопровода;
- ▶ длине трубопровода + 15 м (длина дальности полета струи последнего среднеструйного аппарата);
- ▶ длине трубопровода + 25 м (длина дальности полета струи концевой дождевальной аппаратуры).

Для электрифицированных дождевальных машин сторона поля может быть кратна длине трубопровода + 10 м (дальность полета струи вращающегося дефлектора) или длине трубопровода + 25- 45 м (дальность полета струи концевой дождевальной аппаратуры).

Поэтому имеются различные площади орошаемого участка и полей (квадратов), а коэффициент земельного использования в зависимости от числа тележек на машине «Фрегат» колеблется следующим образом: от 0,818 (в) до 0,852 (а) – для 16-опорной машины и от 0,848 (в) до 0,867 (а) – для 13-опорной.

В реальных условиях эксплуатации в результате территориального несоответствия площадь недополива увеличивается, а КЗИ уменьшается до 0,5-0,7. Недополив площади вызывает нежелательные последствия:

- ▶ снижение урожая сельскохозяйственных культур;
- ▶ затруднение условий уборки из-за разных сроков созревания культур;
- ▶ исключение значительных площадей ирригационно-освоенных земель из орошаемого фонда.

В настоящее время интенсивно ведутся разработки и изучаются различные технические устройства, позволяющие повысить КЗИ орошаемого участка. Технические предложения по его повышению дождевальных машин «Фрегат» и «Кубань» можно классифицировать по следующим направлениям:

- ▶ рациональное организационно-территориальное размещение машин на орошаемом массиве;
- ▶ полив угловых участков дополнительными дождевальными машинами и установками;
- ▶ изменение конструкции дождевальной машины за счет применения дальнеструйного аппарата, модернизации длины трубопровода, использования вращающейся консоли и прицепного пролета с тележкой и др.

Рациональное организационно-территориальное размещение дождевальных машин

Повысить КЗИ можно размещением дождевальных машин на орошаемом массиве по треугольной схеме (НС-А Приволжской ОС). Границы между полями проложены таким образом, что при работе последняя (16-я) или несколько последних тележек «Фрегата» и консоль заходят на соседнее поле. В этом случае КЗИ поля может увеличиваться до 0,92-0,94. Недостаток данного технического решения в том, что усложняется эксплуатация машин, так как на отдельных секторах поля возможно их пересечение.

Полив угловых участков дополнительными дождевальными машинами и установками

В ЗАО «Энгельсский» Энгельсского района Саратовской области эксплуатируется участок, где для повышения КЗИ применяется стационарная система с дальнеструйными аппаратами типа ДД-30. А.И. Рязанцев для этой цели предлагает использовать дальнеструйные машины типа ДДН-70, ирригационный комплект КИ-50, однопролетные дождевальные машины «Фрегат», дождевальные установки РЗТ-25 (ЧССР), машины «Фрегат» ДМУ-А-199,2-28, стационарные системы с выдвижными гидрантами и др. В.А. Коломыца (2003 г.) предложил проводить полив угловых участков с помощью системы внутривспашечного полива.

Применение дополнительного оборудования позволяет повысить КЗИ до 0,97-0,99. Однако для этого на каждый участок необходимо проложить дополнительный трубопровод, что, в свою очередь, повысит капитальные вложения и трудовые затраты на орошение.

Использование на дождевальной машине «Фрегат» дополнительных приставок и дальнеструйных аппаратов

Для ДМ «Фрегат» разработано техническое решение с целью полива угловых участков приставкой (дополнительным трубопроводом) по А.С. СССР № 745443 кл.: А 01 G25/09, 1980 г. В США аналогичные приставки применяются на электрифицированных машинах «Valley».

Одним из возможных направлений повышения КЗИ является использование на ДМ «Фрегат» дальнеструйных аппаратов типа ДД с расходом воды 20 л/с без отключения или с частичным отключением четырех-шести последних среднеструйных аппаратов и расходом воды 40-50 л/с с полным отключением всех аппаратов машины (А.с. № 12518332).

Применение дальнеструйных аппаратов ДД-30 вместо конечного аппарата «Фрегат» № 5 позволит дополнительно увеличить площадь полива на 1,94-2,58 га в пределах квадратного поля и повысить КЗИ до 0,861-0,905. Максимально возможная дополнительная площадь полива при непрерывной работе аппарата ДД-30 увеличивается на 5,29 га. Дождевальные машины «Фрегат» с дальнеструйными аппаратами ДД-30 внедрены в ряде хозяйств Энгельсского и Марковского районов сотрудниками ВолжНИИГиМ.

На ДМ «Кубань-ЛК1» для полива угловых участков применялся дальнеструйный аппарат ДМ-07.150 с расходом воды 8,6 л/с и радиусом полива 27,4 м. Дополнительная площадь полива составила 2,8 га, КЗИ повысился до 0,94.

Оптимизация (подбор) длины водопроводящего трубопровода дождевальной машины «Фрегат» к стороне поля (квадрата)

Анализ оросительных массивов показывает, что одним из резервов повышения площади полива и КЗИ является модернизация (подбор) длины водопроводящего трубопровода ДМ «Фрегат» к стороне орошаемого поля (квадрата).

Интервал комплектации длины водопроводящего трубопровода серийных дождевальных машин составляет 25 и 30 м (машины марки ДМУ-А) и 30 м (машины марок ДМ и ДМУ-Б). Фактически

интервал комплектации можно сократить до 5,0 и 2,5 м. При этом за счет соответствия длины трубопровода машины и орошаемого поля площадь полива, например 15-опорной ДМ «Фрегат» марки ДМУ-Б, может быть увеличена (при увеличении длины трубопровода с 434 до 460 м) с 65,4 до 73,1 га, т.е. на 7,7 га.

Модернизация водопроводящего трубопровода машин хозяйственные номера № 1, 7, 8, 9 в ОПХ ФГНУ «ВолжНИИГиМ» с целью приближения его длины к длине половины стороны поля (квадрата) позволила увеличить площадь полива соответственно на 2,3; 3,8; 4,3 и 7,0 га. Всего на четырех машинах площадь полива увеличилась на 17,4 га. Коэффициент земельного использования по данным машинам после модернизации (увеличение трубопровода) повысился с 0,651-0,814 до 0,872-0,914.

Одним из резервов повышения площади полива и КЗИ дождевальных машин «Фрегат» является увеличение длины трубопровода за счет замены 25-метровых пролетов 30-метровыми. В ООО «ВИТ» смонтирована 16-опорная машина только с 30-метровыми пролетами, что позволило увеличить длину машины до 483 м и площадь полива с 74,9 до 81,0 га.

На зарубежных дождевальных машинах кругового действия для повышения КЗИ используются дальнеструйные аппараты с радиусом полива 25-45 м или приставки, которые присоединяются к последней тележке машины и поливают угловые участки поля, двигаясь по заданной программе.

Перечисленные выше технические решения могут внедряться на машинах кругового действия в комплексе и использоваться проектировщиками и эксплуатационниками для увеличения площади полива, повышения КЗИ и их эффективности.

15. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ СНИЖЕНИЯ МЕТАЛЛОЁМКОСТИ И СТОИМОСТИ

В настоящее время актуальны работы, направленные на снижение металлоёмкости, массы и стоимости машины за счёт совершенствования пролетов путём использования в её конструкции полиэтиленовых труб, НПВХ, лёгких и прочных композиционных материалов, (патенты № 160893, 179791, 2535158).

Дождевальная машина «Волга-СМ» с полиэтиленовым трубопроводом состоит из неподвижной опоры, основного полиэтиленового и дополнительного стального оцинкованного трубопроводов, смонтированных на самоходных тележках с гидроприводом (рис. 30). Преимущества машины:

- ▶ снижение давления на входе в машину с 0,5-0,7 до 0,3-0,4 МПа (время оборота и минимальная норма полива соответствуют показателям серийной машины) и напора на выходе насосной станции с 0,9-1,2 до 0,5-0,7 МПа;

- ▶ экономия электроэнергии на насосной станции – 15-20%;

- ▶ возможность перемещения машины по отдельным секторам поля без полива;

- ▶ комплектация оборудованием приповерхностного дождевания с целью уменьшения потерь воды на испарение и снос ветром, повышения равномерности полива за счет регулировки высоты установки дождевателей от 0,7 до 2,5 м от поверхности почвы;

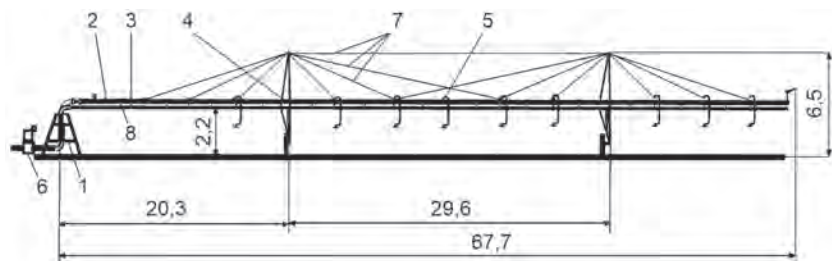
- ▶ сокращение потерь воды с 15-20 до 4-7%;

- ▶ повышение равномерности полива при ветре с 0,4-0,5 до 0,7-0,8 и урожайности сельскохозяйственных культур на 7-18%;

- ▶ комплектация оборудованием «сухая колея» и др.;

- ▶ обеспечение мелкокапельного и эрозийно безопасного полива.

Машина успешно прошла производственные испытания с участием специалистов ФГБУ «Поволжская МИС» на полях ОПХ «ВолжНИИГиМ», получены протокол испытаний и сертификат на серийное производство.



a



б



в



з



д

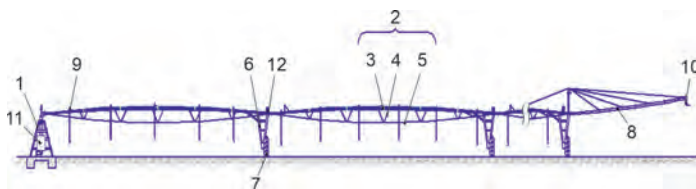
*Рис. 30. Дождевальная машина «Волга-СМ»:
а – схема; б, в, з, д – внешний вид*

Необходимая техническая и конструкторская документация была передана ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» в ООО «АгроТехСервис» для постановки на серийное производство.

Машина полностью изготавливается из узлов и деталей отечественного производства и соответствует условиям импортозамещения.

Электрифицированная многоопорная дождевальная машина ферменной конструкции (ЭДМФ «Волга-ФК1») предназначена для полива дождеванием зерновых, овощных, кормовых культур, включая высокостебельные.

Представляет собой движущуюся вокруг стояка неподвижной опоры 1, ферменных пролетов 2, включающих в себя водопроводящий трубопровод 3, раскосы 4 и растяжки 5. Трубопровод 3 состоит из двух соединенных между собой хомутами (кронштейнами) трубопроводов: основного полиэтиленового, выполненного из ПВХ труб $\varnothing 160-90$ мм, и дополнительного стального $\varnothing 102$ мм, шарнирно связанных между собой и опирающихся на опорные тележки 6 с пневматическими колесами 7 (рис. 31). Для повышения площади полива машины на ее консоли 8 монтируется концевой дождевальный аппарат 10.



а



б

*Рис. 31. Дождевальная машина «Волга-ФК1»:
а – схема; б – внешний вид*

На полиэтиленовом трубопроводе монтируются дождеватели 9: дефлекторные насадки (круговые и секторные) или устройства при-поверхностного дождевания (высота установки дождевателей – 1-3 м от поверхности почвы), которые обеспечивают мелкокапель-ный круговой и секторный полив, исключая попадание дождя в зону передвижения тележек. На неподвижной опоре монтируется авто-номная энергосиловая установка 11. Управление прямолинейностью трубопровода машины при движении обеспечивает пульт слежения линии 12.

Для базовой машины длиной 473 м при расходе воды в полиэти-леновом трубопроводе 50 л/с потери напора по длине трубопрово-да, состоящего из труб $\varnothing$ 160 мм (до четырех тележек), $\varnothing$ 140 мм (от четырех до восьми тележек) и $\varnothing$ 110 мм (от восьми до деся-ти тележек), составляют 18,8 м вод. ст., требуемое рабочее давле-ние на входе 10-опорной дождевальной машины с расходом воды $20 + 50 = 70$ л/с равно: $h_{\text{н}} + h_{\text{дн}} = 0,188 + (0,12-0,16) = 0,308-0,35$ МПа.

При монтаже на стальной трубопровод фермы полиэтиленовых труб требуемое давление на входе в машину уменьшается. На одно-пролетной машине с расходом воды 7 л/с в стальной трубопровод $\varnothing$ 102 мм вода не подается, он служит опорой для полиэтиленового трубопровода $\varnothing$ 63 мм. На консоли монтируется полиэтиленовый трубопровод $\varnothing$ 50 мм.

Потери напора по длине трубопровода составят 7,8 м, а требуе-мое давление на входе однопролетной машины – 0,18 МПа.

На двухопорной машине с расходом воды 10 л/с в стальной тру-бопровод $\varnothing$ 102 мм первого пролета подается 8,5 л/с, а 1,5 л/с по-ступает в полиэтиленовый трубопровод $\varnothing$ 50 мм. На втором пролете машины в стальной трубопровод $\varnothing$ 102 мм вода не подается, он слу-жит опорой для полиэтиленового трубопровода $\varnothing$ 75 мм. На консоли монтируется полиэтиленовый трубопровод $\varnothing$ 50 мм. Потери напора по длине трубопровода составят 6,4 м, а требуемое давление на вхо-де двухопорной машины – 0,17 МПа.

На трехопорной машине с расходом воды 18 л/с в стальной тру-бопровод $\varnothing$ 102 мм первого пролета подается 10,5 л/с, а 7,5 л/с по-ступает в полиэтиленовый трубопровод $\varnothing$ 75 мм. На втором про-лете машины стальной трубопровод $\varnothing$ 102 мм и полиэтиленовый

трубопровод $\varnothing$ 75 мм не изменяются. На третьем пролете машины в стальной трубопровод $\varnothing$ 102 мм вода не подается, он служит опорой для полиэтиленового трубопровода $\varnothing$ 90 мм. На консоли монтируется полиэтиленовый трубопровод $\varnothing$ 63 мм. Потери напора по длине трубопровода составят 8,8 м, а требуемое давление на входе трех-опорной машины – 0,19 МПа (табл. 30, 31).

Таблица 30

Значения диаметров основной полиэтиленовой и дополнительной стальной трубы в зависимости от длины и расхода воды машины

Число тележек	Площадь полива, га	Длина машины, м	Расход воды дождевателями, л/с	Диаметр трубы, мм	
				полиэтиленовой	стальной
10	73,2	473	70	160 – до Т 4, 140 – между Т 5-8, 110 и 90 – далее	114
9	62,0	434,7	65	140 – до Т 4, 90 – далее	114
8	51,8	396,2	55	125 – далее 90	114
7	42,4	357,7	45	110 – далее 90	114
6	31,9	309,0	30	90 – 75-63	114
5	22,9	260,3	25	90 – 75-63	114
4	15,4	211,6	20	90 – 75-63	102
3	10,5	173,0	18	Нет или 90, 75 и 63	102
2	5,7	125,0	10	Нет или 75 и 50	102
1	3,4	71,0	7	Нет или 63 и 50	102

Таблица 31

Требуемый напор на входе в машину (Нвх) в зависимости от расхода воды (Q_{дм}) и длины (L_{дм}) машины

Показатели	Число опорных тележек машины									
	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9
L _{дм} , М	71	122	170	211	261	319	365	376	426	473
Q _{дм} , л/с	7	10	18	20	25	30	45	55	65	70
Q _{ст} , л/с	-	8,5	10,5	11,5	15	15	15	15	20	20
Q _{пэ} , л/с	7	1,5	7,5	8,5	10	15	30	40	45	50
h _{ст} , м	0,6	3,0	9,8	10,8	11,2	13,1	19,4	21,5	22,2	24,4
h _{пэ} , м	7	7	9	10	15	15	18	22	24	25
H _{дм} , м	17	17	19	20	25	26	28	30	33	35

На четырехопорной машине с расходом воды 20 л/с в стальной трубопровод $\varnothing$ 102 мм первого пролета подается 11,5 л/с, а 8,5 л/с поступает в полиэтиленовый трубопровод $\varnothing$ 75 мм. На втором и третьем пролетах машины стальной трубопровод $\varnothing$ 102 мм и полиэтиленовый трубопровод $\varnothing$ 75 мм не изменяются. На четвертом пролете машины в стальной трубопровод $\varnothing$ 102 мм вода не подается, он служит опорой для полиэтиленового трубопровода $\varnothing$ 90 мм. На консоли монтируется полиэтиленовый трубопровод $\varnothing$ 63 мм. Потери напора по длине трубопровода составят 10 м, а требуемое давление на входе трехопорной машины – 0,2 МПа.

Анализ гидравлических расчетов показывает, что для обеспечения расхода воды машины и требуемого давления перед дождевателями в конце машины (0,10-0,15 МПа) и на её входе (0,17-0,35 МПа) необходимо использовать полиэтиленовые трубы следующих диаметров (см. табл. 30).

Стальной трубопровод $\varnothing$ 102 мм и полиэтиленовый трубопровод:

- ▶ $\varnothing$ 63 и 50 мм – для одноопорной машины с расходом воды 7 л/с;

- ▶ $\varnothing$ 75 и 50 мм – для двухопорной машины с расходом воды 10 л/с;

- ▶ $\varnothing$ 90, 75 и 63 мм – для трех-четыреопорной ДМ с расходом воды 18-20 л/с.

Стальной трубопровод $\varnothing$ 114 мм и полиэтиленовый трубопровод:

- ▶ $\varnothing$ 90, 75 и 63 мм – для пяти-шестиопорной ДМ с расходом воды 25-30 л/с;

- ▶ $\varnothing$ 110 и 90 мм – для семиопорной машины с расходом воды 45 л/с;

- ▶ $\varnothing$ 125 и 90 мм – для семиопорной машины с расходом воды 55 л/с;

- ▶ $\varnothing$ 140 и 90 мм – для восьмиопорной машины с расходом воды 65 л/с;

- ▶ $\varnothing$ 160, 140, 110 и 90 мм – для девятиопорной ДМ с расходом воды 70 л/с.

На дождевальной машине «Волга-ФК1» используется двухтрубный трубопровод, поэтому масса трубопровода фермы оценивается, как масса полиэтиленового и стального трубопроводов, плюс мас-

са воды в данных трубопроводах и сравнивается результат с массой стандартных труб ДМ «Кубань-ЛК» (табл. 32).

Таблица 32

**Масса и стоимость трубопровода (стального и полиэтиленового)
ферменной дождевальной машины новой (НМ)
и базовой (БМ) в зависимости от модификации**

Базовая машина (БМ)		Новая машина (НМ)		Масса трубы длиной 10 м с водой, кг		Стоимость трубопро- вода, за 1 пог. м, руб.	
число опор, дли- на маши- ны, расход воды	диаметр сталь- ной тру- бы, мм	поли- этиле- новая	сталь- ная	БМ	НМ	БМ	НМ
1	2	3	4	5	6	7	8
10 опор, 473 м, 70 л/с	203	160	114	446	394 (-13 %)	1842	1557 (-18%)
	203	140	114	446	344 (-29 %)	1842	1437(-28%)
	168	125	114	325	317 (-2,5 %)	1512	1357 (-11,4%)
	168	110	114	325	289 (-12 %)	1512	1291 (-17%)
	168	90	102*	325	184 (-76%)	1512	1217(-24%)
<i>Среднее снижение массы трубопровода на 26,5% и стоимости трубопровода на 16,8%</i>							
8 опор, 396 м, 55 л/с	203	125	114	446	317 (-40 %)	1842	1357 (-11,4%)
	168	90	114	325	255 (-27 %)	1512	1291 (-17%)
	168	90	102*	325	184 (-76%)	1512	1217(-24%)
<i>Среднее снижение массы трубопровода на 33,4% и стоимости трубопровода на 20,3%</i>							
7 опор, 357 м, 45 л/с	168	110	114	325	289 (-12 %)	1512	1291 (-17%)
	168	90	102*		184 (-76%)	1512	1217(-24%)
<i>Среднее снижение массы трубопровода на 19,2% и стоимости трубопровода на 18%</i>							
4 опоры, 211 м,	168	75	102	325	225 (-44 %)	1512	1169 (-29,3%)
	168	75	102	325	225 (-44 %)	1512	1169 (-29,3%)
20 л/с	168	75	102	325	225 (-44 %)	1512	1169 (-29,3%)
	168	90	102*	325	184 (-76%)	1512	1217 (-24,3%)

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Среднее снижение массы трубопровода на 52% и стоимости трубопровода на 28%</i>							
3 опоры,	168	75	102	325	225 (-44 %)	1512	1169 (-29,3%)
173 м,	168	75	102	325	225 (-44 %)	1512	1169 (-29,3%)
18 л/с	168	90	102*	325	184(-76%)	1512	1217 (-24,3%)
<i>Среднее снижение массы трубопровода на 56,4% и стоимости трубопровода на 27,6%</i>							
2 опоры,	168	50	102	325	205 (-58%)	1512	1108 (-36%)
125 м,	168	75	102*	325	150 (-216%)	1512	1169(-29,3%)
10 л/с							
<i>Среднее снижение массы трубопровода на 87% и стоимости трубопровода на 32,5%</i>							

Примечание. 102* – стальные трубы последнего пролета без воды.

Масса водопроводящего трубопровода с полиэтиленовой и стальной трубами (для девятиопорной машины «Волга-ФК1» максимальный расход воды – 70 л/с) меньше в среднем на 26,5%.

Для ДМ «Волга-ФК1»:

▶ трехопорной, при использовании только стальной трубы Ø 102 мм и полиэтиленовых труб Ø 75; 75 и 90 мм масса трубопроводов ферм уменьшится в среднем в 56,4%, для двухопорной – в среднем на 87%;

▶ семиопорной с применением полиэтиленовой трубы Ø 110 и 90 мм масса трубопровода с водой равна 289 и 120 кг, или меньше в среднем на 19,2%;

▶ восьмиопорной с полиэтиленовыми трубами Ø 125 и 90 мм масса трубы с водой равна 317 и 120 кг, или уменьшится в среднем на 33,4%.

Масса водопроводящего трубопровода и консоли, приходящаяся на последнюю тележку дождевальной стандартной машины, – 1600 кг. Для дождевальной машины с полиэтиленовой трубой Ø 90 мм и стальной трубой консоли Ø 102 и 76 мм без воды масса водопроводящего трубопровода составляет 793 кг, или меньше в 2 раза.

Экономический эффект от снижения стоимости трубопровода ДМ «Волга-ФК1» – 47-117 тыс. руб. в зависимости от модификации машины.

Усовершенствованные дождевальные насадки, смонтированные на УПО, обеспечивают:

- ▶ улучшение показателей полива за счёт формирования мелкокапельного и ветроустойчивого дождя;
- ▶ равномерность полива;
- ▶ сокращение потерь воды на испарение и снос и эрозию почв;
- ▶ снижение интенсивности и мощности дождя, а также повышение нормы полива до стока при монтаже устройств приповерхностного дождевания (УПД) на шпренгелях.

Конструкторская документация на электрифицированную многоопорную дождевальную машину ферменной конструкции (ЭДМФ «Волга-ФК1») передана на производство в ООО «АгроТехСервис» (г. Маркс), где изготовлен опытный образец.

В «РосНИИПМ» разработаны дождевальный двухконсольный агрегат **«Ростовчанка»** с полиэтиленовым трубопроводом, а также машины – дождевальная вантовой конструкции кругового действия **«Дон-К»** (табл. 33, рис. 32) и фронтального действия со стеклопластиковыми трубами **«Волга-Дон»**.

Один человек обслуживает пять машин.

Таблица 33

Техническая характеристика дождевальной машины «Дон-К»

Число:	
ходовых тележек	3-14
дождевальных аппаратов	37-169
концевых разбрызгивателей	1
Привод ходовых тележек	Электрический
Максимальная потребляемая мощность машины, кВт	0,72-3,36
Расход воды, л/с	10-90
Норма полива, м ³ /га	50-300
Давление на входе в машину, МПа	0,2-0,4
Рабочая длина захвата, м	105-435

Максимальная скорость движения последней ходовой тележки, м/ч	45
Габаритные размеры в рабочем положении, м:	
минимальные	93 x 4,2 x 6,5
максимальные	423 x 4,2 x 6,5
Диаметр трубопровода, мм	100-150
Высота расположения, м:	
оси водопроводящего трубопровода	2,5
дождевальных аппаратов над поверхностью земли	2,5
Тип дождевальных аппаратов	Дефлекторные секторные, круговые
Диаметр сопла дождевального аппарата, мм	1-8

В ООО «ПоТехИн и К» разработана машина вантовой конструкции «Бамбук» со стеклопластиковыми трубами (рис. 33).

Модульная (имеет девять модулей), с вантовой подвеской трубопровода, создана на основе композитных материалов из стеклопластика. Основные компоненты – трубы ($\varnothing$ 150, 100 и 63 мм) и ванты для их подвески изготовлены из стеклопластиков. Длина машины 450 м, одного пролёта (модуля) – 45 м.



Рис. 32. Дождевальная машина вантовой конструкции «Дон-К»

Тележки выполнены из стальных тонкостенных труб круглого и профильного сечения. Все детали и узлы, изготовленные из «черной» стали, подвергнуты горячему или гальваническому оцинкованию с целью предотвращения от коррозии. Ходовая часть – колёса – из стандартного металлопроката.



Рис. 33. Дождевальная машина вантовой конструкции «Бамбук»

Машина оснащена оригинальным высокоэффективным и надёжным гидравлическим приводом мощностью 0,25 кВт. Циклическое поступательное движение гидроцилиндра ($P = 7$ МПа) с помощью обгонной муфты преобразуется во вращательное движение колеса с максимальной скоростью 42 м/ч.

Преимущества ДМ «Бамбук»:

- ▶ полная масса (с водой в трубопроводе) машины длиной 450 м – 12 т (масса ДМ «Фрегат» – 25 т, «Кубань-ЛК» – 33 т);
- ▶ мощность привода длиной 450 м – 1,5 кВт;
- ▶ коррозионная стойкость трубопровода в кислых средах – абсолютная.

Гладкий стеклопластиковый трубопровод снижает потери давления воды на 30%. Жизненный цикл – не менее 50 лет.

Таким образом, использование на пролётах дождевальных машин полиэтиленовых труб, НПВХ, стеклобазальтовых или из других

композитных материалов, не подверженных коррозии, имеет важное значение для повышения срока службы, снижения массы машины, её стоимости и мощности на передвижение, а также внесения удобрений и химических веществ.

Многоопорная электрифицированная дождевальная машина ферменной конструкции ипподромного типа «Кубань»

Электрифицированная, ферменная, универсальная дождевальная машина «Кубань»-А195-57,7-01 предназначена для полива дождеванием зерновых, овощебахчевых и технических культур, многолетних трав, лугов и пастбищ, а также других культур, включая высокостебельные.

Питание машины водой осуществляется от гидранта закрытой оросительной сети. Выполняет полив в движении и изменение его нормы в широких пределах практически в любых почвенно-климатических районах. Не требует специальной планировки поля, если его уклоны не превышают допустимых значений.

Действия механика-оператора сводятся к управлению (установке направления движения, требуемой нормы полива), наблюдению за работой машины, переключению гибкого рукава к соответствующему гидранту, проведению технического обслуживания и устранению неисправностей.

Состоит из центральной подвижной опоры (рис. 34), составных секций ферм и консоли, элементом которых является водопроводящий трубопровод. Фермы соединены между собой шаровыми шарнирами и опираются на тележки с электроприводом с пневмоколесами. В конце основного трубопровода расположена консоль, поддерживаемая тросами. Водопроводящий трубопровод подсоединен к опоре центральной подвижной с помощью шарниров. Стыки трубопроводов между фермами и неподвижной опорой соединены муфтами.

Вода под напором от насосной станции по закрытой оросительной сети поступает на гидрант дождевальной машины, посредством гибкого рукава подводится к центральной подвижной опоре, в трубопровод машины и далее через устройства приповерхност-

ного дождевания распыляется на поле дождеобразующими устройствами.



Рис. 34. Общий вид универсальной дождевальной машины «Кубань»-А195-57,7-01 в работе

На стояке опоры центральной подвижной установлен манометр для визуального контроля давления воды. В штуцер под установку манометра ввернуты два штуцера с трубами, соединенными с датчиком минимального давления. Датчик предназначен для выдачи электрического сигнала в шкаф управления на остановку машины и прекращение подачи воды из внешней оросительной системы в трубопровод машины при отклонении давления воды ниже установленных пределов.

Управление движением машины осуществляется СУЭМ (система управления электромеханическая), включающей в себя шкаф управления, закрепленный на опоре центральной подвижной опоры, токопереход, установленный на поворотном колене трубопровода, приборы ПСЛ (прибор синхронизации линии), размещенные в местах шарнирных соединений водопроводящего трубопровода над каждой из промежуточных тележек, прибор ПСЛ-К, расположенный над последней опорной тележкой.

Экономическая эффективность:

- ▶ впервые в Российской Федерации создана дождевальная машина, которая обеспечивает фронтальное и круговое движение при поливе прямоугольного орошаемого участка с забором воды из закрытой оросительной сети с использованием гибкого напорного трубопровода;

- ▶ повышается коэффициент земельного использования до 0,96-0,98 вместо 0,81-0,83 у ДМ «Фрегат» и соответствующих зарубежных ДМ;

- ▶ снижается металлоемкость при поливе прямоугольных участков, так как используется одна машина вместо трех ДМ кругового действия;

- ▶ улучшаются технологичность ДМ при выращивании на поле нескольких сельскохозяйственных культур с разными сроками полива, посадки и уборки по сравнению с ДМ кругового действия и агротехнические показатели полива – равномерность полива – высокая ($K_{\text{эф п}} = 0,89-0,92$), дождевальные насадки формируют мелкокапельный дождь со средним диаметром капель 0,8-1,2 мм, потери воды – минимальные (3-6%).

Конструкторская документация на подвижную опору, электрифицированную многоопорной дождевальной машины ферменной конструкции ипподромного типа «Кубань» передана на производство в ООО «БСТ» (г. Тольятти), где был изготовлен экспериментальный образец машины.

Экспериментальный образец электрифицированной многоопорной дождевальной машины ферменной конструкции ипподромного типа «Кубань» прошел полевые и сертификационные испытания на орошаемом участке ИП Рымчук П.В. с участием представителей ФГБУ «Поволжская МИС» и сотрудников ФГБНУ «ВолжНИИГиМ».

16. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН И РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ

Важнейший эксплуатационный показатель дождевальных машин – производительность, так как от нее зависят возможная обслуживаемая площадь, требуемое количество операторов, своевременность поливов, способность выдержать оптимальный режим влажности почвы в период вегитации и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Производительность дождевальных машин за смену определяется по формуле

$$W_{см} = \frac{3,6Qt_{см}}{m\beta} k_{см}, \quad (33)$$

где $t_{см}$ – продолжительность смены, ч;

Q – расход воды, л/с;

m – норма полива;

β – коэффициент, учитывающий потери воды на испарение при дождевании;

$K_{см}$ – плановый коэффициент использования смены.

Для повышения производительности машин при определенной норме полива необходимо увеличение расхода воды и коэффициента использования смены, а также снижение потери воды на испарение при дождевании.

В орошаемых хозяйствах проведены работы по повышению производительности неполнокомплектных (двух-тринадцатипорных) ДМ «Фрегат» за счет увеличения расхода воды до 50-100 л/с. Работы выполнены при условии, что требуемые показатели обеспечат насосные агрегаты, подводящая оросительная сеть и почвенно-рельефные условия поля. Время оборота машин – 7,5-40,5 ч, что приемлемо при выращивании влаголюбивых овощных культур.

В «ВолжНИИГиМ» разработаны карты настройки ДМ «Фрегат» увеличенного расхода воды с модернизированными дождевальными аппаратами и дефлекторными насадками, внедрены они в ряде хозяйств Саратовской области. Так, в ООО «Кривовское» Марковского района на тринадцатипорной машине марки ДМ при

увеличении расхода воды с 68 до 85 л/с возросли производительность на 25% и равномерность полива за счет повышения степени перекрытия струй. Коэффициент эффективного полива составил 0,742. В ОПХ ФГНУ «ВолжНИИГиМ» увеличен расход воды с 9 до 16 л/с на четырехопорной ДМ «Фрегат» и производительность повысилась в 1,8 раз, а при увеличении расхода воды шестиопорной ДМ «Фрегат» с 13 до 30 л/с производительность повысилась в 2,3 раза. Аналогичные работы выполнены на орошаемых участках в Марксовском районе и ООО «Товарное хозяйство» Энгельсского района.

Работы по увеличению расхода воды на многоопорных электрифицированных дождевальных машинах проведены в Саратовской и Волгоградской областях. На ДМ «Кубань-ЛК1» в ООО «Лидер» (Волгоградская область) с дождевальными насадками, настроенными по разработанным в «ВолжНИИГиМ» картам, расход воды увеличен с 70 ($H = 0,35$ МПа) до 80 л/с при $H = 0,37$ МПа (14,2%) и до 90 л/с при $H = 0,4$ МПа.

Изменением напора на входе машины от 0,2 до 0,4 МПа можно регулировать расход воды машины «Кубань-ЛК1» в целях экономии электроэнергии на насосной станции при групповой эксплуатации за счёт оптимизации режима работы насосных агрегатов.

В ООО «Росагро Заволжье» (Саратовская область), где летом также сложные климатические условия, проведены работы по увеличению расхода воды на ДМ T-L и «Bauer». На ДМ T-L стандартный расход воды 68 л/с при $H = 0,3$ МПа увеличен за счёт монтажа требуемых насадок до 80 л/с при $H = 0,4$ МПа (увеличение расхода воды и производительности – 17,6%).

Благодаря монтажу насадок на ДМ «Bauer» со стандартным расходом воды 45 л/с при $H = 0,2$ МПа он доведен до 67 л/с при $H = 0,36$ МПа (повышение расхода воды и производительности – 48,8%), а на ДМ «Valley» при исходном расходе воды 57 л/с при $H = 0,3$ МПа – до 70 л/с при $H = 0,36$ МПа (повышение расхода воды и производительности – 22,8%).

На многоопорных электрифицированных дождевальных машинах при использовании водопроводящего трубопровода $\varnothing 219$ и 254 мм предусмотрено увеличение расхода воды до 120-150 л/с для

машин длиной 400-500 м, при этом производительность повышается в 1,4-1,6 раз. Машины с большим расходом воды (150 л/с) используются на электрифицированных машинах длиной 800 м в ООО «Наше дело» (Энгельсский и Марковский районы).

17. ОЧИСТКА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ОТ МУСОРА И ВОДОРОСЛЕЙ НА ВОДОЗАБОРЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ И НА ВХОДЕ В ДОЖДЕВАЛЬНУЮ МАШИНУ

Основными функциями водозаборов насосных станций мелиоративного назначения являются забор оросительной воды из открытых источников – оросительных каналов, прудов, рек, озер, водохранилищ и ее очистка от плавающих водорослей, планктона, мусора, наносов и др.

Одной из причин снижения эффективности водозаборов насосных станций является засорённость воды, забираемой из водоприёмников. Сор, находящийся в воде, может нарушить работу насосной станции, поэтому вода, попадающая в приемную камеру или колодец из водоема, должна быть очищена.

В Саратовской области вода на основных оросительных системах подаётся по открытым каналам большой протяжённости. Так, длина основного канала Приволжской оросительной системы (ОС) от водозабора (с. Звонарёвка) до НС № 22 (ООО «Кривовское») составляет 57,5 км. На Энгельсской оросительной системе им. Ю.А. Гагарина длина канала от водозабора до НС № 6 (ООО «Липовское») – 25, до НС № 10 – 13,5 км.

Вода оросительных систем Поволжья засоряется в основном водорослями, планктоном, остатками стеблей сорной и культурной растительности, листьями, семенами, ветками деревьев, пластиковыми бутылками, ракушками, рыбой, керамзитом и др. (рис. 35, 36).



Рис. 35. Засоренность тупикового оросительного канала перед водовыпуском на Приволжской оросительной системе (ООО «Кривовское»)



Рис. 36. Плавающий мусор перед сороудерживающей решеткой и его складирование после очистки на тупиковом водозаборе насосной станции № 4 Энгельсской ОС

На засоренность оросительной сети водорослями оказывают влияние время года и погода.

В начале поливного сезона, когда вода прохладная, водоросли развиваются медленно. В это время основную часть сора составляют остатки растений прошлого года.

Максимум водорослей приходится на наиболее теплые месяцы лета – июль и август. Если год прохладный, то рост водорослей менее интенсивный, чем в год с жарким летом.

Анализ обследований дождевальных машин и насосных станций показывает, что степень засоренности оросительной воды неравномерна.

В начале оросительной системы канал достаточно глубокий, обычно облицован, вода прохладная и имеет высокую скорость, небольшое количество водорослей на канале. Здесь оросительная вода засорена незначительно. В середине и конце оросительной системы глубина канала уменьшается, вода прогревается сильнее, что способствует росту водорослей и планктона, повышению засоренности оросительной воды.

На засорённость воды влияют также режим эксплуатации и погодные условия.

Во влажные годы, когда из-за обильных дождей забор оросительной воды на полив практически прекращается и дождевальные машины не работают, начальный участок канала оросительной системы наполняется водой, которая имеет малую скорость движения.

В стоячей воде быстро развиваются водоросли, которые засоряют уже первые насосные станции.

В период окашивания каналов засорение воды увеличивается в результате попадания остатков скошенной растительности в русло канала.

Большое количество растительных остатков и мусора обычно скапливается около решёток тупиковых и перекачивающих водозаборов насосных станций.

Очистка решёток проводится вручную весь весенне-осенний период, затраты на выполнение этих работ достаточно велики.

Засорению решет способствует также понижение уровня воды в аванкамере до критических значений, что вызывает кавитационные

режимы работ насосов и повышает их износ, приводит к поломке и увеличению потребления электроэнергии в 1,15-1,2 раза на каждый кубометр поданной воды.

На основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

► для очистки водозаборов в основном применяются решётки, обеспечивающие грубую очистку воды. Полутонкая очистка оросительной воды предусмотрена в середине оросительных систем с транзитным водозабором;

► очистку решёток от сора проводят вручную операторы насосных станций и специальные бригады, для чего применяют вилы с загнутыми концами (в виде грабель).

Разработка сороочистного устройства транспортного типа

Для механизированной очистки сороудерживающей решётки предлагается использовать два сороочистных устройства транспортного типа.

Одно из них представляет собой транспортёр шириной 2,2 м, и длиной 5 м с четырьмя цепями с поперечными планками.

Состоит из цепочного транспортёра, который смонтирован на прямоугольной раме, выполненной из квадратной трубы 60х60 мм, и установлен на сороудерживающую решётку. На поперечных планках транспортёра наварены очистные граблины. Привод включает мотор-редуктор с электродвигателем мощностью 0,75 кВт (передаточное отношение 1:50). При частоте вращения электродвигателя 1500 мин⁻¹ частота вращения на выходе из редуктора – 30 мин⁻¹. Через звездочки и цепную передачу вращение передается на приводной вал транспортёра. Передаточное отношение звездочек обеспечивает снижение частоты вращения привода вала с 30 до 20 мин⁻¹.

Для очистки граблин от мусора используется очистной бiter в виде пластмассового вращающегося ерша. Привод на бiter обеспечивается цепной передачей. На редукторе можно смонтировать колесо для ручного протягивания транспортёра в случае заклинивания. Для регулировки натяжения цепи транспортёра используется натяж-

ное устройство с регулировочными болтами. На кольчатых цепях закреплены чешуйчатые решета с отверстиями $\varnothing$ 10-12 мм, что способствует тонкой очистке оросительной воды от мусора. В верхней части транспортера с его внутренней стороны установлена трубка с щелевыми насадками, обеспечивающими промывку решет струями воды под напором. Очистной битер позволяет дополнительно очистить от мусора чешуйчатые решёты и граблины.

Другое сороочистное устройство представляет собой транспортер шириной 3,3 м, длиной 5 м также с четырьмя цепями, но ширина поперечных планок больше.



Рис. 37. Экспериментальный образец сороочистного устройства транспортерного типа (смонтирован на водозабора подкачивающей насосной станции № 4)

В экспериментальной мастерской ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» проведены работы по изготовлению сороочистного устройства, включающего в себя раму, на которую болтами закреплены ведущий и ведомый валы. На звездочки этих валов смонтирован транспортер с планками и скребками. Сороочистное устройство установлено на водозаборе подкачивающей насосной станции № 4 Энгельсской ОС (рис. 37).

Преимущества разрабатываемого сороочистного устройства: возможность тонкой очистки воды от мусора при проходе через чешуйчатые решета с отверстиями $\varnothing$ 10-12 мм, удаления мусора с плоских стальных решёт движущимися граблинами, промывки струей воды и битером чешуйчатых решёт и граблин от мусора, применения электрифицированного привода, позволяющего снизить затраты труда по очистке плоских решёт и повысить эффективность сороочистного устройства.

В последние годы на вновь строящихся насосных станциях с небольшим и средним расходом воды (до 200 л/с) используют водозаборные сооружения типа ВЗУ-12 (изготовитель – ООО «Премимум», г. Балаково) (рис. 38), которые обеспечивают максимальный расход воды – до 210 л/с.



Рис. 38. Водозаборное устройство ВЗУ-12

Площадь всасывания – 7 тыс. см², диаметр входного фланца – 275 мм, габаритные размеры 3 × 4,1 × 1 м.

Для дополнительной очистки оросительной воды перед дождевальными машинами «Фрегат» монтируют фильтр вертикального расположения, который выпускает ООО «АгроТехСнаб».

Системы фильтрации для дождевальных машин, изготавливаемые в ООО «Мелиомаш», представлены двумя моделями – это водяные фильтры грубой очистки ДУ 200 и ДУ 300. Аналогичные фильтры изготавливаются ООО БСГ (г. Тольятти).

Фильтры универсальны, подходят для любой дождевальной техники отечественного и импортного производства. Благодаря тому, что фильтрующий элемент фильтра расположен в горизонтальной плоскости и имеет высокую пропускную способность за счет большой поверхности фильтрации, его производительность возрастает в несколько раз, а применение перфорированного листа из нержавеющей стали в качестве фильтрующего элемента обеспечивает долгую и бесперебойную работу фильтра. Преимущество фильтра – возможность осуществлять очистку в процессе его работы путем сброса накопившейся грязи через промывочный кран.

18. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ РАБОТ НА СИСТЕМАХ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Капельное орошение в России зарекомендовало себя с положительной стороны, так как позволяет проводить орошение с наименьшими затратами. Экономия воды, удобрений и средств защиты растений значительно снижает себестоимость полученной продукции. Благодаря тому, что капельное орошение обеспечивает ресурсосбережение и получение более качественной продукции, оно пользуется спросом в мелких крестьянских (фермерских) хозяйствах (К(Ф)Х).

Однако при эксплуатации систем капельного орошения возникают трудности, связанные со сборкой лент, – высокие затраты труда и невозможность повторного использования.

В ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» изготовлен намотчик лент капельного орошения в двух исполнениях.

Укладчик-сборщик капельной ленты УСКЛ (рис. 39) предназначен для механизации труда при укладке и демонтаже капельной ленты на сельскохозяйственном участке. Данное техническое средство позволяет производителю сельскохозяйственной продукции повысить производительность труда при организации работ по её укладке и сборке.



*Рис. 39. Универсальный укладчик-сборщик капельной ленты
УСКЛ*

Работает намотчик ленты капельного орошения следующим образом. Трактор с намотчиком устанавливается на поле вдоль лент капельного орошения. Тракторист пропускает концы четырех лент между щетками и лентоукладчиками и закрепляет каждую ленту на катушке.

В момент начала движения трактора вдоль лент тракторист включает гидромотор, который через цепную передачу передает вращательное движение на центральный вал. При вращении вала с катушками ленты капельного орошения, проходя между щетками и лентоукладчиками, сматываются в бобины на катушке.

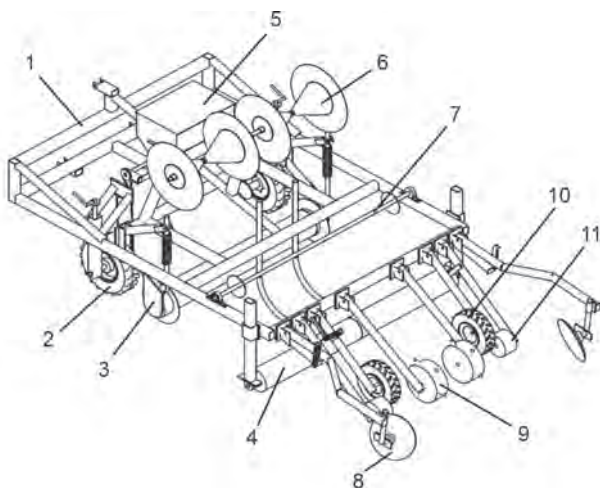
С центрального вала через клиноременную передачу вращение передается на эксцентрик привода, который обеспечивает колеба-

тельное движение тяги и лентоукладчиков и равномерно укладывает ленты на катушках.

Опытный образец укладчика-сборщика капельной ленты УСКЛ изготовлен в экспериментальной мастерской и прошел полевые испытания в ОПХ «ВолжНИИГиМ». Получены патент на полезную модель № 209677 и сертификат на его производство. В рамках лицензионного соглашения разработка передана на предприятие-изготовитель (ООО «АгроТехСервис», г. Маркс) для серийного производства.

Укладчик-сборщик капельной ленты и пленки УСКЛП-1,5

Передвижной, разработан для повышения эффективности эксплуатации инновационных систем капельного орошения, увеличения срока службы ленты капельного орошения, снижения затрат на ее ежегодное приобретение, а также затрат ручного труда по сборке после поливного сезона, улучшения экологического состояния почвы орошаемого участка (рис. 40).



a



б

*Рис. 40. Укладчик-сборщик капельной ленты и пленки УСКЛП-1,5:
а – схема; б – фото*

Состоит из рамы 1 на колёсах 2 с прицепным устройством. На раме смонтирован каток 3 для выравнивания почвы. Туковывсевающий аппарат 5 обеспечивает подачу удобрений в почву.

На валу 6 могут монтироваться бобины с лентами капельного орошения или катушки для сборки осенью. На валу 7 монтируется пленка, которая укладывается на почву и прижимается валом 4 и колёсами 10, 11.

Края пленки присыпаются почвой с помощью диска 8. Перфоратор 9 предназначен для пробивки отверстий в укрывном материале для посадки рассады.

Вращение катушек осуществляется от центрального приводного вала посредством цепной передачи, который вращается от вала гидромотора.

Укладчик-сборщик капельной ленты и пленки УСКЛП-1,5 монтируется кронштейном сцепки на навеске трактора МТЗ-80, работает на скорости 4-7 км/ч, обеспечивает высокую производительность.

Используется для механизации работ на системах капельного орошения и обеспечивает:

- ▶ повышение эффективности эксплуатации инновационных систем капельного орошения (подкормка почвы туками и другими химическими элементами, формирование в пленке отверстий для посадки сельскохозяйственных культур семенами или рассадой и др.);
- ▶ увеличение срока службы лент капельного орошения и пленки, снижение затрат на их ежегодное приобретение;
- ▶ уменьшение затрат ручного труда при сборке лент капельного орошения после поливного сезона.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Абрамов А.М.** Методы определения эрозионно-допустимых поливных норм при дождевании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1987. – 18 с.
2. **Айдаров Н.П., Голованов А.И.** Оросительные мелиорации. – М.: Колос, 1982.
3. **Бубенчиков М.А.** О снижении энергоемкости полива короткоструйных дефлекторных насадок / М.А. Бубенчиков, А.Н. Данильченко, Н.П. Пацер // Экологическое и экономическое обоснование технологии и технических средств полива: сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – М., 1989. – С. 42-47.
4. **Васильев С.М., Шкура В.Н.** Дождевание. Новочеркасск, РосНИИПМ, 2016. – 352 с.
5. **Гаврилица О.А.** Эрозионная деградация черноземов при поливе дождеванием и пути ее предупреждения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / – Кишинев, 1991. – 48 с.
6. **Гаджиев Г.М.** Особенности орошения приоазисных песков дождеванием / Г.М. Гаджиев, Ю.С. Пунинский // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – № 5. – С. 38-41.
7. **Городничев В.И.** Расчет на ЭВМ линейных размеров и энергетических характеристик дождя / В. И. Городничев [и др.] // Новое в технике и технологии полива: сб. науч. тр. / ВНПО «Радуга». – М., 1979. – Вып. 12. – С. 104-113.
8. **Гусейн-заде С.Х.** Многоопорные дождевальные машины. – М.: Колос, 1976. – 176 с.

9. **Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А.** Математическое моделирование водопроводящего пояса дождевальных машин // Науч. жизнь. – 2017. – № 9. – С. 20-28.

10. **Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А.** Исследования характеристик потока воды в водопроводящем поясе дождевальной машины // Науч. жизнь. – 2018. – № 2. – С. 16-25.

11. **Данильченко А.Н.** Природоохранные режимы и технологии орошения дождеванием кормовых культур в степной зоне Прииртышья: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. – М., 2008.

12. Дождевальная машина «Фрегат» ДМУ. Руководство по эксплуатации ДМУ-00.000РЭ. – М., 1986.

13. **Журавлева Л.А.** Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальные машины кругового действия: дис. ... д-ра техн. наук: Саратов, 2018. – 409 с.

14. **Исаев А.П.** Гидравлика дождевальных машин. – М.: Машиностроение, 1973. – С. 215.

15. **Колесников Ф.И.** Методика оценки эффективности дождевальных машин. – М., 1975. – 157 с.

16. **Лебедев Б.М.** Дождевальные машины. – М.: Машиностроение, 1977.

17. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 304 с.

18. **Ольгаренко Г.В.** Дождевальная техника нового поколения / Г.В. Ольгаренко, В.И. Городничев// Мелиорация и водное хоз-во. – 2006. – № 2. – С. 34-36.

19. **Ольгаренко Г.В.** Стратегия научно-технической деятельности по разработке новой техники для орошения при реализации программы развития мелиорации // Мелиорация и водное хоз-во. – 2011. – № 6. – С. 5-8.

20. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения. Спр. под общей ред. Г.В. Ольгаренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 503 с.

21. **Рыжко Н.Ф., Озерская Т.Н., Рыжко Н.В.** [и др.] Рекомендации по настройке дождевальных аппаратов машин «Фрегат». – Саратов, 1989. – 46 с.

22. **Рыжко Н.Ф.** Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевальных машин // ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – 176 с.

23. **Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В.** К вопросу оценки норм полива при дождевании // Сб. науч. тр. / ВолжНИИГиМ. – Саратов, 2002.

24. **Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В.** Испарение и снос дождя при поливе дождеванием // Сб. науч. тр. / ВолжНИИГиМ. – Саратов, 2000.

25. **Рыжко Н.Ф.** Совершенствование поливной техники и повышение качества дождя на примере низконапорной ресурсосберегающей дождевальной машины «Фрегат»: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2002.

26. **Рыжко С.Н.** Совершенствование дождевальных машин ферменной конструкции для улучшения технических характеристик и качественных показателей полива: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2022. – 24 с.

27. **Рязанцев А.И.** и др. Низконапорная дождевальная машина «Фрегат» // Журн. «Гидротехника и мелиорация», 1986. – № 5. – С. 33-35.

28. **Рязанцев А.И.** Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях. – Рязань, 1991. – 190 с.

29. **Турапин С.С.** Тенденции развития широкозахватных дождевальных машин // Техника и оборуд. для села. – 2016. – № 6 – С. 18-22.

30. **Фокин Б.П.** Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Ставрополь, 2002. – 52 с.

31. **Соловьев Д.А., Журавлева Л.А.** Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива // Вестн. АПК Верховолжья. – Ярославль, 2018. – № 1. – С. 38-44.

32. Справочник «Орошение» под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990.

33. Справочник по механизации орошения под ред. Б.Г. Штепа. – М.: Колос, 1979.

34. Широкозахватные дождевальные машины «Фрегат» и «Волжанка»: сб. науч. тр. ВНИИМиТП. – Т. 5. – Коломна, 1974 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Особенности конструкций современной многоопорной дождевальной техники, преимущества и недостатки	7
2. Основные направления совершенствования дождевальных машин и технологий полива	12
3. Классификация дождеобразующих устройств и тенденции их совершенствования	18
4. Особенности конструкции дефлекторных насадок кругового и секторного полива для дождевальных машин.....	24
5. Модернизация дождевальных аппаратов «Фрегат»	30
6. Норма полива до стока при поливе дождеванием и предложения по ее увеличению	36
7. Оценка величины потерь воды на испарение и снос при поливе дождеванием	44
8. Особенности конструкций устройств приповерхностного дождевания для дождевальных машин и пути их совершенствования	51
9. Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от качества полива дождевальных машин	59
10. Снижение потребления электроэнергии на подкачивающих насосных станциях мелиоративного комплекса.....	63
11. Технические решения по снижению напора на входе ДМ «Фрегат».....	67
12. Технические решения и предложения по снижению потребления электроэнергии на подкачивающих насосных станциях.....	74
13. Технические решения по повышению проходимости многоопорных дождевальных машин	79
14. Коэффициент земельного использования дождевальных машин кругового действия и технические решения по его повышению..	86
15. Совершенствование дождевальных машин для снижения металлоёмкости и стоимости	90
16. Повышение производительности дождевальных машин и результаты внедрения	105

17. Очистка оросительной воды от мусора и водорослей на водо- заборе насосной станции и на входе в дождевальную машину	107
18. Оборудование для механизации работ на системах капельного орошения	113
Литература	118

**Николай Федорович Рыжко,
Сергей Николаевич Рыжко,
Евгений Станиславович Смирнов,
Евгений Александрович Шишенин,
Борис Николаевич Бельтиков**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН И УСТРОЙСТВ ДЛЯ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА

Научно-практическое издание

Редактор *В.И. Сидорова*
Обложка художника *Т.Н. Лапиной*
Компьютерная верстка *А.Г. Шалгинских*
Корректоры: *В.А. Белова, С.И. Ермакова*

fgnu@rosinformagrotech.ru

Подписано в печать 08.06.2023	Формат 60×84/16		
Печать офсетная	Бумага офсетная	Гарнитура шрифта «Times New Roman»	
Печ. л. 7,75	Тираж 500 экз.	Изд. заказ 33	Тип. заказ 98

Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех»,
141261, Московская обл., г.о. Пушкинский, рп. Правдинский, ул. Лесная, д. 60

ISBN 978-5-7367-1744-6



9 785736 717446 >

