

УДК 631.347.4; 519.873

UDC 631.347.4; 519.873

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ И ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «ФРЕГАТ»

AN INTEGRATED APPROACH TO EVALUATE AND IMPROVE THE OPERATIONAL RELIABILITY OF THE FREGAT IRRIGATION MACHINE

Сухарев Денис Владимирович
к.т.н., доцент, РИНЦ 5479-0523

Sukharev Denis Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences, associate Professor
RSCI SPIN-code=5479-0523

Журба Виктор Викторович
к.т.н., доцент, РИНЦ 1453-5517

Zhurba Viktor Viktorovich
Candidate of Technical Sciences, associate Professor
RSCI SPIN-code=1453-5517

Чайка Евгений Анатольевич
к.т.н., доцент, РИНЦ 7352-1113
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Chaika Evgeny Anatolievich
Candidate of Technical Sciences, associate Professor
RSCI SPIN-code=7352-1113
Novocherkassk engineering and ameliorative Institute of A. K. Kortunov name – branch of Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Don state agrarian University»

В статье содержится научно-обоснованный подход к оценке и повышению надежности ДМУ «Фрегат» в условиях эксплуатации Ростовской области. Исследуемыми показателями для элементов с наиболее низким ресурсом являлись: средняя наработка на отказ, среднее время восстановления, вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, интенсивность отказов, фактический и допустимый коэффициенты готовности. Проведен анализ основных неисправностей ДМУ «Фрегат», выявлены узлы и элементы, характеризующиеся наиболее низкой надежностью, для которых построены зависимости вероятностей безотказной работы, а также установлена зависимость и разработан порядок расчета оптимальной продолжительности восстановления отказавших элементов для обеспечения допустимого коэффициента готовности. Статистические данные по основным неисправностям отказывавших элементов собирались в течение трех поливных сезонов с 2013 по 2015 гг., были исследованы отказы в результате износа элементов по 17 дождевальным машинам. В результате исследований разработан математический аппарат расчета и сравнительной оценки готовности парков дождевальных машин различных хозяйств к выполнению своих технологических функций при одинаковом и неодинаковом количестве машин. Получена зависимость по определению допустимой продолжительности восстановления элементов, использование которой позволит определить основные направления повышения надежности ДМУ «Фрегат» на этапе эксплуатации

The article contains a scientifically based approach to assessing and improving the reliability of DMU "Frigate" in the conditions of the Rostov region. The studied parameters for the elements with the lowest resource were: mean time between failure, mean time to repair, probability of failure, the parameter flow of failures, failure rate, actual and allowable factors of readiness. The analysis of the main faults of DMU "Frigate", identified nodes and elements, characterized by the low reliability, for which the dependences of probabilities of failure-free operation, as well as the dependence and developed the procedure for calculating the optimal duration of recovery of failed elements, to ensure acceptable availability. Statistics on major faults refuse items were collected over the three irrigation seasons from 2013 to 2015, were investigated failures due to wear of the elements for 17 irrigation machines. As a result of the research we developed mathematical apparatus of calculation and the comparative assessment of the readiness of the parks sprinklers of various farms to perform their processing functions at the same and different number of machines. We obtained the dependence for determining the allowable duration of the recovery elements that will allow you to determine the main directions of improving the reliability of DMU "Frigate" during the operational phase

Ключевые слова: ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА, НАДЕЖНОСТЬ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ, ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ, ИЗНОС, КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ

Keywords: IRRIGATION SYSTEM, RELIABILITY, FAILURE RATE, PROBABILITY OF FAILURE, WEAR, AVAILABILITY

Более половины пашни в России находится в недостаточно увлажненных и засушливых районах южной части страны. Орошение увеличивает урожайность в среднем в 1,5-2 раза, а в засушливые годы в пять и более раз. В связи с этим орошаемое земледелие с применением современных методов и средств является важнейшим условием получения стабильных урожаев [1].

Проблему надежности поливной техники актуализирует ситуация, когда эксплуатируется часть дождевальных машин, отслуживших амортизационный срок и когда в пределах севооборота эксплуатируются машины с различными периодами их эксплуатации, и соответственно, с различными показателями надежности. Данная проблема актуальна в настоящее время и в ближайшей перспективе, когда осуществляется системная и не системная замена выработавшей или вырабатывающей свой амортизационный ресурс техники. Недостаток и низкая готовность поливной техники, приводят к увеличению продолжительности выполнения поливных работ, нарушению агротехнических требований и существенному снижению урожайности [2].

Анализ выхода из строя машин показывает, что 70 % этих случаев происходит из-за преждевременного износа деталей, который является наиболее распространенным видом разрушения и определяет срок службы большинства элементов машин. Надежность как количественную характеристику элементов и систем измерить невозможно, поэтому для расчета надежности необходимо использовать показатели, базирующиеся на анализе данных по отказам, а для получения показателей использовать методы математической статистики [1].

Для разработки комплексного подхода к оценке и повышению

надежности была выбрана дождевальная машина «Фрегат», так как в настоящее время она достаточно распространена в хозяйствах Ростовской области (313 единиц по данным мелиоративного Кадастра 2015 года) и эксплуатируется во многих хозяйствах гораздо больше установленного нормативного срока службы.

Методической основой при проведении работ служили:

- ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения;
- ГОСТ Р 27.004-2009 Надежность в технике. Модели отказов;
- ГОСТ Р 27.203-2012 Надежность в технике. Управление устареванием;
- ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей;
- ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения;
- ГОСТ 27.001-95 Система стандартов «Надежность в технике». Основные положения;
- ГОСТ 27.402-95 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 1. Экспоненциальное распределение.

Системный анализ отказов элементов ДМУ «Фрегат» и количественные расчеты проводились на основе методов математической статистики и теории надежности сельскохозяйственного машиностроения. Анализ статистических данных по отказам ДМУ «Фрегат» в результате износа их элементов проводился методом сбора и обработки информации по 10 хозяйствам Ростовской области. Исследуемое количество дождевальных машин составило 17 единиц с различным сроком службы. Минимальное количество низконадежных однотипных элементов ДМУ «Фрегат» для статистической обработки принято – 50 шт., максимальное – 73 шт.

В результате первоначальной обработки основных неисправностей элементов ДМУ «Фрегат» и причин их возникновения сформирована таблица 1 и построен на рисунке 1 совмещенный график зависимости вероятности безотказной работы элементов от продолжительности эксплуатации машины за период наблюдения с 2013 по 2015 годы.

Таблица 1 – Перечень отказов и неисправностей ДМУ «Фрегат» за период наблюдений 2013-2015 гг.

Наименование элемента	Средняя наработка до наступления отказа, ч	Причина отказа	Способ устранения неисправности	Продолжительность устранения неисправности, ч
Клапан-распределитель (ДМ-06.110)	1316	Истирание штока	Замена штока	2,1
Регулятор скорости движения тележек (ДМ-06.160)	955	Потеря упругости пружины	Замена пружины	5,3
Регулирующий клапан (ДМ-06.240)	1078	Износ из-за низкого качества воды	Замена клапана	7,2
Система гидравлической защиты (ДМ-06.010)	1144	Истирание и потеря герметичности полиэтиленового трубопровода	Замена поврежденного участка	0,8
Регулирующий кран (ДМ-06.690)	2280	Коррозия металлического шара	Замена крана	0,7
Гидроцилиндр в сборе (ДМ-02.250)	2157	Истирание эмалированной защиты вследствие некачественного изготовления		3,2
Кран-здатчик скорости (ДМ-06.220)	2412	Коррозия металлического шара	Замена крана	0,7

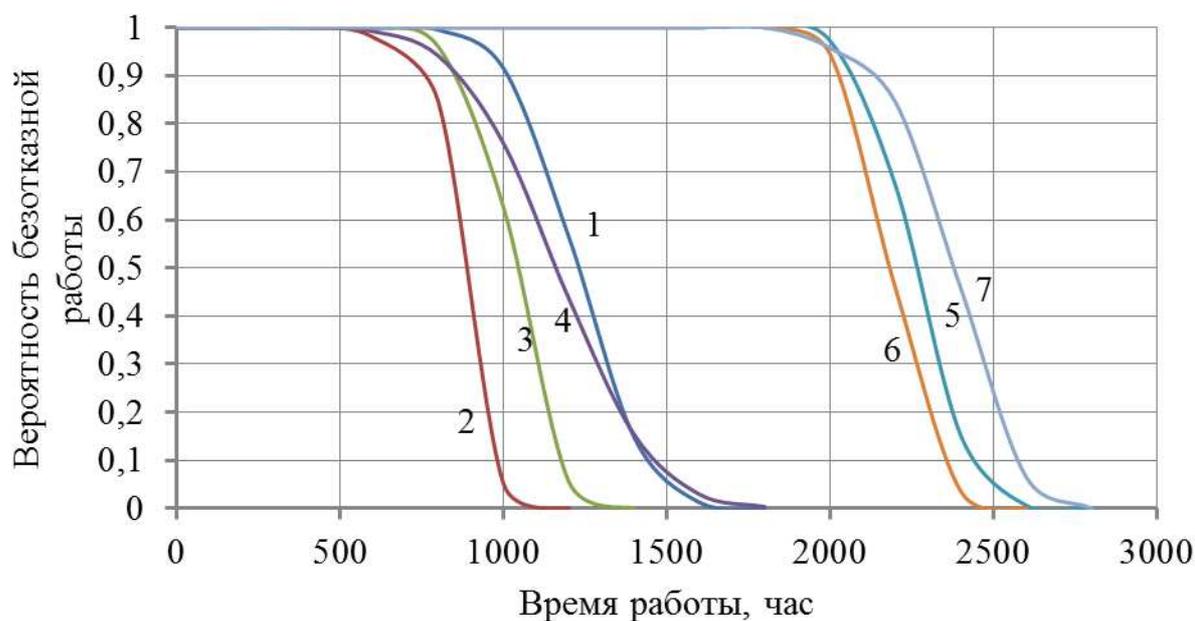


Рисунок 1 – Графики зависимостей надежности элементов ДМУ «Фрегат» от времени работы

1 – клапан-распределитель (ДМ-06.110); 2 – регулятор скорости движения тележек (ДМ-06.160); 3 – регулирующий клапан (ДМ-06.240); 4 – система гидравлической защиты (ДМ-06.010); 5 – регулирующий кран (ДМ-06.690); 6 – гидроцилиндр в сборе (ДМ-02.250); 7 – кран-задатчик скорости (ДМ-06.220);

Как показала статистическая обработка, распределение случайных величин (отказов в результате износа) исследуемых элементов ДМУ «Фрегат» подчиняется нормальному закону, на основании которого рассчитаны и представлены на рисунке 1 зависимости вероятностей безотказной работы.

Сущность комплексного подхода к оценке и повышению надежности заключается в выявлении низконадежных элементов и узлов ДМУ «Фрегат» (представленных в таблице 1), то есть элементов с меньшим ресурсом по сравнению с остальными, определению продолжительности их восстановления (ремонта или замены) в процессе эксплуатации и разработки мероприятий по обеспечению допустимого коэффициента готовности.

Требования к ремонтпригодности дождевальной техники задаются обычно в виде вероятности восстановления работоспособности за отведенное время или в виде среднего времени восстановления t_r . Также требования к ремонтпригодности задаются косвенно – через коэффициент готовности K_g , значение которого представлено зависимостью [3]:

$$K_g = \frac{t_s}{t_s + t_r}, \quad (1)$$

где t_s – средняя наработка дождевальной машины на отказ, ч;

t_r – среднее время восстановления работоспособного состояния, ч.

Этот показатель имеет смысл вероятности застать работающую дождевальную машину в работоспособном состоянии в произвольный момент времени. Запишем коэффициент готовности машины в виде:

$$K_g = \frac{t_s}{t_s + t_r} = \frac{1}{1 + t_r/t_s} = \frac{1}{1 + k_r}, \quad (2)$$

где k_r – коэффициент затрат на восстановление, показывающий, сколько времени требуется в среднем на восстановление работоспособности дождевальной машины для обеспечения одного часа безотказной работы.

При заданном допустимом значении коэффициента готовности, расчетное значение коэффициента готовности при эксплуатации должно быть не ниже допустимого, т.е. должно выполняться условие [4]:

$$K_g \geq K_{g.val} \quad (3)$$

Это условие будет выполнено, если коэффициент затрат на восстановление будет, как это следует из (1) и (2) удовлетворять условию:

$$k_r = \frac{t_r}{t_s} \leq \frac{1 - K_{g.val}}{K_{g.val}}. \quad (4)$$

Множество комбинаций t_s и t_r образует область допустимых вариантов обеспечения ремонтпригодности дождевальных машин. Отсюда сле-

дует, что в процессе эксплуатации необходимо добиться компромисса между средней наработкой на отказ t_s и средним временем восстановления t_r .

Допустим случай, когда средняя наработка на отказ машины в целом определена исходя из заданной вероятности безотказной работы и равна $t_{s.dm}$, известно также значение допустимого коэффициента готовности $K_{g.val}$. Область допустимых значений среднего времени восстановления машины должна быть ниже некоторого допустимого значения $t_{r.val}$:

$$t_r \leq t_{r.val} = t_{s.dm} \frac{1 - K_{g.val}}{K_{g.val}}. \quad (5)$$

Для дождевальной машины, которая отказывает при отказе хотя бы одного из входящих в нее элементов, среднее время восстановления определяется по зависимости, предложенной авторами [5-11]:

$$t_r = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{\omega_{dm}} t_{r.i} \quad (6)$$

где ω_i и ω_{dm} – параметры потоков отказов i -го элемента и дождевальной машины, соответственно.

Поскольку при расчете показателей безотказности дождевальной машины интенсивности отказов отдельных элементов принимались постоянными, т.е. время безотказной работы отдельных элементов принималось распределенным экспоненциально, то параметры потоков отказов отдельных элементов и системы в целом равны соответствующим интенсивностям отказов, так как каждый элемент при замене его после отказа аналогичным образует простейший поток восстановления. Тогда $\omega_i = \lambda_i$ и $\omega_{dm} = \lambda_{dm}$.

С учетом этого среднее время восстановления дождевальной машины можно записать в виде:

$$t_r = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_{dm}} t_{r.i} = \sum_{i=1}^n q_i t_{r.i}, \quad (7)$$

где q_i – вероятность отказа машины из-за отказа i -го элемента, полученная при расчете показателей безотказности; $t_{r,i}$ – среднее время восстановления i -го элемента.

Учитывая, что $1/\omega_{dm} = 1/\lambda_{dm} = t_s$ – средняя наработка машины на отказ, а $1/\omega_i = 1/\lambda_i = t_{s,i}$ наработка на отказ i -го элемента, среднее время восстановления работоспособного состояния машины можно записать в виде:

$$t_r = t_s \sum_{i=1}^n \frac{t_{r,i}}{t_{s,i}} = t_s \sum_{i=1}^n k_{r,i} \quad (8)$$

где $k_{r,i}$ – коэффициент затрат на восстановление i -го элемента.

Подставив полученное значение в формулу (1), получим:

$$k_r = \frac{t_s}{t_s + t_s \sum_{i=1}^n k_{r,i}} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n k_{r,i}} \quad (9)$$

Отсюда следует, что коэффициент затрат на восстановление машины равен сумме коэффициентов затрат на восстановление отдельных элементов:

$$k_r = \sum_{i=1}^n k_{r,i} \quad (10)$$

Так как отказ машины наступает в результате отказа одного из ее элементов, то коэффициенты равенства затрат на восстановление имеют равное влияние на коэффициент готовности машины в целом, т.е.:

$$\frac{t_{r1}}{t_{s1}} = \frac{t_{r2}}{t_{s2}} = \dots = \frac{t_{r,n}}{t_{s,n}} \quad (11)$$

Это требование означает, что элемент, отказывающийся чаще, должен восстанавливаться быстрее по сравнению с элементом, отказывающемся реже. Из (11) с учетом требований (4) получаем, что для обеспечения допустимого коэффициента готовности дождевальная машина допустимое среднее время восстановления каждого ее элемента или узла должно удовлетворять условию:

$$t_{r,i} \leq t_{r,i.val} = \frac{k_r}{n} t_{s,i} = \frac{(1 - K_{g.val}) \cdot t_{s,i}}{K_{g.val} \cdot n}, \quad (12)$$

где n – количество элементов дождевальной машины, отказавших за период наблюдений.

Так как фактический коэффициент готовности является комплексным показателем надежности, характеризующим работоспособность той или иной дождевальной машины в целом, то, при наличии статистической информации по отказам элементов дождевальных машин и продолжительности их восстановления, с помощью него можно производить сравнительную оценку работоспособности машин как между собой, так и для общего сравнения комплексов дождевальных машин, эксплуатируемых тем или иным хозяйством. Тогда:

$$K_{g.dm.x} = \frac{\sum_{j=1}^m T_{s,j}}{\sum_{j=1}^m T_{s,j} + \sum_{j=1}^m T_{r,j}} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^m K_{r,j}}, \quad (13)$$

где $K_{g.dm.x}$ – общий коэффициент готовности парка дождевальных машин хозяйства;

j – порядковый номер дождевальной машины;

m – количество дождевальных машин в хозяйстве, шт.;

$T_{s,j}$ – средняя наработка на отказ j -й дождевальной машины, ч;

$T_{r,j}$ – среднее время восстановления работоспособного состояния j -й дождевальной машины, ч.;

$K_{r,j}$ – средний коэффициент затрат на восстановление j -й дождевальной машины.

Рассуждая аналогичным образом, получим условие для определения максимально допустимой суммарной продолжительности восстановления работоспособного состояния парка дождевальных машин хозяйства исходя из обеспечения допустимого коэффициента готовности $K_{g.val}$:

$$\sum_{j=1}^m T_{r,j} \leq \sum_{j=1}^m T_{r,j.val} = \sum_{j=1}^m \frac{K_{r,j}}{m} T_{s,j} = \frac{(1 - K_{g.val}) \cdot \sum_{j=1}^m T_{s,j}}{K_{g.val} \cdot m} \quad (14)$$

Однако, предложенная нами зависимость (13), имеет ограничение по практическому применению, связанное с требованием равного количества дождевальной техники в сравниваемых парках хозяйств, так как общий коэффициент готовности парка машин тогда будет тем выше, чем меньше количество дождевальных машин.

Если количество дождевальных машин в хозяйствах различное, то для сравнительной оценки готовности парков машин хозяйств нами предлагается использовать обобщенную функцию желательности Харрингтона:

$$K_{g.dm.x} = \sqrt[m]{K_{g.dm1} \cdot K_{g.dm2} \cdot \dots \cdot K_{g.dm.m}} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n t_{s,i}}{\sum_{i=1}^n t_{s,i} + \sum_{i=1}^n t_{r,i}}} \quad (15)$$

Полученное значение коэффициента готовности каждой дождевальной машины $K_{g.dm.j}$ ($j = 1 \dots m$) пересчитывается вместе с другими в обобщенный коэффициент готовности парка машин $K_{g.dm.x}$, как геометрическое среднее. Корень степени « m » «сглаживает» возникающие отклонения, а полученный результат позволяет оценивать парк дождевальной техники хозяйств в целом.

Результаты практических расчетов по проведенному авторами теоретическому обоснованию надежности ДМУ «Фрегат», а также сравнительной оценки готовности парков дождевальных машин в хозяйствах «Бессергеновское» (таблица 2) и «Кадамовское» (таблица 3) представим в табличном виде.

Таблица 2 – Исследуемые показатели надежности парка ДМУ «Фрегат» в хозяйстве Бессергеновском

№ ДМ	№ элемента из таблицы 1	Средняя наработка до отказа, ч	Продолжительность устранения отказа, ч	Фактический коэффициент готовности	Количество отказавших элементов, шт.	Допустимый коэффициент готовности	Допустимая продолжительность устранения неисправности по формуле (12), ч
1	1	1215	2,0	0,989	8	0,999	0,17
	2	1057	5,3	0,943	11	0,999	0,09
	3	1078	7,2	0,937	10	0,999	0,11
	4	1158	0,9	0,991	12	0,999	0,10
	5	2100	0,6	0,998	8	0,999	0,26
	6	2236	2,9	0,990	8	0,999	0,28
	7	2524	1,1	0,994	13	0,999	0,19
По ДМ 1		1624	203	0,982	70	0,999	0,16
2	1	1116	32,1	0,713	14	0,999	0,08
	2	955	35,3	0,794	7	0,999	0,14
	3	1078	37,2	0,674	14	0,999	0,08
	4	1144	30,8	0,772	11	0,999	0,10
	5	1280	30,7	0,822	9	0,999	0,14
	6	1357	33,2	0,911	4	0,999	0,34
	7	2412	30,7	0,868	12	0,999	0,20
По ДМ 2		1335	2334	0,800	71	0,999	0,13
3	1	818	72,2	0,447	14	0,999	0,06
	2	832	74,3	0,444	14	0,999	0,06
	3	797	77,6	0,423	14	0,999	0,06
	4	759	70,8	0,494	11	0,999	0,07
	5	1288	70,9	0,645	10	0,999	0,13
	6	1357	73,4	0,569	14	0,999	0,10
	7	2433	70,9	0,710	14	0,999	0,17
По ДМ 3		1183	6645	0,555	91	0,999	0,09

Таблица 3 – Исследуемые показатели надежности парка ДМУ «Фрегат» в хозяйстве Кадамовском

№ ДМ	№ элемента из таблицы 1	Средняя наработка до отказа, ч	Продолжительность устранения отказа, ч	Фактический коэффициент готовности	Количество отказавших элементов, шт.	Допустимый коэффициент готовности	Допустимая продолжительность устранения неисправности по формуле (12), ч
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1469	2,5	0,988	7	0,999	0,21
	2	1311	5,8	0,950	12	0,999	0,11

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
	3	1332	7,7	0,945	10	0,999	0,13
	4	1412	1,4	0,988	12	0,999	0,12
	5	2354	1,1	0,996	8	0,999	0,29
	6	2490	3,4	0,989	8	0,999	0,31
	7	2778	1,6	0,993	13	0,999	0,21
По ДМ 1		1878	238	0,982	70	0,999	0,19
2	1	683	52,6	0,481	14	0,999	0,05
	2	522	55,8	0,572	7	0,999	0,07
	3	745	57,7	0,480	14	0,999	0,05
	4	811	51,3	0,590	11	0,999	0,07
	5	947	51,2	0,673	9	0,999	0,11
	6	1024	53,7	0,827	4	0,999	0,26
	7	1079	51,2	0,637	12	0,999	0,09
По ДМ 2		830	3789	0,605	71	0,999	0,08
3	1	769	42,7	0,563	14	0,999	0,05
	2	1111	44,8	0,639	14	0,999	0,08
	3	745	48,1	0,525	14	0,999	0,05
	4	962	41,3	0,679	11	0,999	0,09
	5	1354	41,4	0,766	10	0,999	0,14
	6	1590	43,9	0,721	14	0,999	0,11
	7	2778	41,4	0,827	14	0,999	0,20
По ДМ 3		1330	3961	0,702	91	0,999	0,10
4	1	1034	31,8	0,823	7	0,999	0,15
	2	876	35,1	0,675	12	0,999	0,07
	3	897	37,0	0,708	10	0,999	0,09
	4	977	30,7	0,726	12	0,999	0,08
	5	1819	30,4	0,882	8	0,999	0,23
	6	1655	32,7	0,864	8	0,999	0,21
	7	2043	30,9	0,836	13	0,999	0,16
По ДМ 4		1329	2289	0,803	70	0,999	0,13
5	1	978	30,9	0,693	14	0,999	0,07
	2	817	34,1	0,774	7	0,999	0,12
	3	840	36	0,625	14	0,999	0,06
	4	806	29,6	0,712	11	0,999	0,07
	5	1842	29,5	0,874	9	0,999	0,20
	6	1719	32	0,931	4	0,999	0,43
	7	1974	29,5	0,848	12	0,999	0,16
По ДМ 5		1282	2248	0,800	71	0,999	0,13

Подставив полученные значения фактических коэффициентов готовности для парков дождевальных машин из таблиц 2 и 3 в формулы (13) и (15) рассчитываем для парка ДМУ «Фрегат» хозяйства Бессергеновское:

- по формуле (13): $K_{g.dm.x} = (0,982+0,800+0,555)/3 = 0,779$

- по формуле (15): $K_{g.dm.x} = \sqrt[3]{0,982 \cdot 0,800 \cdot 0,555} = 0,758$.

Аналогично – для парка ДМУ «Фрегат» хозяйства Кадамовское:

- по формуле (13): $K_{g.dm.x} = (0,982+0,605+0,702+0,803+0,800)/5 = 0,778$

- по формуле (15): $K_{g.dm.x} = \sqrt[5]{0,982 \cdot 0,605 \cdot 0,702 \cdot 0,803 \cdot 0,800} = 0,768$.

Таким образом, как указано выше, расчет по формуле (13) дает завышенные результаты ($0,779 > 0,778$) при сравнении готовности парков ДМУ «Фрегат» двух хозяйств, так как их количество является неравным. Поэтому, в данном случае, необходимо использовать формулу (15), с получением противоположного вывода ($0,758 < 0,768$).

Выводы

1 Для сравнительной оценки готовности парков дождевальных машин при одинаковом количестве машин рекомендуется использовать формулу (13), в противном случае – формулу (15).

2 Полученная зависимость определения допустимой продолжительности восстановления элементов с низкой надежностью позволяет решить ряд вопросов, связанных с определением направлений повышения надежности дождевальной техники на этапе проектирования и эксплуатации. Причем, если при эксплуатации дождевальной техники время восстановления какого-либо элемента значительно превышает величину, определенную по зависимости (12) и мероприятия, принимаемые на этапе эксплуатации, не позволяют ее уменьшить, то, как правило, этот факт создает предпосылки для принятия новых инженерно-технических решений.

3 К эксплуатационным мероприятиям в данном случае можно отнести рекомендации по комплектации запасными частями в течение поливного сезона и уменьшению времени поиска отказавших элементов. Рекомендации могут быть составлены на основании статистического изучения закономерностей возникновения характерных отказов поливной техники в определенных условиях эксплуатации.

Библиографический список

- 1 Чураев, А.А. Метод оценки надежности дождевальных машин./ А. А. Чураев // Материалы научно-практической конференции, посвященной 70-летию строительного факультета ЮРГТУ. В сб. Проблемы строительства и инженерной экологии. – Новочеркасск, 2000. – С. 14-17.
- 2 Лайко, Д. В. Надежность полива дождеванием в условиях современного состояния парка дождевальных машин / Д. В. Лайко. – Новочеркасск, НГМА, 2006. – 186 с.
- 3 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 392 с.
- 4 Слюсаренко, В. В. Определение параметров надежности дождевальных машин / В. В. Слюсаренко, С. Р. Хабибов, А. В. Русинов/ Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2006. – № 3.– С. 171-173.
- 5 Чупров, Л. Н. Распределение требований к надежности между частями сложной системы / Л. Н. Чупров // В кн.: Основные вопросы теории и практики надежности. – М.: Сов.радио, 1975. – С. 98–106.
- 6 Сушко, В. В. Надежность дождевальных машин / В. В. Сушко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. – № 2. – 72 с.
- 7 Рябинин И.А. Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования / И. А. Рябинин. – Л.: Судостроение, 1974. – 264 с.
- 8 Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев – М.: Наука, 1965. – 524 с.
- 9 Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин – М.: Радио и связь, 1981. – 263 с.
- 10 Щедрин, В. Н. Подходы к определению технического уровня мелиоративных систем и обоснование поколений их развития / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, А.А. Чураев / Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 3. – С. 28-51.
- 11 Снопич, Ю. Ф. Моделирование эксплуатационных параметров техники полива // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 6. – С. 16–17.

References

- 1 Churaev, A.A. Metod ocenki nadezhnosti dozhdeval'nyh mashin./ A. A. Churaev // Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 70-letiju stroitel'nogo fakul'teta JuRGTU. V sb. Problemy stroitel'stva i inzhenernoj jekologii. – Novo-cherkassk, 2000. – S. 14-17.
- 2 Lajko, D. V. Nadezhnost' poliva dozhdevaniem v uslovijah sovremennogo sostojaniya parka dozhdeval'nyh mashin / D. V. Lajko. – Novocherkassk, NGMA, 2006. – 186 s.
- 3 Shhedrin, V. N. Jekspluatacionnaja nadezhnost' orositel'nyh sistem / V. N. Shhedrin, Ju. M. Kosichenko, A. V. Kolganov. – M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2005. – 392 s.
- 4 Sljusarenko, V. V. Opredelenie parametrov nadezhnosti dozhdeval'nyh mashin / V. V. Sljusarenko, S. R. Habibov, A. V. Rusinov/ Izvestija Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohoz'jajstvennoj akademii. – 2006. – № 3.– S. 171-173.
- 5 Chuprov, L. N. Raspredelenie trebovanij k nadezhnosti mezhdu chastjami slozhnoj sistemy / L. N. Chuprov // V kn.: Osnovnye voprosy teorii i praktiki nadezhnosti. – M.: Sov.radio, 1975. – С. 98–106.
- 6 Sushko, V. V. Nadezhnost' dozhdeval'nyh mashin / V. V. Sushko // Traktory i sel'skohoz'jajstvennye mashiny. – 1996. – № 2. – 72 s.

7 Rjabinin I.A. Nadezhnost' sudovyh jelektrojenergeticheskikh sistem i sudovogo jelektrooborudovanija / I. A. Rjabinin. – L.: Sudostroenie, 1974. – 264 s.

8 Gnedenko, B. V. Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti / B.V. Gnedenko, Ju.K. Beljaev, A.D. Solov'ev – M.: Nauka, 1965. – 524 s.

9 Rjabinin, I. A. Logiko-verojatnostnye metody issledovanija nadezhnosti strukturno-slozhnyh sistem / I. A. Rjabinin – M.: Radio i svjaz', 1981. – 263 s.

10 Shhedrin, V. N. Podhody k opredeleniju tehničeskogo urovnja meliorativnyh sistem i obosnovanie pokolenij ih razvitija / V.N. Shhedrin, A.V. Kolganov, A.A. Chu-raev / Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. – 2012. – № 3. – S. 28-51.

11 Snipich, Ju. F. Modelirovanie jekspluacionnyh parametrov tehniki poliva // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. – 2010. – № 6. – S. 16–17.