

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПОЛИВЕ МНОГООПОРНЫМИ
ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ**

Н.Ф. Рыжко С.Н. Рыжко, Е.С. Смирнов, С.А. Хорин

Ключевые слова: дождевальные машины, низкий напор, дополнительный полиэтиленовый трубопровод, увеличение скорости машины, эффективность полива

Keywords: sprinkling machine, low pressure, additional polyethylene pipeline, increased machine speed, irrigation efficiency

Обоснована важность проведения работ по переводу ДМ «Фрегат» на низконапорный режим работы и повышение качества полива. Дано описание конструкции низконапорный ДМ «Фрегат» с дополнительным полиэтиленовым трубопроводом, который подает воду в гидроцилиндры машины. Для очистки оросительной воды, подающейся в гидроцилиндры, от мусора предложен наружный фильтр тонкой очистки и промывной фильтр, устанавливающийся в потоке воды поворотного колена неподвижной опоры. Приведена методика расчёта диаметра дополнительного полиэтиленового трубопровода и напора на входе машины в зависимости от её модификации. При использовании дополнительного полиэтиленового трубопровода диаметром 63 мм и цикличности гидроцилиндра последней тележки 4 ход/мин давление на входе в машину снижается с 0,53-0,7 МПа до 0,37-0,45 МПа или в 1,3-1,5 раза. Установлено, что в реальных условиях эксплуатации для машины с большим сроком службы, могут наблюдаться значительные протечки в гидроприводах, что приводит к снижению цикличности гидропривода последней тележки до 1-2 ход/мин. Для таких машин, чтобы увеличить скорость движения в 2-4 раза использована запитка гидроцилиндров из дополнительного полиэтиленового трубопровода только во второй половине трубопровода машины. Исследованиями подтверждена высокая эффективность перевода ДМ «Фрегат» на низконапорный режим работы, при котором на орошаемых участках увеличивается число одновременно работающих машин, повышается водоподача насосного агрегата и насосной станции в целом, снижается время полива орошаемого участка, давление на выходе насосной станции и затраты электроэнергии на подачу оросительной воды. Годовой экономический эффект от снижения потребления электроэнергии составляет от 0,2 до 1,7 млн. рублей в зависимости от площади орошаемого участка.

The relevance of the research is caused by the need to reduce energy losses during irrigation and improve the quality of irrigation of the «Fregat» sprinkling machines. The article describes a low-pressure sprinkling machine «Fregat» with an additional polyethylene pipeline and a filter that provides fine cleaning of water from debris and feed to the hydraulic drives of the sprinkling machine's carts. The formulas are given and the sequence for calculating the diameter of the additional polyethylene pipeline and the pressure at the inlet to the machine, depending on its modification, is shown. When using an additional polyethylene pipeline with a diameter of 63 mm and the cyclicity of the hydraulic cylinder of the last cart equal to 4 strokes/min, the pressure at the inlet of machines of various modifications decreases from 0.53-0.7 MPa to 0.37-0.45 MPa or 1.3-1.5 times. For such machines, in order to increase the movement speed by 2-4 times, the hydraulic cylinders are fed with water from an additional polyethylene pipeline only in the second half of the length of the machine pipeline. Researches have confirmed the high efficiency of modifying the «Fregat» sprinkling ma-

chine to a low-pressure operating mode, which leads to optimization of the pumping station operation, also increases the number of simultaneously operating machines, decreases the time of irrigation of an irrigated area and a decreases an electricity consumption for irrigation.

Введение. Многоопорные дождевальные машины (ДМ) являются передовыми разработками в орошаемом земледелии. Широкозахватные машины обеспечивают полив в автоматическом режиме, орошают значительные участки поля 60...80 га и более, а оператор может одновременно обслуживать 3-4 машины. Многоопорные дождевальные машины являются основными в мелиоративном комплексе страны и обеспечивают полив порядка 56 % орошаемых земель [1]. В нашей стране эксплуатируется большое количество современных многоопорных машин «Фрегат» и «Кубань-ЛК». В последние годы стали выпускаться новые многоопорные машины электро-и гидроприводом - «Кубань-С», «Казанка», «Каскад», «Корвет» и др. Также в стране продолжают эксплуатироваться значительное количество ДМ «Фрегат», на их долю приходится 27 %, а в Саратовской области достигает 57 %. В ряде хозяйств Саратовской области продолжается процесс восстановления орошаемых земель, где после ремонта вводятся в эксплуатацию машины «Фрегат». Это такие хозяйства как ООО «Время-91», ООО «Воскресенское», ООО «Вита-92» и др. Серийные ДМ «Фрегат» являются наиболее энергоёмкими, так как на входе должно быть давление 0,5-0,7 МПа, а на насосной станции – 1-1,2 МПа, на подачи 1000 м³ воды затрачивается 360-680 кВт·ч. Число одновременно работающих машин на орошаемом участке, которые имеют значительный срок службы, меньше проектного, это вызвано значительными протечками в трубопроводе машин и гидроприводах, что вызывает нехватку давления на дальние машины [2]. Для таких ДМ «Фрегат» характерным является невысокое качество полива.

Поэтому работы по снижению энергоёмкости и повышению качества полива дождевальных машин является актуальными. Цель исследований –

разработка и внедрение низконапорных ДМ «Фрегат» для снижения потребления электроэнергии и оценка их эффективности.

Материалы и методы. Исследования эффективности работы многоопорных дождевальных машин проводилась на оросительных системах Саратовской области. Полевые исследования на ДМ «Фрегат» проводились в соответствии с требованиями РД 70.11.1-89 и СТО АИСТ 11.1-2010.

В ВолжНИИГиМ для перевода ДМ «Фрегат» на низконапорный режим работы использовали дополнительный полиэтиленовый трубопровод (рис. 1), по аналогии с ЮжНИИГиМ и СлавНИИГиМ [3]. Полиэтиленовый трубопровод прокладывался параллельно основному стальному трубопроводу (патент № 159184). Он обеспечивал подачу воды на гидроприводы тележек. Крепление полиэтиленовой трубы осуществлялось при помощи хомутов.

Для обеспечения регулирования расхода воды машины применялся дисковый затвор, который изменял давления на её входе. Для дополнительной тонкой очистки воды подающей на гидроприводы тележек использовался наружный фильтр и промывной фильтр, устанавливаемые в потоке воды на стояке неподвижной опоры [4,5].

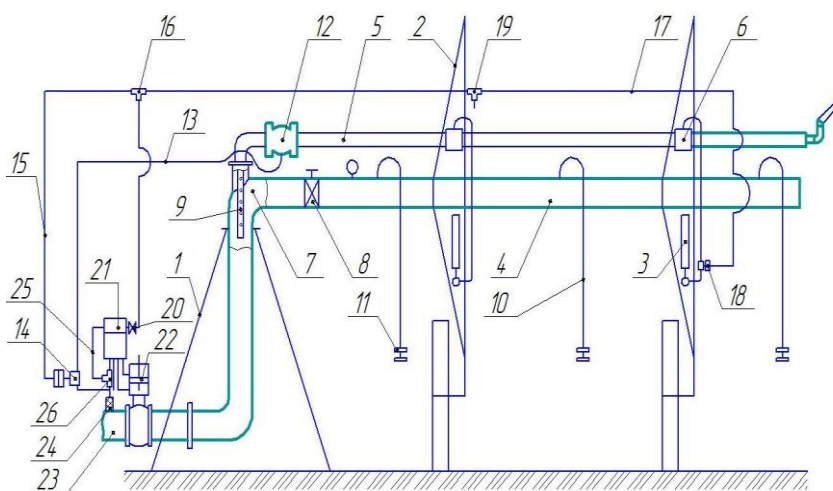


Рис. 1. Схема низконапорной дождевальной машины с дополнительным полиэтиленовым трубопроводом

При обосновании диаметра дополнительного полиэтиленового трубопровода в зависимости от модификации ДМ «Фрегат» мы учитывали:

- цикличность гидроцилиндра последней тележки $n_{\text{посл}}$, ход/мин:
- цикличность гидроцилиндра промежуточной i -ой тележки:

$$n_i = n_{\text{посл}} \left(\frac{R_i}{R_{\text{посл}}} \right), \text{ ход/мин,}$$

где R_i и $R_{\text{посл}}$ – радиусы траектории движения i -ой и последней тележек, м

- суммарную цикличность гидроцилиндров при движении всей машины:

$$n_{\text{ДМ}} = \sum n_i ;$$

- время цикла гидроцилиндра последней тележки:

$$T_{\text{ц}} = \frac{60}{n_{\text{посл}}}, \text{ сек;}$$

- расход воды на гидроцилиндре последней тележки:

$$q = \frac{V}{T_{\text{ц}}}, \text{ л/с,}$$

где V – объём гидроцилиндра, л ($V = 8$ л); $T_{\text{ц}}$ – время цикла гидроцилиндра, с.

- суммарный расход воды на передвижение всей машины:

$$q_{\text{ДМ}} = \sum q_i, \text{ л/с}$$

- скорость потока в полиэтиленовой трубе на i -ом пролёте машины:

$$V_{\text{п}} = \frac{10q_i}{0.785d_{\text{ВН}}^2}, \text{ м/с}$$

где q_i – расход на i -ом пролете машины, л/с; $d_{\text{ВН}}^2$ – внутренний диаметр трубы, дм.

- потери напора на i -ом участке полиэтиленового трубопровода длиной l_i :

$$h_i = \frac{0.685 V_{\text{п}}^{1.1774}}{d_{\text{ВН}}^{1.226}} \cdot l_i, \text{ м/с}$$

Суммарные потери напора в полиэтиленовом трубопроводе по всей длине машины равны сумме потерь напора на каждом пролете машины:

$$h_c = \sum h_i$$

Требуемый напор на входе в машину ($H_{\text{вх}}$) определяем по формуле:

$$H_{\text{вх}} = H_z + h_c$$

где h_c – суммарные потери напора в полиэтиленовом трубопроводе, м;
 H_c – требуемый напор в конце полиэтиленового трубопровода, м.

Расчёты позволили определить потери напора по длине трубопровода в зависимости от модификации ДМ «Фрегат» и цикличности гидроцилиндра последней тележки, которые показаны на рисунке 2 и в таблице 1.

Таблица 1

Потери напора по длине полиэтиленового трубопровода в зависимости от модификации ДМ «Фрегат» и цикличности гидроцилиндра последней тележки

Количество тележек машины	Потери напора по длине полиэтиленового трубопровода $\varnothing 63$, $d_{вн} = 57$ мм, м вод. ст.			
	Цикличность гидроцилиндра последней тележки машины, n , ход/мин			
	5,5	4,5	4,0	2,0
16	26,16	18,28	13,63	3,98
15	22,3	15,65	12,67	3,70
13	15,4	10,79	8,74	2,63
12	12,89	9,03	7,31	2,14

Расчёты позволили определить требуемый напор на входе ДМ «Фрегат» в зависимости от модификации и диаметра полиэтиленового трубопровода при отсутствии протечек в гидроприводах и при цикличности гидроцилиндра последней тележки 3,5 ход/мин (таблица 2).

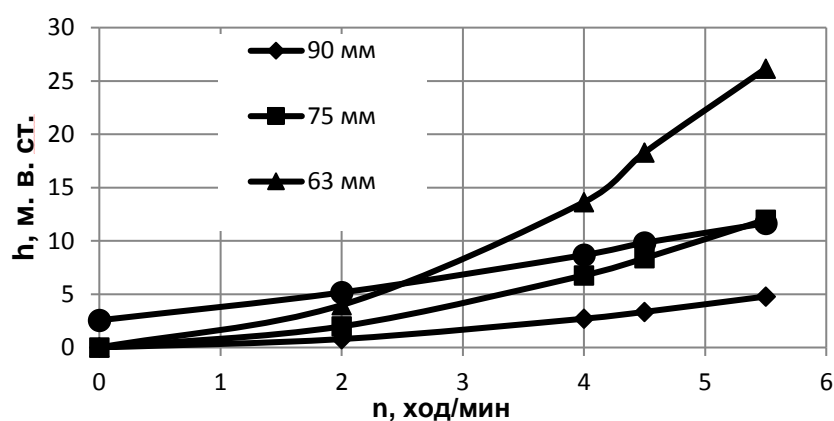


Рис. 2. Потери напора по длине полиэтиленового трубопровода в зависимости от цикличности гидропривода последней тележки и диаметра трубопровода

Требуемый напор на входе низконапорной ДМ «Фрегат» в зависимости от модификации и диаметра полиэтиленового трубопровода

Число опор машины, шт.		12	13	14	15	16
Расход воды машины, л/с		65	75	80	90	90
Напор на входе, м вод. ст.	Ø 63 мм	0,37	0,38	0,40	0,43	0,45
	Ø 75 мм	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37

Расчёты показывают, что применение дополнительного полиэтиленового трубопровода позволит снизить давление на входе в машину в 1,3-1,5 раз по сравнению с серийными машинами.

Результаты и обсуждение. В реальных условиях эксплуатации низконапорных ДМ «Фрегат» с дополнительным полиэтиленовым трубопроводом при наличии протечек в гидроприводах тележек может наблюдаться значительное снижение цикличности последней тележки с оптимальной величины 4-4,5 ход/мин до 1-2 ход/мин. При этом увеличивается время оборота машин.

Для увеличения скорости движения низконапорных машин и снижения времени оборота нами изменена схема подключения гидроприводов тележек (патент № 197710). Предлагаем запитку гидроцилиндров тележек в средней и концевой части машины проводить из полиэтиленового трубопровода, а в начале машины гидроцилиндры запитываются из основного трубопровода машины [6]. Расчёты показывают, что это позволит повысить цикличность гидропривода последней тележки в 2-4 раза, увеличить скорость движения и повысить эффективность использования низконапорной ДМ «Фрегат».

Исследования на 14-ти опорной ДМ «Фрегат» марки ДМ-394-80 в ООО «Время-91» и ООО «Наше дело» показывают, что с новыми клапанами-распределителями при отсутствии протечек в ООО «Наше дело» при подключении всех гидроприводов (вариант 1, таблица 3) максимальная скорость последней тележки равна 0,57 м/мин, а при увеличении протечек

гидроприводов на 15-25 % максимальная скорость последней тележки снижается до 0,16-0,32 м/мин.

Таблица 3

Скорость движения машины (V), время оборота ($T_{об}$) и норма полива (m) в зависимости от наличия протечек в гидроприводах тележек и схемы их подключения к полиэтиленовому трубопроводу

Схема подключения гидроприводов тележек	Наличие протечек	V , м/мин	$T_{об}$, час	m , м ³ /га
К полиэтиленовому трубопроводу подключены все гидроприводы (Вариант 1)	нет	0.57	69	361
	Протечки 15-25%	0.16-0.32	121-242	632-1265
К полиэтиленовому трубопроводу подключены гидроприводы во второй половине машины (Вариант 2)	нет	0.73	54	281
	Протечки 15-25%	0.59-0.65	60.5 - 69	316-365

При подключении к полиэтиленовому трубопроводу только гидроприводов во второй половине трубопровода в ООО «Время-91» максимальная скорость последней тележки увеличивается до 0,73 м/мин, а при увеличении протечек гидроприводов на 15-25 максимальная скорость последней тележки увеличивается до 0,59-0,65 м/мин.

Время оборота низконапорных машин по варианту 1 без протечек составило 69 час., а при наличии протечек увеличивается до 121-242 час. Время оборота машины по варианту 2 без протечек снижается 54 час., а при наличии протечек снижается до 60,5-69 час.

Минимальная поливная норма низконапорных машины по варианту 1 без протечек составило 361 м³/га, а при наличии протечек увеличивается до 632-1265 м³/га. Минимальная поливная норма низконапорных машины по варианту 2 без протечек снижается 281 м³/га, а при наличии протечек снижается до 316-365 м³/га.

Внедрение низконапорных ДМ «Фрегат» проведено в ряде хозяйств Саратовской и Волгоградской областей. В ООО «Наше дело» на ПНС № 2 Энгельсской ОС (площадь орошения – 917 га) из двадцати дождевальных

машин «Фрегат» десять наиболее удаленных машин (с большим количеством опорных тележек – 14...16 шт. и расходом воды – 80...90 л/с, хоз. № 1, 7, 9, 10, 15, 16, 17, 18, 19 и 20) переведены на низкий напор. Это позволило увеличить число одновременно работающих машин. Если до модернизации, в 2015 г. два насосных агрегата Д1250-125 с электродвигателем мощностью 630 кВт обеспечивали полив только 7-8 высоконапорных ДМ «Фрегат», то после перевода машин на низкий напор в 2016 г. одновременный полив проводили уже 10 машин. Максимальный расход воды двух агрегатов увеличился с 630 до 700...720 л/с.

При эксплуатации ДМ «Фрегат» в высоконапорном режиме в 2015 г. межполивной период составлял 16-18 дней, машины работали поочередно в три этапа. В 2016 г. цикл полива ДМ «Фрегат» на орошаемом участке состоял из поочередной работы двух групп машин – по 10 машин (таблица 4). Давление на насосной станции составляло 0,8 МПа, на входе машины в зависимости от места её расположения – 0,4...0,6 МПа. Время полного цикла для полива всего орошаемого участка – 11...12 дней при поливной норме 300 и 410 м³/га. За время цикла полива постоянно круглосуточно работали два насосных агрегата и только в конце цикла (1-2 дня) работал один агрегат для завершения круга у оставшихся машин, различной длины или имевшие простои на устранение неисправностей.

В 2017 г. на этом орошаемом участке стали одновременно включать в работу 14-15 ДМ «Фрегат», при работе трёх насосных агрегатов. Если число работающих машин уменьшалось до 11-13 шт., то включали два насоса, а в конце цикла полива работал один агрегат, который обеспечивал подачу воды на незавершившие полив 4-5 машин. Такой режим работы позволил завершить первый полив за 10 дней, а второй, третий и четвертый полив соответственно за 7,0; 6,5 и 6,6 дней.

Таблица 4

Эксплуатационные показатели работы орошаемого участка до и после перевода ДМ «Фрегат» на низконапорный режим работы

Показатели эксплуатации	2015 г.	2016 г.	2017г.			
			1-й полив	2-й полив	3-й полив	4-й полив
Продолжительность полива орошаемого участка, сут.	16-18	11-12	10	7	6,5	6,6
Число часов, отработанных агрегатами на насосной станции, ч.	462	370	347	297	298	299
Число одновременно работающих ДМ «Фрегат», ед.	7-8 от 2 насосов	10 от 2 насосов	10 от 2 насосов 14-15 от 3 насосов			
Максимальный расход насосной станции, л/с	600-650	680-720	680-720 – 2 насоса 900-1300 – 3 насоса			
Максимальная суточная выработка ДМ «Фрегат», га	50-60	75-80	90-140			
Эффект от уменьшения потребления электроэнергии за 4 полива $m=300$ м ³ /га, млн. руб.	-	1,04	1,7			

При эксплуатации машин в высоконапорном режиме, за 1 цикл полива общее время работы насосных агрегатов в 2015 г. составило 462 часа, в низконапорном режиме в 2016 г. – 370 часов, в 2017 г. при первом поливе – 347 часов, а при втором, третьем и четвёртом снижено до 297, 298 и 299 часов. Стоимость одного цикла полива двадцати ДМ «Фрегат» за поливной сезон 2016 г. в среднем составила 1040,0 тыс. рублей. Экономия затрат на один цикл полива от снижения времени работы агрегатов с 462 до 370 часов составила 260 тыс. рублей или за сезон (4 полива) – более 1,0 млн. рублей. При снижении времени работы агрегатов за полив до 299 ч. экономия электроэнергии составит порядка 310 тыс. руб. или 1,24 млн. руб. за сезон.

При давлении на выходе насосной станции 0,8 МПа снижается давление в закрытой оросительной сети и величина гидроударов при отключении машин «Фрегат». Это снижает порывы трубопроводов и повышает надёжность работы закрытой оросительной сети.

Работа при низконапорном режиме 10-ти машин «Фрегат» обеспечивает повышение дневной выработки до 75...80 га/сут., производительность за сутки повышается в 1,25 раза. Средняя дневная выработка ДМ «Фрегат» в 2017 г. увеличилась до 90...140 га/сут. или в 1,4...2,3 раза. Повышение производительности и выработки дождевальными машинами позволило снизить интенсивность труда, что позволило операторам иметь больше резервных дней для выполнения технического обслуживания машин.

Заключение.

1. Разработаны и внедрены в орошаемых хозяйствах Саратовской области низконапорные ДМ «Фрегат» с дополнительным полиэтиленовым трубопроводом и с фильтром тонкой очистки оросительной воды от мусора, подаваемой в гидроприводы тележек.

2. Разработана методика расчёта диаметра дополнительного полиэтиленового трубопровода и напора на входе в машину «Фрегат» в зависимости от её модификации.

3. В реальных условиях эксплуатации низконапорных ДМ «Фрегат» с большим сроком службы и при наличии протечек в гидроприводах тележек наблюдается снижение цикличности последней тележки машины до 1-2 ход/мин. При подключении гидроцилиндров тележек к дополнительному полиэтиленовому трубопроводу только во второй половине трубопровода машины обеспечивается увеличение скорости движения машины в 2-4 раза.

4. Многочисленными исследованиями подтверждена высокая эффективность низконапорных ДМ «Фрегат», которые обеспечивают эксплуатацию насосных станций в оптимальном режиме, при этом обеспечивается повышение числа одновременно работающих машин, снижается время полива орошаемого участка и затраты электроэнергии на полив. Экономическая эффективность от снижения потребления электроэнергии зависит от

площади полива орошаемого участка и составляет от 0,2 до 1,7 млн. рублей за поливной сезон с четырьмя поливами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.В. Ольгаренко [и др.] Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения / Под ред. Г.В. Ольгаренко: справочник. - М., ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. - 264 с.

2. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевальных машин / Н.Ф. Рыжко. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2009. - 176 с.

3. Хабаров В.Е. Дополнительное оборудование для работы ДМ «Фрегат» на пониженном напоре / В.Е. Хабаров, А.А. Соколов, Н.А. Козидубов, А.Ю. Дуров // Экономия энергозатрат и повышение экологической безопасности полива. Сб. науч. тр. СтавНИИГиМ, - Ставрополь, 1994. – С.14-18.

4. Рыжко Н.Ф. Особенности низконапорных ДМ «Фрегат» в зависимости от условий эксплуатации / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, С.А. Хорин, С.В. Ботов, Н.В. Рыжко // Научная жизнь. - 2018. - №11.- С. 6-15.

5. Дождевальная машина: пат. 180447, Рос. Федерация, МПК А01G 25/09. / Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н., Рыжко Н.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Волжский НИИ гидротехники и мелиорации»; № 20171395807; заявл. 15.11.2017; опубл. 14.06.2018, Бюл. № 17.

6. Дождевальная машина: пат. 197710, Рос. Федерация, МПК А01G 25/09. / Рыжко Н.Ф., Хорин С.А., Рыжко Н.В., Рыжко С.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Волжский НИИ гидротехники и мелиорации»; № 2019139454; заявл. 03.12.2019; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 15.

REFERENCES

1. G.V. Olgarenko [and others] Resursosberegayushchiye energoeffektivnyye ekologicheski bezopasnyye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva orosheniya [Resource-saving energy-efficient ecologically safe technologies and technical means of irrigation] / Ed. G.V. Olgarenko: reference book. - M., FGBNU "Rosinformagrotech", 2015. - 264 p.

2. Ryzhko, N.F. Sovershenstvovaniye dozhdeobrazuyushchikh ustroystv dlya mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin [Improvement of rain-forming devices for multi-support sprinkling machines] / N.F. Ryzhko. – Saratov: FGOU VPO Saratovskiy GAU, 2009. - 176 s.

3. Khabarov V.E. Dopolnitel'noye oborudovaniye dlya raboty DM «Fregat» na po-nizhennom napore [Additional equipment for the operation of the "Fregat" sprinkling machine at a lower pressure] / V.E. Khabarov, A.A. Sokolov, N.A. Kozidubov, A. Yu. Durov // Saving energy costs and improving

the environmental safety of irrigation. Sat. scientific. tr. StavNIIGiM, - Stavropol, 1994. - pp. 14-18.

4. Ryzhko N.F. Osobennosti nizkonapornykh DM «Fregat» v zavisimosti ot usloviy ekspluatatsii [Features of low-pressure "Fregat" sprinkling machine depending on operating conditions] / N.F. Ryzhko, S.N. Ryzhko, S.A. Khorin, S.V. Botov, N.V. Ryzhko // Scientific life. - 2018. - No. 11.- S. 6-15.

5. Dozhdeval'naya mashina [Sprinkling machine]: Pat. 180447, Rus. Federation, IPC AO1G 25/09. / Ryzhko N.F., Ryzhko S.N., Ryzhko N.V. [and etc.]; applicant and patentee FGBNU "Volzhsky Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation"; No. 20171395807; declared 11/15/2017; publ. 06/14/2018, Bul. No. 17.

6. Dozhdeval'naya mashina [Sprinkling machine]: Pat. 197710, Ros. Federation, IPC AO1G 25/09. / Ryzhko N.F., Khorin S.A., Ryzhko N.V., Ryzhko S.N. [and etc.]; applicant and patentee of the FGBNU «Volzhsky Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation»; No. 2019139454; declared 12/03/2019; publ. 05/25/2020, Bul. No. 15.

Рыжко Николай Фёдорович, доктор техн. наук, гл. науч. сотр., зав. отд. Модернизации технических средств и технологии полива, e-mail: ryzhkonf@bk.ru; Рыжко Сергей Николаевич, мл. науч. сотр; Евгений Станиславович Смирнов, мл. науч. сотр, (ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», г. Энгельс), Сергей Александрович Хорин, директор ООО «Агротехсервис», г. Маркс, e-mail: horin555@yandex.ru