

*А.В. Загора, к.т.н., доцент, ст. преподаватель, НУГЗУ,
Е.Е. Селеенко, преподаватель, НУГЗУ,
А.Б. Фещенко, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТИВНОЙ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

(представлено д.т.н. Э.Е. Прохачем)

Представлена математическая модель расчета эксплуатационной интенсивности отказов телекоммуникационной аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации. Получены и проанализированы выражения для коэффициента оперативной готовности телекоммуникационной аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации. Произведен расчет зависимости вероятности безотказной работы в режиме номинальной нагрузки и повышенной электрической нагрузки телекоммуникационной аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: оперативная диспетчерская связь, чрезвычайная ситуация, вероятность безотказной работы, коэффициент оперативной готовности.

Постановка проблемы. Показатели надежности, живучести и восстанавливаемости аппаратуры оперативной диспетчерской связи (ОДС) и оповещения в режиме чрезвычайной ситуации (ЧС) зависят от множества факторов и в первую очередь от электрической нагрузки [1].

В некоторых случаях ЧС приводит к длительным отказам элементов сети электросвязи, при возникающих перегрузках, что требует принятия мер для повышения её надежности в условиях ЧС.

Одной из проблем при этом является количественная оценка степени влияния режима электрической нагрузки на вероятность безотказной работы и коэффициент готовности аппаратуры ОДС в условиях ЧС.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] и рассматривается классификация отказов и перечень телекоммуникационной аппаратуры, подверженной отказам в условиях ЧС. Чаще всего длительные отказы происходят из-за невозможности оперативного восстановления внешнего электропитания. Одним из способов поддержания работоспособности телекоммуникационных сетей является формирование резервных технических средств [2].

В работе [3] представлена математическая модель радиоэлектронных системы (РЭС), в которой учтены режимы нагрузки электрорадиоизделий (ЭРИ), изменяющиеся при функционировании. Отмечено

влияние изменения значений коэффициентов электрической нагрузки ЭРИ на безотказность работы РЭС вследствие изменения режимов функционирования во времени.

В работе [4] рассмотрен способ повышения коэффициента оперативной готовности аппаратуры с применением графо-аналитических методов определения периода регламентных работ применительно к датчикам ослабления последствий ЧС.

В работе [5] при прерывании внешнего электропитания рассмотрен способ устранения отказа ОДС за счет перехода на резервный источник питания и представлена методика расчета времени автономной работы аварийного источника электропитания аппаратуры ОДС в условиях ЧС. Экспериментальное исследование показало существенное увеличение электрической нагрузки аварийного источника электропитания аппаратуры ОДС при переходе из дежурного режима в режим максимальной занятости в условиях ЧС, что приводило к отказам в виде отключения напряжения питания.

В работе [6] представлены оценка необходимости корректировки комплекта запасных технических средств (ЗТС) и методика расчета необходимого количества ЗТС для восстановления аппаратуры ОДС после отказов в условиях ЧС, однако при проведении расчетов не учитывалось влияние режима электрической нагрузки на изменение интенсивности отказов ЭРИ, что снижает точность корректировки комплекта ЗТС.

В работе [7] получены и проанализированы выражения для оценки коэффициента готовности аппаратуры ОДС после отказов в условиях чрезвычайной ситуации, установлена взаимосвязь между коэффициентом готовности и обеспеченностью аппаратуры ОДС комплектом ЗТС, произведен вероятностный расчет достаточности ЭРИ в комплекте ЗТС для восстановления и ремонта телекоммуникационной аппаратуры ОДС в условиях ЧС.

Постановка задачи и её решение. Проанализировав приведенные научные работы, выберем математическую модель для расчета эксплуатационной интенсивности отказов аппаратуры ОДС для дежурного режима функционирования и режима максимальной занятости в условиях ЧС. Оценим влияние режимов работы на вероятность безотказной работы и коэффициент оперативной готовности аппаратуры ОДС в условиях ЧС.

Значения эксплуатационной интенсивности отказов большинства групп ЭРИ аппаратуры ОДС в условиях ЧС можно рассчитывать по математической модели, имеющей вид [8]

$$\Lambda_3 = \sum_{j=1}^n \lambda_{3i} = N \cdot \lambda_6' \times K_p. \quad (3)$$

В качестве показателей надежности аппаратуры ОДС используются вероятность безотказной работы $P(t)$, коэффициент готовности K_G , и коэффициент оперативной готовности K_{OG} , определяемый выражением [4]

$$K_{ог} = P(t) \cdot K_{г} \quad (4)$$

С учетом влияния обеспеченности аппаратуры ОДС комплектом ЗТС [7] и режима электрической нагрузки выражение (4) преобразуется к виду.

Выполнив соответствующие преобразования, получим

$$K_{ог} = P(t) \cdot K'_{г} \cdot K_{об} \quad (5)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы $P(t)$; $K'_{г} = \frac{1}{(1 + \frac{\Lambda_3}{\mu})}$ – коэф-

фициент готовности аппаратуры при неограниченном комплекте ЗТС;

$K_{об} = \frac{1}{(1 + \frac{T_{п} \cdot \Lambda_3 \cdot \mu}{\Lambda_3 + \mu})}$ – коэффициент обеспеченности аппаратуры запас-

ными элементами; Λ_3, μ – соответственно эксплуатационная интенсивность отказов и интенсивность восстановления; $T_{п}$ – среднее время вынужденного простоя аппаратуры из-за отсутствия в ЗТС необходимых элементов (время пополнения).

Из анализа (5) следует, что изменение эксплуатационной интенсивности отказов аппаратуры ОДС при изменении электрической нагрузки влияет также на составляющие коэффициента готовности $K'_{г}$ и $K_{об}$, которые, являются соответственно показателями ремонтпригодности и обеспеченности аппаратуры ОДС комплектом ЗТС. Исследование зависимости составляющих коэффициента готовности $K'_{г}$ и $K_{об}$ от режима нагрузки не входит в рамки данной статьи, но в дальнейшем исследовании планируется оценить влияние режима электрической нагрузки на корректировку обеспеченности её комплектом запасных технических средств при восстановлении аппаратуры ОДС после отказов в условиях ЧС.

Формула (5) определяет, что коэффициент оперативной готовности пропорционален вероятности безотказной работы $P(t)$ аппаратуры ОДС, которая зависит в свою очередь от режима электрической нагрузки ЭРИ в условиях ЧС.

Проведем ориентировочный расчет вероятности безотказной работы $P(t)$, для двух режимов работы:

- дежурный режим (базовый или номинальный режим $K_p = 1$);
- режим максимальной занятости в условиях ЧС (нагруженный $K_p = 1,4$).

Будем исходить из предположения, что отказы ЭРИ аппаратуры ОДС независимы друг от друга, а их поток подчиняется закону Пуассона. Тогда вероятность числа отказов за время $t = T_{п}$ определяется зависимостью [9]

$$P_n(t = T_n) = \frac{(\Lambda_n T_n)^n}{n!} e^{-n\lambda t_n} = \frac{(n_{cp})^n}{n!} e^{-n_{cp}} = \psi(n, n_{cp}), \tag{6}$$

где $n_{cp} = \Lambda_n T_n$ – математическое ожидание количества отказов; $\psi(n, n_{cp})$

- функция, получаемая из табличной функции [9] $\psi(\chi, \mu) = \frac{(\mu)^\chi}{\chi!} e^{-\mu}$ пу-

тем замены переменных $\chi = n, \mu = n_{cp}$.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ означает, что за время работы $t=T_n$ отказов в аппаратуре ОДС не возникло, т.е. количество отказов равно нулю ($n=0$), поэтому $P(t)$ может быть получена из (6) по следующей расчетной формуле

$$P(t) = P_{n=0}(t = T_n) = \psi(n = 0, n_{cp}) = \psi(0, n_{cp}). \tag{7}$$

Проведем расчет $P(t)$ по формуле (7) с использованием справочника по вероятностным расчетам, например, при следующих значениях $N=100$; $T_n = 720\text{ч}$; 2160ч ; 4329ч , $\lambda_0 = 10^{-6}$; $5 \cdot 10^{-6}$; 10^{-5} час^{-1} , при двух режимах электрической нагрузки ЭРИ аппаратуры ОДС: дежурном режиме (базовый или номинальный режим $K_p = 1$) и режиме максимальной занятости в условиях ЧС (нагруженный режим $K_p = 1,4$).

Результаты расчетов $P(t)$ сведем в табл. 1, по которым для наглядности построим графики функции $P(t)$, помещенные на рис. 1.

Из анализа графиков (рис. 1.) следует, что вероятность безотказной работы телекоммуникационной аппаратуры ОДС в режиме максимальной занятости в условиях ЧС снижается по сравнению с дежурным режимом, что приводит также к пропорциональному уменьшению коэффициента оперативной готовности телекоммуникационной аппаратуры ОДС (5).

Табл. 1. Расчет вероятности безотказной работы $P(t)$ в дежурном режиме и режиме максимальной занятости в условиях ЧС

N=100, ед.		T_n , мес	0	1	2	3	4	5	6
$\lambda_0, \text{ час}^{-1}$	K_p	T_n , час	0	720	1440	2160	2880	3600	4320
	10^{-6}	1	$n_{cp1} = \Lambda_{01} \cdot T_n$	0	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36
		$P_1(t=T_n) = \psi(0, n_{cp1})$	1	0,92	0,85	0,8	0,74	0,7	0,67
10^{-6}	1,4	$n_{cp2} = \Lambda_{02} \cdot T_n$	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
		$P_2(t=T_n) = \psi(0, n_{cp2})$	1	0,9	0,8	0,74	0,67	0,6	0,55
$5 \cdot 10^{-6}$	1	$n_{cp3} = \Lambda_{03} \cdot T_n$	0	0,36	0,72	1,08	1,44	1,80	2,16
		$P_3(t=T_n) = \psi(0, n_{cp3})$	1	0,7	0,5	0,35	0,255	0,165	0,12
$5 \cdot 10^{-6}$	1,4	$n_{cp4} = \Lambda_{04} \cdot T_n$	0	0,50	1,01	1,51	2,02	2,52	3,02
		$P_4(t=T_n) = \psi(0, n_{cp4})$	1	0,6	0,37	0,22	0,13	0,08	0,05
10^{-5}	1	$n_{cp5} = \Lambda_{05} \cdot T_n$	0	0,72	1,44	2,16	2,88	3,60	4,32
		$P_5(t=T_n) = \psi(0, n_{cp5})$	1	0,5	0,26	0,12	0,06	0,03	0,01
10^{-5}	1,4	$n_{cp6} = \Lambda_{06} \cdot T_n$	0	1,01	2,02	3,02	4,03	5,04	6,05
		$P_6(t=T_n) = \psi(0, n_{cp6})$	1	0,37	0,14	0,05	0,03	0,015	0,005

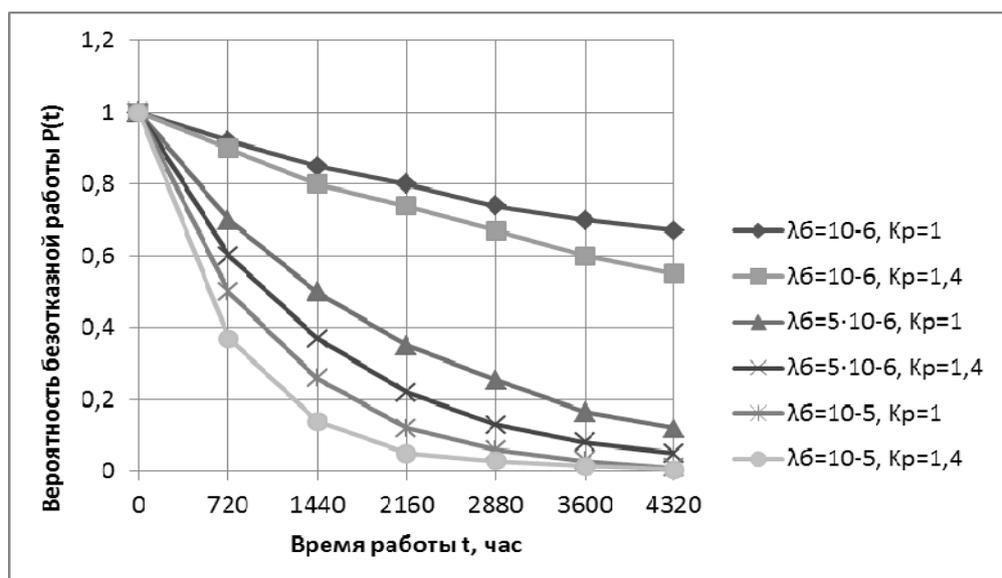


Рис. 1. График вероятности безотказной работы $P(t)$ в дежурном режиме и режиме максимальной занятости в условиях ЧС, при $N=100$; $K_p = 1, 1,4$; $T_n = 720$ час - 4329 час; $\lambda_b = 10^{-6}; 5 \cdot 10^{-6}; 10^{-5}$, час $^{-1}$

Выводы. Выбрана математическая модель расчета эксплуатационной интенсивности отказов, подходящая для большинства групп ЭРИ аппаратуры ОДС в условиях ЧС.

Получены и проанализированы выражения для оценки коэффициента оперативной готовности аппаратуры ОДС в условиях ЧС. В результате проведенного расчета отмечено снижение вероятности безотказной работы и коэффициента оперативной готовности телекоммуникационной аппаратуры ОДС в режиме максимальной занятости в условиях ЧС по сравнению с дежурным режимом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леваков А.К. Особенности функционирования телекоммуникационных сетей следующего поколения в чрезвычайных ситуациях [Текст] / А.К. Леваков. – М.: ИРИАС, 2012. – 107 с.: ил. – Библиогр.: С. 100-107.

2. Леваков А.К. Задачи формирования комплекса резервных технических средств для восстановления отказов в сети электросвязи вследствие чрезвычайных ситуаций [Текст] / А.К. Леваков // Электросвязь – наука. – М.: «Электросвязь», 2013. – №12. – С. 38-40.

3. Андрусевич А.А. Влияние изменения значений коэффициентов электрической нагрузки электрорадиоизделий на интенсивность отказов радиоэлектронных изделий [Электронный ресурс] / А.А. Андрусевич, Н.Г. Стародубцев, В.В. Невлюдова // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков, 2014. – Вып. 177. – С. 180 – 184. – Режим доступа: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/547?locale=ru>.

4. Абрамов Ю.А. Выбор метода определения проведения регламентных работ датчиков систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] / Е.Е. Кальченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №21. – С. 3 – 6. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Abramov.pdf>.

5. Загора А.В. Методика расчета времени автономной работы аварийного источника электропитания аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации [Электронный ресурс] / Е.Е. Селеенко, А.Б. Фещенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №21. – С. 23 – 30. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Zakora.pdf>.

6. Загора А.В. Методика расчета количества запасных технических средств для восстановления аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации [Электронный ресурс] / А.Б. Фещенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №22. – С. 23-37. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Zakora.pdf>.

7. Загора А.В. Взаимосвязь коэффициента готовности аппаратуры оперативной диспетчерской связи с достаточностью комплекта запасных технических средств при восстановлении после отказов в условиях чрезвычайной ситуации. [Электронный ресурс] / Е.Е. Селеенко, Д.Л. Соколов, А.Б. Фещенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – №23. – С. 20-26. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Zakora.pdf>.

8. Надежность ЭРИ: Справочник [Текст] / С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др.; науч. рук. С.Ф. Прытков. – М.: ЦНИИ МО РФ, 2002. – С. 8-17.

9. Абезгауз Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам [Текст] / А.П. Тронь, Ю.Н. Копенкин и др. – М.: Воениздат, 1970. – С. 395-397.

Получено редколлегией 29.09.2016

О.В. Загора, Є.Є. Селеєнко, А.Б. Фещенко

Вплив режиму електричного навантаження на працяздатність оперативного диспетчерського зв'язку в умовах надзвичайної ситуації

Представлена математична модель розрахунків експлуатаційної інтенсивності відмов телекомунікаційної апаратури оперативного диспетчерського зв'язку в умовах надзвичайної ситуації. Отримані й проаналізовані вираження для коефіцієнта оперативної готовності телекомунікаційної апаратури оперативного диспетчерського зв'язку в умовах надзвичайної ситуації. Зроблені розрахунки залежності ймовірності безвідмовної роботи в режимі номінального навантаження й підвищеного електричного навантаження телекомунікаційної апаратури оперативного диспетчерського зв'язку в умовах надзвичайної ситуації.

Ключові слова: оперативна диспетчерська зв'язок, надзвичайна ситуація, ймовірність безвідмовної роботи, коефіцієнт оперативної готовності.

O.V. Zakora, Y.Y. Seleenko, A.B. Feshchenko

Influence of the mode of the electric load on the reliability of operative-dispatch communication in emergency situations

The mathematical model of calculation of operational failure rate of telecommunications equipment operational control communication in an emergency situation. Obtained and analyzed the expression for the coefficient of operational readiness of telecommunication equipment operational control communication in an emergency situation. The calculation is based on the probability of failure-free operation in mode of rated load, and increased electrical load of the telecommunications equipment operational control communication in an emergency situation.

Keywords: operational dispatch communication, emergency situation, probability of failure, factor of operational readiness.