

УДК 631.62

**ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ
ВОДОПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Федоров Виктор Матвеевич
к.т.н., профессор
*Новочеркасская государственная мелиоративная
академия, Новочеркасск, Россия*

В статье предложена методика количественной оценки показателей надёжности открытой и закрытой водопроводящей сети оросительных систем

Ключевые слова: НАДЁЖНОСТЬ, РАБОТОСПОСОБНОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, ОТКАЗ, ГОТОВНОСТЬ, ИНТЕРВАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ РАБОТА, ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ, ВРЕМЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ПОВРЕЖДЕНИЕ

UDC 631.62

**ESTIMATION OF RELIABILITY OF THE
WATER SPENDING NETWORK OF
IRRIGATING SYSTEMS**

Fedorov Victor Matveevich
Cand.Tech.Sci., professor
*Novocherkassk State Reclamation Academy, Novo-
cherkassk, Russia*

In this article the technique of a quantitative estimation of indicators of reliability of the open and closed water spending network of irrigating systems is offered

Keywords: RELIABILITY, WORKING CAPACITY, ENDURANCE, REFUSAL, READINESS, INTERVAL FACTOR, PRODUCTIVE WORK, THE PERIOD OF SUPERVISION, RESTORATION TIME, DAMAGE

Для обеспечения надёжной работы водопроводящих трактов оросительных систем необходимо добиться стабильной и регулируемой подачи воды на орошаемые массивы, не вызывая при этом подъёма уровня грунтовых вод, заболачивания и засоления орошаемых земель [1]. Надёжная и стабильная работа водопроводящей сети зависит от многих факторов и требует особого внимания при проектировании, строительстве и эксплуатации системы. Невыполнение необходимых требований и условий приводит к конструктивным, технологическим и эксплуатационным отказам – полной или частичной утрате работоспособности мелиоративной системы. Надёжность и работоспособность открытых и закрытых мелиоративных систем характеризуется безотказностью, ремонтпригодностью и долговечностью [2, 3]. Для оценки указанных свойств мелиоративной системы необходимо определить следующие показатели: K_r – коэффициент готовности; K_t – коэффициент технического использования; T – наработка на отказ (показатель безотказности); T_b – среднее время восстановления системы (показатель ремонтпригодности).

Коэффициент готовности (K_r) — это вероятность того, что мелиоративная система будет работоспособна в произвольно выбранный момент

времени:

$$K_{\Gamma} = T / (T + T_{\text{в}}), \quad (1)$$

где T – время производительной работы мелиоративной системы или время между двумя последовательными отказами;

$T_{\text{в}}$ – время восстановления системы, или среднее время вынужденного нерегламентированного простоя, вызванного отысканием и устранением одного отказа.

Учитывая период наблюдений, коэффициент готовности определялся в каждом из интервалов (Dt_j), на которые и был разбит период наблюдений:

$$K_{\Gamma \cdot j} = t_j / (t_j + t_{\text{в}}), \quad (2)$$

где $K_{\Gamma \cdot j}$ – интервальный коэффициент готовности или относительная продолжительность безотказной работы;

t_j – суммарное время производительной работы мелиоративной системы в течение j -го интервала Dt_j ;

$t_{\text{в}}$ – суммарное время ремонтных работ на системе в течение j -го интервала Dt_j .

По известным интервальным значениям коэффициента готовности ($K_{\Gamma \cdot j}$) определялся коэффициент готовности мелиоративной системы из выражения

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{j=1}^N K_{\Gamma \cdot j}}{N}, \quad (3)$$

а суммарное время производительной работы по формуле

$$t_j = \bar{n} \cdot t_c - (t_{\text{в}j} + t_{\text{обсл} \cdot j} + t_{\text{эп}j}), \quad (4)$$

где N – число рабочих интервалов в периоде наблюдений;

\bar{n} – число суток в одном интервале;

t_c – число часов работы мелиоративной системы в течение суток;

$t_{\text{обсл} \cdot j}$ – время, затраченное на техническое обслуживание в течение рассматриваемого интервала Dt ;

$t_{вj}$ – время, затраченное на ремонт в пределах данного интервала Dt ;

$t_{эпj}$ – время простоя мелиоративной системы в течение интервала Dt .

Время производительной работы мелиоративной системы (T) – наработка на отказ, определится как

$$T = \sum_{j=1}^N t_j / (n + N_j), \quad (5)$$

где $\sum_{j=1}^N t_j$ – суммарное время производительной работы системы за весь период наблюдений;

N_j – число наблюдаемых мелиоративных систем.

Среднее время восстановления мелиоративной системы определится:

$$T_{в} = \sum_{j=1}^m t_{вj} / n, \quad (6)$$

где $\sum_{j=1}^m t_{вj}$ – суммарное время восстановления мелиоративной системы за весь период наблюдений.

Коэффициент технического использования мелиоративной системы

$$K_{т} = \sum_j t_j / \left(\sum_j t_{вj} + \sum_j t_{обслj} + \sum_j t_j \right). \quad (7)$$

Ниже даны примеры определения уровня надёжности открытых (облицованных плитами и в лотках) и закрытых участков водопроводящей сети.

Пример 1. Определить уровень надёжности каналов распределительной сети Азовской ОС, облицованных плитами НПК, и подающих воду к овощным севооборотам. Наблюдения осуществлялись в течение 26 месяцев.

При обработке результатов наблюдений весь период, в течение которого осуществлялся сбор информации, был разбит на 20 интервалов – Dt_j , по 40 суток каждый. В зависимости от периода эксплуатации, число часов работы ОС в сутки менялось от 3 до 9. Фиксировались – место повреждения, время прибытия ремонтной бригады, время начала выполнения ($t_{вj}$) и

окончания ремонта, время контрольных испытаний и опробования восстанавливаемых элементов, узлов сочленения и стыковки ($t_{обсл.j}$), перебоев в подаче электроэнергии ($t_{эн.j}$). За время наблюдений обнаружены 79 повреждений – нарушение стыка, сдвижка или просадка плит, разрывы, сколы, проломы, трещины.

Время, затраченное на ремонт $t_{в.j}$, время на подготовку к эксплуатации $t_{обсл.j}$ и время перебоев в подаче электроэнергии $t_{эн.j}$, для каждого из 20 интервалов приведено в таблице 1

Таблица 1 – Интервальные временные потери в работе мелиоративной системы

Наименование интервалов	Время, затраченное на ремонт, $t_{в.j}$	Время на подготовку к эксплуатации, $t_{обсл.j}$	Время перебоев в электрообеспечении, $t_{эн.j}$
Первый	3	6	2
Второй	6	10	8
Третий	8	6	0
Четвёртый	12	4	10
Пятый	10	2	12
Шестой	8	6	10
Седьмой	0	0	0
Восьмой	0	0	0
Девятый	0	0	0
Десятый	4	3	4
Одиннадцатый	10	7	3
Двенадцатый	12	16	10
Тринадцатый	16	8	14
Четырнадцатый	14	6	2
Пятнадцатый	6	4	10
Шестнадцатый	0	0	0
Семнадцатый	0	0	0
Восемнадцатый	0	0	0
Девятнадцатый	6	2	6
Двадцатый	10	8	4

Время производительной работы мелиоративной системы t_j в каждом из интервалов Dt_j определим расчётом по формуле (4), а интервальные значения коэффициента готовности $K_{г.j}$ – по формуле (2). Результаты их расчёта приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Время производительной работы мелиоративной системы

Наименование интервалов	Время производительной работы мелиоративной системы, $t_j = \bar{n} \cdot t_c - (t_{вj} + t_{обсл.j} + t_{эпj})$
Первый	$40 \cdot 5 - (3 + 6 + 2) = 189$
Второй	$40 \cdot 8 - (6 + 10 + 8) = 296$
Третий	$40 \cdot 8 - (8 + 6 + 0) = 306$
Четвёртый	$40 \cdot 9 - (12 + 4 + 10) = 334$
Пятый	$40 \cdot 6 - (10 + 2 + 12) = 216$
Шестой	$40 \cdot 3 - (8 + 6 + 10) = 96$
Седьмой	0
Восьмой	0
Девятый	0
Десятый	$40 \cdot 4 - (4 + 3 + 4) = 149$
Одиннадцатый	$40 \cdot 8 - (10 + 7 + 3) = 300$
Двенадцатый	$40 \cdot 9 - (12 + 16 + 10) = 322$
Тринадцатый	$40 \cdot 9 - (16 + 8 + 14) = 322$
Четырнадцатый	$40 \cdot 7 - (14 + 6 + 2) = 258$
Пятнадцатый	$40 \cdot 3 - (6 + 4 + 10) = 100$
Шестнадцатый	0
Семнадцатый	0
Восемнадцатый	0
Девятнадцатый	$40 \cdot 4 - (6 + 2 + 6) = 146$
Двадцатый	$40 \cdot 8 - (10 + 8 + 4) = 298$

Таблица 3 – Интервальные значения коэффициента готовности

Наименование интервалов	Значения коэффициента готовности, $K_{г.j} = t_j / (t_j + t_{в})$
Первый	$189 / 189 + 3 = 0,98$
Второй	$296 / 296 + 6 = 0,98$
Третий	$306 / 306 + 8 = 0,975$
Четвёртый	$334 / 334 + 12 = 0,965$
Пятый	$216 / 216 + 10 = 0,956$
Шестой	$96 / 96 + 8 = 0,923$
Седьмой	0
Восьмой	0
Девятый	0
Десятый	$149 / 149 + 4 = 0,970$
Одиннадцатый	$300 / 300 + 10 = 0,968$
Двенадцатый	$322 / 322 + 12 = 0,964$
Тринадцатый	$322 / 322 + 16 = 0,953$
Четырнадцатый	$258 / 258 + 14 = 0,948$
Пятнадцатый	$100 / 100 + 6 = 0,943$
Шестнадцатый	0
Семнадцатый	0
Восемнадцатый	0
Девятнадцатый	$146 / 146 + 6 = 0,961$
Двадцатый	$298 / 298 + 10 = 0,967$

По правилу оценки математического ожидания определяем среднее значение коэффициента готовности наблюдаемой ОС

$$K_r = \frac{\sum_{j=1}^i K_{rj}}{N} = \frac{13,453}{20-6} = 0,96.$$

Определим наработку ОС на отказ по формуле (5). Так как в рассматриваемом случае $N_j = 1$, то формула (5) примет вид

$$T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N t_j = \frac{3332}{79} = 42,18 \text{ ч.}$$

По формуле (6) определим среднее время восстановления мелиоративной системы при общем числе отказов равным 79. Суммируя величины времени восстановления по всем интервалам и разделив на число отказов, получим

$$T_b = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m t_{bj} = \frac{125}{79} = 1,58 \text{ ч.}$$

Далее, определяем коэффициент технического использования мелиоративной системы. По формуле (7) находим

$$K_t = 3332 / (125 + 88 + 3332) = 0,94.$$

Пример 2. Определить уровень надёжности трубопроводов внутрихозяйственной сети хозяйства Мартыновский (Мартыновская ОС), выполненных из труб РТН (железобетонных) и РТНС (железобетонных со стальным сердечником). Наблюдения осуществлялись в течение 26 месяцев.

При обработке результатов наблюдений, весь период, в течение которого осуществлялся сбор информации, был разбит на 20 интервалов – Dt_j , по 40 суток каждый. В зависимости от периода работы ОС, число часов её эксплуатации в сутки менялось от 3 до 9. Фиксировались – Dt_{bj} , $t_{обсл. j}$, $t_{эн j}$. За время наблюдений обнаружены 103 повреждения (трещины, разрывы, свищи, проломы стенок, нарушения стыка, отслоения бетона от стального сердечника).

Время производительной работы мелиоративной системы в каждом из интервалов (в часах) составило:

$$\begin{aligned}
 t_{j1} &= 175, & t_{j2} &= 290, & t_{j3} &= 296, & t_{j4} &= 310, & t_{j5} &= 193, \\
 t_{j6} &= 82, & t_{j7} &= 0, & t_{j8} &= 0, & t_{j9} &= 0, & t_{j10} &= 129, \\
 t_{j11} &= 280, & t_{j12} &= 306, & t_{j13} &= 318, & t_{j14} &= 229, & t_{j15} &= 88, \\
 t_{j16} &= 0, & t_{j17} &= 0, & t_{j18} &= 0, & t_{j19} &= 123, & t_{j20} &= 285.
 \end{aligned}$$

Интервальные значения коэффициента готовности $K_{Г,j}$ составляли:

$$\begin{aligned}
 K_{Г,1} &= 0,906, & K_{Г,2} &= 0,967, & K_{Г,3} &= 0,949, & K_{Г,4} &= 0,896, & K_{Г,5} &= 0,873, \\
 K_{Г,6} &= 0,804, & K_{Г,7} &= 0, & K_{Г,8} &= 0, & K_{Г,9} &= 0, & K_{Г,10} &= 0,854, \\
 K_{Г,11} &= 0,915, & K_{Г,12} &= 0,905, & K_{Г,13} &= 0,941, & K_{Г,14} &= 0,864, & K_{Г,15} &= 0,854, \\
 K_{Г,16} &= 0, & K_{Г,17} &= 0, & K_{Г,18} &= 0, & K_{Г,19} &= 0,831, & K_{Г,20} &= 0,938.
 \end{aligned}$$

Среднее значение коэффициента готовности ОС составило

$$K_{Г} = \frac{\sum_{j=1}^j K_{Г,j}}{N} = \frac{12,497}{20-6} = 0,89,$$

а наработка оросительной системы на отказ

$$T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N t_j = \frac{3104}{103} = 30,14 \text{ ч.}$$

По формуле (6) определим среднее время восстановления мелиоративной системы. Суммируем величины времени восстановления ($t_{в,j}$) по всем интервалам и делим на число отказов, получим

$$T_{в} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m t_{в,j} = \frac{323}{103} = 3,14 \text{ ч.}$$

Коэффициент использования мелиоративной системы, определяемый по формуле (7), составит

$$K_{Т} = \frac{3104}{323+126+3104} = 0,87.$$

Пример 3. Определить уровень надёжности лотковых каналов хозяйства «Советская Россия» (Азовская ОС). Наблюдения осуществлялись в течение 26 месяцев. При обработке результатов наблюдений весь период, в течение которого осуществлялся сбор информации, был разбит на 20 интервалов – Dt_j , по 40 суток каждый. В зависимости от периода работы ОС число часов её эксплуатации в сутки менялось от 3 до 9. Фиксировались – $t_{в. j}$, $t_{обсл. j}$, $t_{эп. j}$.

За время наблюдений обнаружены 72 повреждения, включая: нарушение стыка, косые трещины и сколы в зонах опирания, поперечные и продольные трещины у верхних кромок бортов, в замковой части и другие.

Время работы лотковой системы в каждом из интервалов (в часах):

$t_{j1} = 186$;	$t_{j2} = 302$;	$t_{j3} = 316$;	$t_{j4} = 342$;	$t_{j5} = 241$;
$t_{j6} = 90$;	$t_{j7} = 0$;	$t_{j8} = 0$;	$t_{j9} = 0$;	$t_{j10} = 140$;
$t_{j11} = 273$;	$t_{j12} = 346$;	$t_{j13} = 381$;	$t_{j14} = 252$;	$t_{j15} = 117$;
$t_{j16} = 0$;	$t_{j17} = 0$;	$t_{j18} = 0$;	$t_{j19} = 112$;	$t_{j20} = 320$.

Интервальные значения коэффициента готовности $K_{r. j}$:

$K_{r.1} = 0,994$;	$K_{r.2} = 0,989$;	$K_{r.3} = 0,985$;	$K_{r.4} = 0,974$;	$K_{r.5} = 0,965$;
$K_{r.6} = 0,932$;	$K_{r.7} = 0$;	$K_{r.8} = 0$;	$K_{r.9} = 0$;	$K_{r.10} = 0,984$;
$K_{r.11} = 0,977$;	$K_{r.12} = 0,974$;	$K_{r.13} = 0,962$;	$K_{r.14} = 0,958$;	$K_{r.15} = 0,952$;
$K_{r.16} = 0$;	$K_{r.17} = 0$;	$K_{r.18} = 0$;	$K_{r.19} = 0,970$;	$K_{r.20} = 0,977$.

Среднее значение коэффициента готовности лотковой системы к работе составляет

$$K_r = \frac{\sum_{j=1}^j K_{r. j}}{N} = \frac{13,593}{20 - 6} = 0,971,$$

а наработка оросительной системы на отказ

$$T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N t_j = \frac{3418}{72} = 47,47 \text{ ч.}$$

По формуле (6) определим среднее время восстановления лотковой системы. Суммируем величины времени восстановления ($t_{вj}$) по всем интервалам и делим на число отказов, получим

$$T_{в} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m t_{вj} = \frac{109}{72} = 1,51 \text{ ч.}$$

По формуле (7) определим коэффициент технического использования мелиоративной системы, который составит

$$K_{т} = \frac{3418}{109 + 76 + 3418} = 0,948.$$

Оценивая показатели надёжности сравниваемых участков МС не трудно заключить, что в произвольно выбранный момент времени водопроводящая сеть из открытых каналов (облицованных плитами НПК или в лотках) имеет бóльшую вероятность безотказной работы. Это подтверждается и наработкой на отказ, характеризующей время производительной работы сравниваемых систем. Так, период между двумя последовательными отказами на открытой сети – 42,18 и 47,47 часа, а на закрытой (преимущественно из труб РТНС) – 30,14 часа.

Обращает на себя внимание то, что водопроводящая сеть из открытых каналов, в сравнении с сетью из труб РТН и РТНС, требует в 2 раза меньше времени (1,51 и 1,58 часа, против 3,14 часов) на восстановление из-за вынужденного нерегламентированного простоя, вызванного отысканием и устранением отказа.

Таким образом, водопроводящая сеть в виде железобетонных лотков или в виде облицованных плитами каналов, в сравнении с сетью из железобетонных труб РТН и РТНС, отличается повышенной степенью надёжности, ремонтпригодности и долговечности (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели надёжности и ремонтпригодности сравниваемых участков МС

Наименование показателей	Типы МС, выполненных преимущественно		
	в облицованных каналах	в трубах РТН и РТНС	в лотках
Коэффициент готовности, K_r	0,96	0,89	0,97
Наработка на отказ, T (ч)	42,18	30,14	47,47
Время восстановления, T_v (ч)	1,58	3,14	1,51
Коэффициент технического использования K_T	0,94	0,87	0,95

По данным объединения «Ростовводэксплуатация» из общего количества каналов, облицованных сборными железобетонными плитами, восстановления требуют – 30 %. Пятая часть (20 %) лотковых каналов, находящихся в федеральной собственности, также нуждается в восстановлении. Что касается сетевых трубопроводов из железобетонных труб РТН и РТНС, то из общего их количества, 40 % требуют немедленного ремонта или замены. Что, собственно говоря, и подтверждается результатами исследований. По их результатам можно судить и о количестве железобетонных элементов – плит, лотков и труб, требуемых для восстановления систем Ростовской области. Будущий заказ на производство сборных элементов для восстановления подобных обследованным МС, ориентировочно, может выглядеть так: 40 % – трубы; 30 % – лотки; 30 % – плиты.

Список литературы

1. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Колганов А.В. Эксплуатационная надёжность оросительных систем. Ростов-на-Дону: СКНЦВШ, 2004. 388 с.
2. Мирцхулава Ц.Е. Надёжность гидромелиоративных сооружений. М.: Колос, 1974. 277 с.
3. Долгушев И.А. Повышение эксплуатационной надёжности оросительных каналов. М.: Колос, 1975. 136 с.