

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ДЛЯ ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В. В. Свиридов, О. К. Илюнин

Харьков

Связь с рядом промышленных объектов обеспечивается телефонными каналами связи. При телемеханизации таких объектов тенденция использования этих же каналов связи для телемеханики считается оправданной лишь в силу догадок экономического характера.

Обеспечение требуемого (запланированного) уровня надежности внедряемой системы телемеханики есть необходимое условие получения планируемого экономического эффекта. Если надежность устройств и аппаратуры телемеханики удовлетворяет ГОСТ 11323—65, то полное решение вопроса о надежности систем телемеханики непосредственно должно быть связано с надежностью каналов связи, т. е. при проектировании последних для телемеханики необходимо знать их характеристики надежности.

В настоящей работе публикуются статистические материалы по надежности воздушных линий связи (ВЛС), эксплуатируемых в Харьковском управлении магистральных газопроводов и в Управлении Южной железной дороги. Получены характеристики надежности ВЛС и определены границы возможного применения нерезервированных ВЛС при телемеханизации промышленных объектов, расположенных в первой климатической зоне [1].

В табл. 1 и 2 приведены данные о количестве повреждений средств связи Харьковского УМГ и показаны их причины. Важно заметить, что 94—96% общего количества повреждений есть повреждения ВЛС. Экспериментальные кривые вероятности безотказной работы ВЛС хорошо аппроксимируются экспоненциальным законом, т. е. вероятность безотказной работы нерезервированной ВЛС описывается выражением

$$R(T) = e^{-\lambda T}, \quad (1)$$

где T — время задания;

λ — интенсивность отказов ВЛС.

Надежность восстанавливаемых нерезервированных систем определяется следующими характеристиками [2].

1. Коэффициент готовности оборудования

$$K_r = 1 - e^{-\mu t} (1 - e^{-\lambda T}). \quad (2)$$

2. Коэффициент готовности выполнения задания

$$K_v = \exp(-\lambda T e^{-\mu t}), \quad (3)$$

где T — время задания;

λ — интенсивность отказов системы;

μ — интенсивность восстановления (ремонта);

t — допустимое время восстановления (выбирается из условий эксплуатации).

Таблица 1

[illegible]

Величину μ легко определить из выражения (2)

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}, \quad (4)$$

где $M(t)$ — ремонтпригодность системы.

В табл. 3 приведены экспериментальные данные о распределении интенсивности восстановления для стальных и биметаллических ВЛС

Таблица 3

Интервал времени, ч	Количество неисправностей, устраненных в указанный интервал времени					
	Биметаллическая цепь			Стальная цепь		
	1965 г.	1966 г.	1965—1966 гг.	1965 г.	1966 г.	1965—1966 гг.
0—0,5	1	2	3		4	4
0,5—1,0	7	10	17	1	7	8
1—2	19	16	35	7	13	20
2—3	22	23	45	10	16	26
3—4	17	13	30	14	18	32
4—5	18	10	28	12	16	28
5—6	10	7	17	10	8	18
6—7	9	6	15	9	4	13
7—8	5	4	9	8	3	11
8—9	3	3	6	7	2	9
9—10	3	1	4	4	1	5
10—11	2	1	3	3	1	4
11—12	1	1	2	2	1	3
12—13	—	1	1	2	1	3
13—14	—	1	1	1	1	2
14—15	1	—	1	1	1	2
15—16	1	—	1	1	1	2
16—17	1	—	1	1	1	2
17—18	—	1	1	—	1	1
18—19	—	—	—	—	1	1
19—20	—	1	1	1	—	1
Более 20	4	3	7	4	4	8
Всего повреждений	122	101	223	98	105	203

ХУМГ. Экспериментальные кривые ремонтпригодности, построенные по этим данным, показаны на рис. 1, 2 и 3. Ордината экспериментальной функции ремонтпригодности определялась из табл. 3 по формуле

$$M(t_i) = \frac{1}{\varphi} \sum_{i=1}^t \varphi_i, \quad (5)$$

где φ — общее число ремонтов;

φ_i — число ремонтов в i -м интервале времени.

Говоря точнее, функция ремонтпригодности строится как интегральная функция распределения интенсивности восстановления во времени. Из рис. 1 видно, что экспериментальные кривые функции ремонтпригодности по данным 1965 и 1966 г. хорошо согласуются. Чтобы в этом убедиться, можно воспользоваться критерием согласия Пирсона [4]. На рис. 2 и 3 изображены экспериментальные и теоретические кривые функций ремонтпригодности биметаллической и стальной ВЛС.

Одна теоретическая кривая описывается формулой (4), другая — выражением

$$M = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_1 \\ 1 - e^{-\mu(t-t_1)} & \text{при } t \geq t_1 \end{cases} \quad (6)$$

Воспользовавшись, например, критерием согласия Колмогорова [4], можно показать, что экспериментальные кривые ремонтпригодности

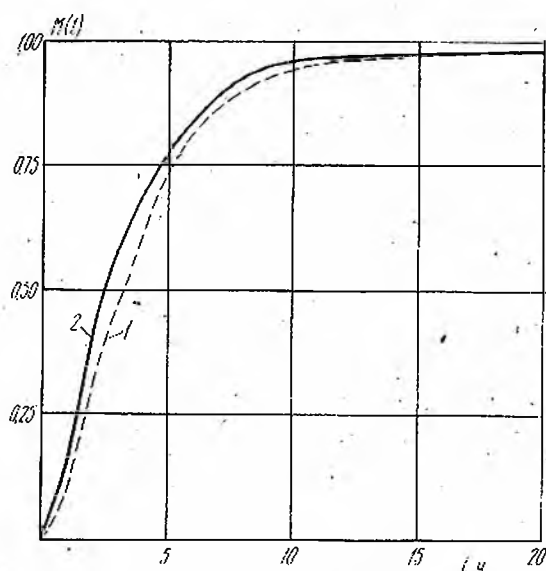


Рис. 1. Экспериментальные кривые ремонтпригодности биметаллической ВЛС: 1 — по данным 1965 г., 2 — по данным 1966 г.

лучше согласуются с теоретической кривой, описываемой выражением (6). Формулу (6) легко объяснить, исходя из практических соображений: существует какое-то минимальное время t_1 , необходимое для подготовки обслуживающего персонала к началу ремонта, т. е. за время $t < t_1$ не может быть устранено ни одно повреждение ВЛС. При $t > 12$ ч экспериментальная кривая плохо согласуется с теоретической. Для лучшего их согласования можно было бы выразить μ как переменную во времени величину, но это значительно усложнит выражение для ремонтпригодности. Практически достаточно определить ремонтпригодность в пределах $0 \leq M \leq 0,95$.

На основании экспериментальных данных получены следующие параметры для аналитического определения ремонтпригодности ВЛС ХУМГ:

1) при расчете ремонтпригодности по формуле (4) для биметаллической ВЛС, $\mu = 0,25$ 1/ч и для стальной $\mu = 0,2$ 1/ч;

2) при расчете по формуле (6) для биметаллической ВЛС $\mu = 0,31$ 1/ч, и $t_1 = 0,8$ ч, а для стальной $\mu = 0,25$ 1/ч и $t_1 = 1$ ч.

Некоторое различие параметров функций $M(t)$ стальной и биметаллической ВЛС объясняется первоочередностью восстановления последней, как более важного объекта: биметаллическая ВЛС обеспечивает магистральную связь, а стальная ВЛС — связь местного значения.

Таблица 4

Наименование объекта	Количество повреждений		Количество проводок-километров	
	1965 г.	1966 г.	1965 г.	1966 г.
Биметаллическая ВЛС ХУМГ . . .	122	101	3468	3539
Биметаллическая ВЛС ЮЖД . . .	—	65	—	6250

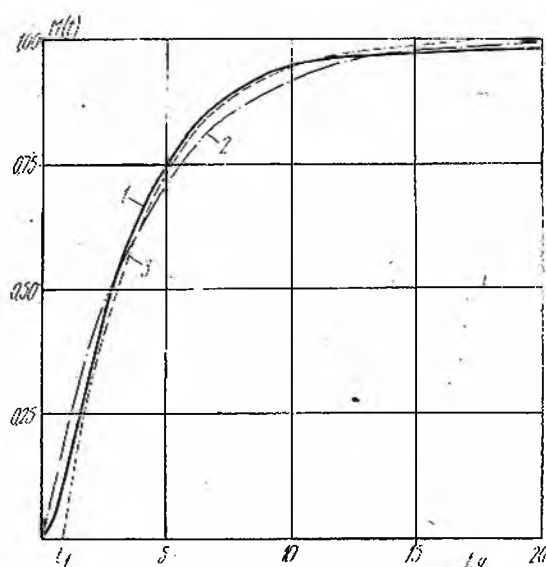


Рис. 2. Кривые ремонтпригодности $M(t)$ биметаллической ВЛС:

1 — экспериментальная кривая по данным 1965—1966 г.; 2 — $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$, $\mu = 0,25$ 1/ч;
3 — $M(t) = 0$ при $t < t_1$, $M(t) = 1 - e^{-\mu(t-t_1)}$ при $t \geq t_1$; $t_1 = 0,8$ ч, $\mu = 0,31$ 1/ч.

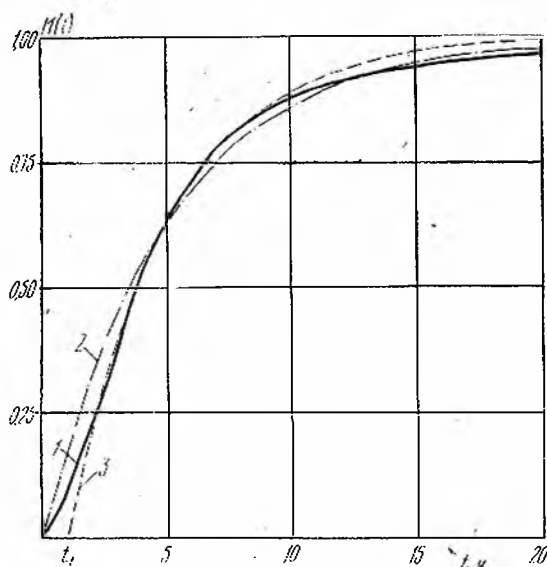


Рис. 3. Кривые ремонтпригодности $M(t)$ стальной ВЛС:

1 — экспериментальная кривая по данным 1965—1966 гг.; 2 — $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$, $\mu = 0,2$ 1/ч;
3 — $M(t) = 0$ при $t < t_1$, $M(t) = 1 - e^{-\mu(t-t_1)}$ при $t \geq t_1$; $t_1 = 1$ ч, $\mu = 0,25$ 1/ч.

Для сравнения на рис. 4 приведены экспериментальная (для общего количества ремонтов $\Phi = 65$) и теоретическая функции ремонтпригодности биметаллической ВЛС ЮЖД.

Параметры теоретической функции $M(t)$ следующие: $\mu = 0,36$ 1/ч, $t_1 = 0,5$ ч. Параметры ремонтпригодности ВЛС ЮЖД несколько лучше, чем ВЛС ХУМГ.

Это обусловлено более тяжелыми условиями эксплуатации ВЛС ХУМГ. Для магистральных газопроводов распространенным случаем является условие, по которому допустимое время простоя объекта без связи не должно превышать одного часа. Тогда для ВЛС выражения (2) и (3) принимают вид

$$K_r \approx K_b \approx e^{-\lambda T} = R(T), \quad (7)$$

т. е. надежность нерезервированной ВЛС с достаточной точностью определяется вероятностью безотказной работы за время задания T .

Величину интенсивности отказов биметаллических ВЛС найдем по методике,

предложенной в работах [2, 3]. Для стальных ВЛС интенсивность отказов не определялась ввиду несовершенства учета общего количества отказов.

Оценка средней наработки на отказ одного проводокilометра ВЛС

$$\hat{m} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{r}, \quad (8)$$

где r — число отказов;

N — число проводокilометров ВЛС;

t — время наработки i -го проводокilометра.

При $N \gg r$ и $t_i \gg \frac{1}{\mu}$ с достаточной точностью

$$\hat{m} = \frac{tN}{r}. \quad (9)$$

Для выбранного доверительного $(1-\alpha)\%$ -ного уровня границы m могут быть определены из графика, приведенного в работе [3]. Наглядность достигается применением методики Калабро [2].

Эпштейн [3] показал, что отношение $\frac{2rm}{m}$ имеет χ^2 -распределение с $2r$ степенями свободы, если испытания прекращаются после r -го

отказа. Тогда границы величины m для $(1-\alpha)\%$ -ного двухстороннего симметричного доверительного уровня определяются выражением

$$\frac{2rm}{x^2 - \frac{\alpha}{2}; 2r} \geq m \geq \frac{2rm}{\frac{\alpha}{2}; 2r} \quad (10)$$

Из числа степеней свободы $K > 30$

$$2x^2 = [\sqrt{2K} - 1 + Z]^2 \quad (11)$$

Величина Z определяется по таблицам нормального закона распределения и подставляется в выражение (11) с учетом знака. Для двухстороннего 99%-ного доверительного уровня

$$Z = \pm 2,57.$$

Из выражения (9), (10) и (11) с учетом того, что

$$\lambda m = 1, \quad (12)$$

получаем

$$\frac{(\sqrt{4r} - 1 + Z)^2}{4tN} \geq \lambda \geq \frac{(\sqrt{4r} - 1 + Z)^2}{4tN} \quad (13)$$

Необходимые данные для расчета λ представлены в табл. 4.

Интенсивность отказов одного проводокilометра в биметаллической ВЛС ХУМГ для 99%-ного двухстороннего симметричного доверительного уровня лежит в пределах

$$\frac{(\sqrt{4 \cdot 223} - 1 + 2,57)^2}{4 \cdot 365 \cdot 24(3468 + 3539)} \geq \lambda \geq \frac{(\sqrt{4 \cdot 223} - 1 - 2,57)^2}{4 \cdot 365 \cdot 24(3468 + 3539)}.$$

$$4,27 \cdot 10^{-6}/\mu \geq \lambda \geq 3,01 \cdot 10^{-6}/\mu.$$

Оценка величины интенсивности отказов с учетом выражения (9)

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{m} = \frac{r}{tN} = \frac{223}{24 \cdot 365 \cdot (3468 + 3539)},$$

$$\hat{\lambda} = 3,65 \cdot 10^{-6}/\mu.$$

Аналогично интенсивность отказов одного проводокilометра биметаллической ВЛС ЮЖД для того же доверительного уровня

$$\frac{(\sqrt{4 \cdot 65} - 1 + 2,57)^2}{4 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 6250} \geq \lambda \geq \frac{(\sqrt{4 \cdot 65} - 1 - 2,57)^2}{4 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 6250};$$

$$1,64 \cdot 10^{-6}/\mu \geq \lambda \geq 0,86 \cdot 10^{-6}/\mu,$$

а оценка величины интенсивности отказов

$$\hat{\lambda} = \frac{r}{tN} = \frac{65}{24 \cdot 365 \cdot 6250} = 1,2 \cdot 10^{-6}/\mu.$$

Интенсивность отказов ВЛС ХУМГ приблизительно в три раза больше, чем ВЛС ЮЖД. Это объясняется более тяжелыми условиями эксплуатации (оборудование ВЛС одинаково в обоих случаях).

Рассмотрим вопрос о целесообразности применения ВЛС для телемеханизации магистральных газопроводов.

По ГОСТ 11323-65 среднее время между отказами устройства телемеханики на уровне вероятности 0,8 должно иметь $T \geq 1500-5000$ ч в зависимости от условий эксплуатации. Вполне оправданно предположить, что к каналам связи для телемеханики должны предъявляться не менее жесткие требования. Тогда допустимая интенсивность отказов канала связи определяется из выражения

$$R = e^{-\lambda T} \geq 0,8,$$

откуда

$$\lambda_d \leq -\frac{\ln 0,8}{T} = (1,5 - 0,5) 10^{-4} / \text{ч}. \quad (14)$$

Допустимую протяженность нерезервированной ВЛС рассчитываем при допущении, что все отказы канала связи являются отказами ВЛС. Применение уточненных формул (2) и (3) для данного случая не влияет на результат, так как влияние величин $\mu t \leq 0,35$ компенсируется учетом внезапных и постепенных отказов аппаратуры связи. Поэтому расчет производим по формуле (7). Тогда оценка величины допустимой протяженности нерезервированной биметаллической ВЛС ХУМГ

$$\hat{N} = \frac{\lambda_d}{\hat{\lambda}} \frac{(1,5 - 0,5) 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-6}} = (18 \div 50) \text{ км}.$$

Для одностороннего 99,5%-ного доверительного уровня допустимая протяженность биметаллической ВЛС ХУМГ

$$N = \frac{\lambda_d}{\lambda_{\max}} = \frac{(1,5 \div 0,5) 10^{-4}}{4,27 \cdot 10^{-6}} = (12 \div 35) \text{ км}.$$

Допустимая протяженность биметаллической ВЛС ЮЖД

$$N = \frac{(1,5 \div 0,5) 10^{-4}}{1,64 \cdot 10^{-6}} = (30 \div 90) \text{ км}.$$

Оценка величины допустимой протяженности биметаллической ВЛС ЮЖД

$$\hat{N} = \frac{(1,5 \div 0,5) 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-6}} = (42 \div 125) \text{ км}.$$

При расчете было сделано допущение о том, что система телемеханики работает непрерывно в течение времени T . Это допущение во многих случаях справедливо, так как время профилактических осмотров устройства телемеханики должно совпадать со временем профилактики каналов связи, в течение которого ремонт ВЛС не может быть произведен. Если по условиям эксплуатации допустимое время ремонта больше одного часа, протяженность ВЛС рассчитывается по формуле (3). Так, для $t_1 = 3,5$ ч и $\mu = 0,35$ 1/ч допустимая протяженность ВЛС ХУМГ составит $35 \div 100$ проводокилометров в зависимости от группы надежности системы.

При проектировании каналов связи для телемеханизации промышленных объектов со значительным рассредоточением возможны такие решения.

1. Использование нерезервированной ВЛС и обеспечение требуемого уровня надежности путем увеличения допустимого времени ремонта.

2. Резервирование ВЛС.

3. Организация каналов связи другими средствами (кабель, радиосвязь и пр.).

Выбор определенного варианта является задачей экономического характера, которая решается с учетом специфики технологии телемеханизированного объекта. Увеличение допустимого времени простоя при ремонте и проведении профилактики в большинстве случаев неприемлемо и особенно опасно при телерегулировании или телеуправлении.

Приведенные параметры надежности биметаллических ВЛС получены на основе представительных выборок и могут быть использованы при проектировании ВЛС для магистральных трубопроводов, железнодорожных и других промышленных объектов, имеющих родственные условия эксплуатации.

При рассредоточении телемеханизированных объектов магистральных трубопроводов более чем на 20—50 км и железнодорожных объектов более чем на 40—90 км следует вводить резервирование.

Косвенно этот вывод подтверждается и тем, что на современных ВЛС одна пара проводов осуществляет связь по трем—двенадцати (с тенденцией дальнейшего увеличения) каналам связи. Кроме того, ненадежность аппаратуры каналов связи и наличие помех обуславливают заметное увеличение суммарных потерь информации и, следовательно, снижение эффективности систем телемеханики.

Этот вывод можно распространить на более широкий класс промышленных объектов, так как использование нерезервированных ВЛС для телемеханизации промышленных объектов со значительным рассредоточением далеко не всегда позволяет обеспечить требуемый уровень надежности систем телемеханики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерно-технический справочник по электросвязи. Изд-во «Связь», 1964.
2. С. Р. К а л а б р о. Принципы и практические вопросы надежности. Изд-во «Машиностроение», 1966.
3. И. Б а з о в с к и й. Надежность, теория и практика. Изд-во «Мир», 1965.
4. Методика статической обработки эмпирических данных РТМ-44-62. Изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1966.