

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

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ АППАРАТУРЫ ОПЕРАТИВНОЙ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СВЯЗИ С ДОСТАТОЧНОСТЬЮ КОМПЛЕКТА ЗАПАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**

(представлено д-ром техн. наук Чубом И.А.)

Получены и проанализированы выражения коэффициента готовности аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации. установлена взаимосвязь между коэффициентом готовности и обеспеченностью аппаратуры комплектом запасных технических средств, произведен вероятностный расчет достаточности элементов в комплекте запасных технических средств для восстановления и ремонта телекоммуникационной аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** оперативная диспетчерская связь, чрезвычайная ситуация, запасные технические средства, восстановление аппаратуры.

**Постановка проблемы.** Эффективность работы оперативной диспетчерской связи (ОДС) и оповещения я в режиме чрезвычайной ситуации (ЧС) зависит, прежде всего, от показателей надежности, живучести и восстанавливаемости аппаратуры и степени влияния ЧС на работу сети электросвязи зависит по множеству факторов [1].

В некоторых случаях ЧС приводит к длительным отказам элементов сети электросвязи. Для поддержки оперативной готовности ОДС необходимо воспользоваться резервными техническими средствами (РТС) и провести восстановление аппаратуры за счет запасных технических средств (ЗТС). Одной из проблем при этом является повышение коэффициента готовности аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации и установление взаимосвязи между коэффициентом готовности и обеспеченностью аппаратуры комплектом запасных технических средств.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [2] и рассматривается классификация отказов, возникающих на современной телекоммуникационной аппаратуре в условиях ЧС по трем группам. К первой относятся отказы узлов коммутации (УК), в состав которых входит активное оборудование, необходимое для предоставления телекоммуникационных услуг. Вторую группу составляют транс-

портные ресурсы, служащие для формирования каналов обмена информацией. Третья группа — дополнительное оборудование, без которого поддержка ряда телекоммуникационных услуг возможна, но только с рядом ограничений.

Длительные отказы разделяют на два вида. К отказам первого вида относятся повреждения, вызванные непосредственным воздействием разрушительных сил ЧС. Длительные отказы транспортных ресурсов (линейных сооружений) учитывают возможные последствия от минимального (например, повреждение одного кабеля протяженностью менее 10 м) до максимального (предельный случай — разрушение всех линейных сооружений в сети электросвязи).

Отказы второго вида обусловлены прерыванием внешнего электропитания, вследствие которого УК перестает выполнять свои функции через некоторое время  $t_x$ , определяемое ресурсами внешнего электропитания.

Статистика последних лет показывает, что эксплуатируемые сети электросвязи, устойчивы к разрушениям, вызываемым ЧС. Чаще всего длительные отказы происходят из-за невозможности оперативного восстановления внешнего электропитания. Одним из способов поддержки работоспособности сетей электросвязи является формирование РТС [2].

В работе [3] 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.

В работе [4] представлены графоаналитические методы определения периода регламентных работ датчиков ослабления последствий ЧС, позволяющие повысить коэффициент оперативной готовности аппаратуры.

В работе [5] представлены оценка необходимости корректировки комплекта ЗТС и методика расчета необходимого количества запасных технических средств для восстановления аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации.

**Постановка задачи и её решение.** Проанализировав приведенные научные работы, сформулируем критерия достаточности запасных элементов и оценим коэффициент готовности аппаратуры ОДС после восстановления в условиях чрезвычайной ситуации.

Аппаратуру ОДС необходимо обеспечивать требуемым комплектом запасных элементов, так как в противном случае значительно увеличивается время восстановления. Критерий достаточности запасных элементов зависит от составляющих среднего времени восстановления ОДС из следующего выражения [6].

$$T_{\epsilon} = T_a + T_{ad} + T_n, \quad (1)$$

где  $T_a$  – среднее время активного ремонта;  $T_{ad}$  – среднее время вынужденного простоя при текущем ремонте из-за административных факторов;  $T_n$  – среднее время вынужденного простоя аппаратуры из-за отсутствия в ЗТС необходимых элементов (время пополнения).

Представим выражение (1) в следующем виде

$$T_{\text{в}} = T'_{\text{в}} + T_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $T'_{\text{в}}$  – среднее время восстановления аппаратуры при неограниченном (идеальном) комплекте ЗТС (т.е. при отсутствии задержек в снабжении).

Выразим среднее время восстановления аппаратуры через среднее время восстановления при отказе определенных элементов

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^N t_{\text{в}i} q_i, \quad (3)$$

где  $t_{\text{в}i}$  – среднее время восстановления при отказе  $i$ -го элемента;  $q_i$  – вероятность отказа аппаратуры из-за  $i$ -го элемента (при достоверном факте отказа аппаратуры);  $N$  – число элементов в аппаратуре.

Время  $t_{\text{в}i}$  можно представить в виде двух компонентов

$$t_{\text{в}i} = t'_{\text{в}i} + t_{\text{п}i} \quad (4)$$

соответствующих выражению (4) только для  $i$ -го элемента.

Осуществляя переход от конкретного элемента к группе однотипных элементов путем замены  $t_{\text{в}i}$  на  $t_{\text{в}j}$ ,  $q_i$  на  $q_j$  и  $i$  на  $k$ , которые соответствуют значениям для группы элементов, получаем

$$T_{\text{в}} = T'_{\text{в}} + T_{\text{п}} = \sum_{j=1}^k t'_{\text{в}j} q_j + \sum_{j=1}^k t_{\text{п}j} q_j. \quad (5)$$

Из выражения (5) находим

$$T_{\text{п}} = \sum_{j=1}^k t_{\text{п}j} q_j, \quad (6)$$

где  $t_{\text{п}j}$  – среднее время вынужденного простоя аппаратуры при текущем ремонте из-за элементов  $j$ -й группы;  $q_j$  – вероятность отказа из-за элементов  $j$ -й группы при отказе аппаратуры вообще (т.е. условная вероятность отказа аппаратуры из-за элементов  $j$ -й группы);  $k$  – число групп элементов в аппаратуре (номенклатура элементов).

Время  $T_{\Pi}$  может быть принято за критерий достаточности ЗТС. Достаточность ЗТС влияет и на коэффициент готовности аппаратуры

$$K_r = T_o / (T_o + T_b) \quad (7)$$

или с учетом выражения (8)

$$K_r = T_o / (T_o + T'_b + T_{\Pi}), \quad (8)$$

где  $T_o$  – наработка на отказ.

Выполнив соответствующие преобразования, получим

$$K_r = \frac{T_o}{(T_o + T_b)} = \frac{T_o}{(T_o + T'_b)} \cdot \frac{(T_o + T'_b)}{(T_o + T'_b + T_{\Pi})} = K'_r K_{об}, \quad (9)$$

где  $K'_r = \frac{T_o}{(T_o + T'_b)} = \frac{1}{(1 + \lambda/\mu)}$  – коэффициент готовности аппаратуры

при неограниченном комплекте ЗТС;

$K_{об} = \frac{(T_o + T'_b)}{(T_o + T'_b + T_{\Pi})} = \frac{1}{(1 + \frac{T_{\Pi}}{(T_o + T'_b)})} = \frac{1}{(1 + \frac{T_{\Pi} \cdot \lambda \cdot \mu}{(\lambda + \mu)})}$  – коэффициент

обеспеченности аппаратуры запасными элементами;  $\lambda, \mu$  – соответственно интенсивности отказов и восстановления.

Следовательно, среднее время восстановления аппаратуры и коэффициент готовности являются показателями ремонтпригодности, а среднее время простоя из-за недостатка ЗТС и коэффициент обеспеченности аппаратуры ЗТС являются критериями обеспеченности запасными элементами.

Номенклатура запасных частей для обеспечения эксплуатации определяется на основании рекомендаций завода-изготовителя той или иной аппаратуры и опыта эксплуатации ее в реальных условиях.

Количественный состав ЗТС аппаратуры следует считать достаточным, если по всем типам отказываемых элементов (заменяемых блоков, модулей) выполняются условия вида

$$n_{cpi} \leq m_{zi}, \quad (10)$$

где  $n_{cpi}$  – среднее число отказов элементов (заменяющих блоков, модулей)  $i$ -го типа;  $m_{zi}$  – число элементов (блоков, модулей)  $i$ -го типа, находящихся в ЗТС.

Как рассмотрено в [5] решение задачи комплектации аппаратуры

запасными деталями, анализ расходования ЗТС и составления заявок на его пополнение, подготовка материальной части к работе в условиях ЧС. заключается в решении функции  $m = f(N, \lambda, T_n)$ , т.е. нахождении необходимого числа запасных элементов  $m$  данного типа в зависимости от числа их в аппаратуре  $N$  и интенсивности их отказов  $\lambda$ , а также времени пополнения комплекта ЗТС  $T_n$ , при условии, что отказы независимы друг от друга, а их поток подчиняется закону Пуассона.

На основании формулы вероятности недостаточности, как вероятности того, что число отказов за время  $T_n$  будет больше числа запасных элементов  $m$ , находящихся в комплекте ЗТС, получим выражение для расчета  $m$  в виде

$$P_n(n(T_n) > m) = \sum_{n=m+1}^{\infty} \frac{(n_{cp})^n}{n!} e^{-n_{cp}} = \bar{\psi}(m+1; n_{cp}), \quad (11)$$

где  $\bar{\psi}(m+1; n_{cp})$ , – функция, получаемая из табличной функции  $\bar{\psi}(\chi; \mu)$ , путем замены переменных  $\chi = m+1; \mu = n_{cp}$ . [7].

Для достаточно малых значений вероятности недостаточности  $\bar{\psi}(m+1; n_{cp}) = 0.01$ , получим график функции  $m = f(N, \lambda, T_n)$ , например, при следующих значениях  $N=100; T_n = 720\text{ч}; 2160\text{ч}; 4320\text{ч}$ ,  $\lambda = 10^{-5} - 10^{-4} \text{ч}^{-1}$  представленный на рис. 1.

Из анализа графиков (Рис.1) следует, что с уменьшением  $\lambda$  и  $T_n$  количество необходимых элементов замены ЗТС  $m$  требуется тем меньше, чем меньше их интенсивность отказов  $\lambda$  и время пополнения  $T_n$  комплекта ЗТС.

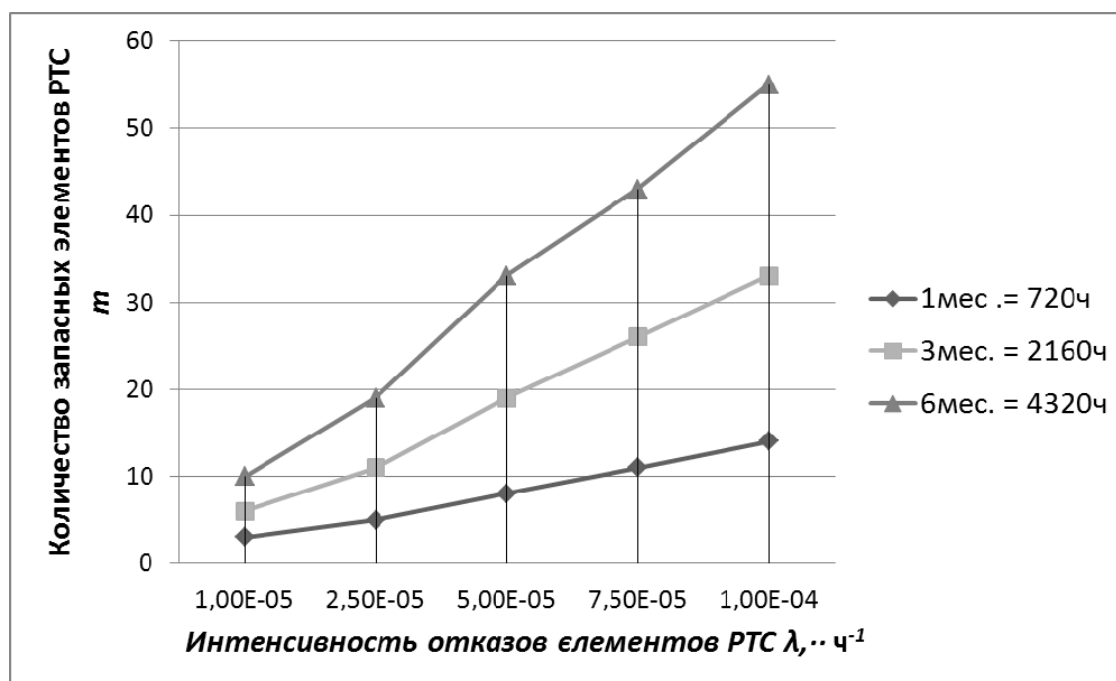


Рис. 1. График функции  $m = f(N, \lambda, t_n)$ , при  $N=100$

$$T_n = 720\text{ч}; 2160\text{ч}; 4329\text{ч}, \lambda = 10^{-5} - 10^{-4} \text{ч}^{-1}$$

**Выводы.** Получены и проанализированы выражения для оценки коэффициента готовности аппаратуры ОДС после отказов в условиях чрезвычайной ситуации. установлена взаимосвязь между коэффициентом готовности и обеспеченностью аппаратуры комплектом ЗТС, произведен вероятностный расчет достаточности элементов в комплекте ЗТС для восстановления и ремонта телекоммуникационной аппаратуры ОДС в условиях ЧС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Леваков А.К. Особенности функционирования телекоммуникационных сетей следующего поколения в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков. – М.: ИРИАС, 2012. – 107 с.
2. Леваков А.К. Задачи формирования комплекса резервных технических средств для восстановления отказов в сети электросвязи вследствие чрезвычайных ситуаций / А.К. Леваков // Электросвязь. – наука. – М.: «Электросвязь», 2013. – №12. – С. 38–40.
3. Загора А.В. Методика расчета времени автономной работы аварийного источника электропитания аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации / Загора А.В., Селеенко Е.Е., Фещенко А.Б. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №21. – С. 23-30. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Zakora.pdf>.
4. Абрамов Ю.А. Выбор метода определения проведения регламентных работ датчиков систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций / Абрамов Ю.А., Е.Е., Кальченко // Проблемы 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 количества запасных технических средств для восстановления аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации / Загора А.В., Фещенко А.Б. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №22. – С. 23-37. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Zakora.pdf>.
6. Зыков В.И. Автоматизированные системы управления и связь. Учебник / Зыков В.И., Командиров А.В., Мосягин А.Б., Тетерин И.М., Чекмарев Ю.В. // Под редакцией Зыкова В.И. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – С. 645-647.
7. Абезгауз, Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам / Абезгауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н. и др // М.: Воениздат, 1966. – С. 67-69.

---

О.В. Загора, Є.Є. Селеєнко, Д.Л. Соколов, А.Б. Фещенко

**Взаємозв'язок коефіцієнта готовності апаратури оперативного диспетчерського зв'язку з достатністю комплексу запасних технічних засобів при відновленні після відмов в умовах надзвичайної ситуації**

Отримані й проаналізовані вираз коефіцієнта готовності апаратури оперативного диспетчерського зв'язку після відмов в умовах надзвичайної ситуації. установлений взаємозв'язок між коефіцієнтом готовності й забезпеченістю апаратури комплектом запасних технічних засобів, зроблений імовірнісний розрахунок достатності елементів у комплекті запасних технічних засобів для відновлення й ремонту телекомунікаційної апаратури оперативного диспетчерського зв'язку в умовах надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** оперативна диспетчерська зв'язок, надзвичайна ситуація, запасні технічні засоби, відновлення апаратури.

O.V. Zakora, Y.Y. Seleenko, D.L. Sokolov, A.B. Feshchenko

**The relationship of the coefficient of readiness of equipment operational control communication with the sufficiency of the set of spare technical resources when recovering from failures in emergency situations**

Obtained and analyzed the expression of the coefficient of readiness of equipment operational dispatch communication after failures in emergency situations. the relationship between the availability and security of equipment spare set of technical tools that were produced by the probabilistic adequacy calculation of elements in the set of spare technical means for rehabilitation and repair of telecommunication equipment of operative-dispatch communication in emergencies.

**Keywords:** operational dispatch communication, emergency situation, replacement hardware, restoration hardware.