

УДК 623.355.6

## Методическое обеспечение формирования комплектов военно-технического имущества связи, как инструмент повышения эффективности функционирования системы восстановления техники связи и автоматизированных систем управления

Воловиков В. С.

**Актуальность.** Важным направлением процесса эксплуатации техники связи и автоматизированных систем управления в военное время является восстановление ее работоспособности. При этом техническое состояние образцов будет характеризоваться как эксплуатационными отказами, так и боевыми повреждениями. Опыт учений показывает несостоятельность системы технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления при решении задач восстановления техники даже с эксплуатационными отказами, не говоря уже о возможных многочисленных боевых повреждениях. Одной из основных причин такого состояния дел является отсутствие в ремонтных органах такой составляющей материального обеспечения процесса восстановления, как комплекты военно-технического имущества связи. **Цель исследования** – совершенствование системы восстановления военной техники связи путем синтеза комплектов военно-технического имущества связи необходимых для ремонта неработоспособной техники. Обоснование рационального номенклатурного и количественного состава рассматриваемых комплектов позволит осуществить своевременное восстановление техники связи и тем самым повысить устойчивость функционирования развертываемой на период ведения военных действий системы связи. **Результат работы** – новая методика обоснования рационального номенклатурного и количественного состава комплектов военно-технического имущества связи. Сформулированная общая постановка задачи на формирование соответствующих запасов и ее формализация позволили определить для ее решения систему необходимых исходных данных, выходной информации, а также накладываемые на элементы системы восстановления и реализуемые ими процессы допущения и ограничения. Установленная зависимость качества функционирования системы восстановления от показателя эффективности комплектов военно-технического имущества связи, выраженного через коэффициент важности закладываемых в них запасных элементов, позволила определить последовательность оценки эффективности восстановления с использованием формируемых комплектов. При этом, в целях оптимизации структуры комплектов военно-технического имущества связи, решается задача целочисленного программирования, а именно задача о загрузке рюкзака. **Новизна** предлагаемой методики заключается в использовании соответствующих коэффициентов важности конструктивных элементов техники связи, которые непосредственно зависят от вероятности их повреждения, а, следовательно, учитывают спрос на запасные элементы. **Практическая значимость:** результаты работы планируется использовать при разработке рекомендаций должностным лицам соответствующих довольствующих органов для осуществления ими планирования на особый период мероприятий технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления в рамках создания материальной основы восстановления техники связи.

**Ключевые слова:** восстановление военной техники связи, комплект военно-технического имущества связи, эксплуатационные отказы, боевые повреждения, методика формирования.

### Введение

В последнее время современные цифровые образцы техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ) приобрели исключительное значение для устойчивого и оперативного управления войсками. Последние учения продемонстрировали, что большинство задач по

предоставлению услуг связи должностным лицам полевых пунктов управления решалось именно ими [1].

Применительно к разворачиваемым системам связи проблему поддержания ТС и АСУ в готовности к применению во многом усугубляет несоответствие возможностей сил и средств существующей системы восстановления потребностям войск связи, в частности необеспеченность ремонтных органов комплектами военно-технического имущества связи (КВТИС) для ремонта ТС и АСУ с боевыми повреждениями. В ходе боевых действий конструктивные элементы ТС и АСУ в зависимости от внешних воздействующих факторов, и в первую очередь от огневого воздействия противника будут подвержены различной степени разрушениям. При этом степень разрушения существенным образом зависит от элементной базы, входящей в состав тех или иных типов ТС и АСУ.

Известные задачи, посвященные формированию КВТИС, решались путем оценки предполагаемых потерь на основе процентного соотношения выхода ТС и АСУ в определенный вид ремонта и не рассматривали характеристики стойкости конкретных конструктивных элементов к поражающим факторам оружия противника. Существующие методики ориентированы на создание комплектов запасных частей, инструмента и принадлежностей определенного вида в первую очередь ориентированные на восстановление ТС и АСУ с эксплуатационными отказами [2].

Представляется, что для устранения военно-научных и практических противоречий требуется разработка соответствующей методики обоснования рационального номенклатурного и количественного состава КВТИС.

### **Формальная постановка задачи на обоснование рационального состава КВТИС**

Процесс формирования КВТИС зависит от управляющих воздействий соответствующих органов управления на силы и средства восстановления, т.е. является результатом управленческого решения.

Каждый образец ТС и АСУ (в дальнейшем будем называть объект) с течением времени  $t$  принимает два состояния: работоспособное, когда он способен выполнять свои основные функции, и неработоспособное. В неработоспособное состояние объект может переходить в нормальных условиях эксплуатации и в результате воздействий противника. Следовательно, в военное время будут иметь место:

- 1) эксплуатационные отказы – повреждения объект, вызванные воздействием на него эксплуатационных факторов  $\varepsilon(t)$ , не связанных с воздействием оружия противника;
- 2) боевые повреждения – повреждения образца, вызванные воздействием на него оружия противника и (или) сопутствующих поражающих факторов  $\lambda(t)$ .

Процесс последовательного перехода объекта из одного состояния в другое будем называть процессом восстановления. Состояние объекта  $z(t)$  представляет собой множество, включающее состояния его конструктивных

элементов (электронный модуль, измерительные приборы, базовые несущие конструкции, соединительные кабели, антенно-мачтовые устройства и др.) в момент  $t$ , т.е.  $z(t) = \{z_i(t)\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $i \in I$ ,  $I = \{1, 2, \dots, m\}$ , где  $I$  – упорядоченный перечень индексов элементов объекта,  $m$  – число элементов объекта. Принимаем  $z_i(t) = 0$ , если элемент  $i$  поврежден или отказал в момент  $t$ ,  $z_i(t) = 1$  – в противном случае. Тогда процесс изменения состояния объекта будет заключаться в последовательном повреждении и восстановлении элементов.

Интенсивность воздействия противника по элементам системы связи характеризуется ее потерями в ТС и АСУ определенного типа за промежуток времени  $\Delta t$  ведения боевых действий равный одним суткам (среднесуточные потери). Пусть  $t_j$  моменты воздействий противника на объект,  $j = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – общее число воздействий за одни сутки ведения операции, а  $t_{bj}$  – моменты восстановления поврежденных объектов на интервале  $\Delta t$ . Таким образом,  $t_j$  – моменты воздействий, приводящие к отклонению характеристик объекта от требуемых значений, а  $t_{bj}$  – моменты реализации управляющих воздействий на объект, которые обеспечивают восстановление требуемых характеристик.

Процесс изменения состояний объекта осуществляется в результате реализации множества управляющих воздействий (управлений)  $u(t) = \{u_i(t)\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , формируемых органом управления восстановлением объекта.

Успешное решение задач восстановления по восполнению потерь ТС и АСУ на элементах системы связи с началом и в ходе военных действий возможно только при наличии определенных запасов военно-технического имущества (ВТИ), обеспечивающих работу ремонтных органов по компенсации возможных потерь. В соответствии с руководящими документами данные запасы составляют заблаговременно создаваемые КВТИС, обеспечение ремонтных органов которыми должно реализовываться системой снабжения на основе прогноза потерь ТС и АСУ. Рациональный состав КВТИС, напрямую зависящий от качества прогнозной оценки потерь, будет определять качество процесса восстановления ТС и АСУ в ходе боевых действий и эффективность функционирования системы технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления (ТОС и АСУ) в целом.

При описании процесса формирования КВТИС целесообразно использовать не все бинарные переменные  $z_i(t)$ , а только перечень индексов  $r(t) \subset I$  элементов, которые будут находиться в состоянии отказа  $r_{эj}$  или получат повреждения  $r_{пj}$  в момент  $t_j$ , т.е. элементов, для которых  $z_i(t) = 0$ . В этом случае процесс формирования КВТИС можно представить как многошаговый дискретный процесс, задаваемый индексами  $r_j = r(t_j)$  поврежденных элементов. Иначе говоря, в момент времени  $t_1$  первого воздействия противника мы имеем множество поврежденных элементов  $r_1 = I$ .

На момент времени  $t_n$  последнего воздействия противника мы будем иметь множество поврежденных и отказавших элементов с индексами

$$R(\Delta t) = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}. \quad (1)$$

В определенный момент  $t_b$ , не превышающий требуемого времени

восстановления ( $t_B \leq T_{B,TP}$ ), должно завершиться восстановление элементов.

Зная суточные потери элементов после  $n$  воздействий противника, определяемые выражением (1), можно создать необходимые запасы для их восстановления. Необходимо отметить, что под процессом восстановления объекта будем понимать совокупность операций по замене его поврежденных конструктивных элементов работоспособными аналогами из состава КВТИС, т.е. будет иметь место агрегатный метод ремонта.

Таким образом, упрощенная структура процесса формирования КВТИС может быть представлена в виде (рис. 1).

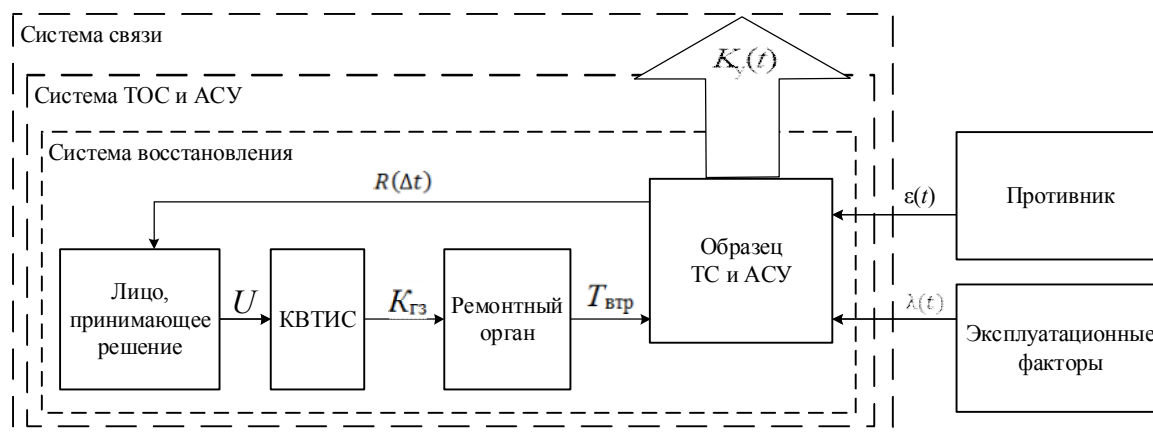


Рис. 1. Структура процесса формирования КВТИС

Процесс формирования КВТИС осуществляется в результате реализации множества управляющих воздействий, формируемых лицом, принимающим решение  $U(t) = \{u_i(t)\}$ .

Каждое управление будем характеризовать подмножеством индексов поврежденных элементов  $r_i$ . Из этого следует, что совокупность  $u_i(t)$  представляет собой результат управленческого решения, сформированный в виде описи КВТИС, включающей перечень запасных частей, требуемых для восстановления поврежденных элементов объекта после воздействия на него противника в моменты времени  $t_i$ .

В соответствии с выбранным управлением  $u_i(t) = r_i$  необходимо, чтобы номенклатурный и количественный состав КВТИС совпадал с перечнем индексов  $R(\Delta t)$  элементов, которые в соответствии с прогнозом будут находиться в поврежденном состоянии, т.е.  $U(t) = R(\Delta t)$ .

Управленческое решение на создание рациональных запасов КВТИС формируется с учетом выбранных показателей и критериев эффективности процесса восстановления, а также на основе информации о повреждённых элементах объекта, степени их повреждения, предполагаемых сроках выполнения ремонтно-восстановительных работ, территориальном размещении образца ТС и АСУ (объекта), состоянии дорог, времени доставки ремонтных органов, наличии сил и средств восстановления.

При выборе показателей эффективности восстановления необходимо ориентироваться на задачи, решаемые объектом ремонта при обеспечении

управления войсками. Для рассматриваемых объектов, представляющих собой сложную техническую структуру, было предложено использовать показатель, характеризующий «реальную» пропускную способность ( $C_p$ ), что тождественно количеству каналов связи ( $N_k$ ), образуемым данным объектом, на заданном интервале времени (ведения военных действий) [3]. Данный показатель непосредственно зависит от работоспособного состояния элементов ТС и АСУ.

В таком случае процесс восстановления сети связи может быть представлен в виде ступенчатой функции  $N_k = N_k(t, u)$ , представляющей собой зависимость от времени и управляющих воздействий, выраженных в том числе и определением рационального состава запаса. Скачки такой функции будут происходить в результате воздействия противника, когда вследствие выхода из строя элементов объекта уменьшается значение соответствующей функции, и в моменты восстановления вышедших из строя элементов, когда ее значение возрастает (рис. 2).

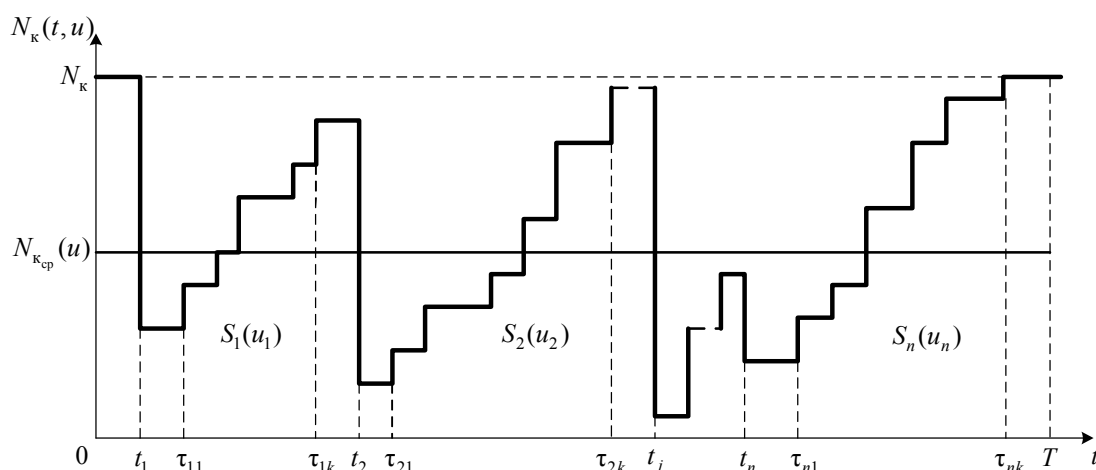


Рис. 2. Модель процесса восстановления в форме ступенчатой функции

В результате показатель эффективности восстановления может быть представлен в виде [6]

$$N_{kcp}(u) = T^{-1} \int_0^T N_k(t, u) dt, \quad (2)$$

где  $(0, T)$  – выбранный интервал усреднения функции  $N_k$ ;

$T$  – момент времени, заведомо больший времени восстановления последней группы элементов в момент  $\tau_{nk}$ .

Для последующего определения управляющих воздействий на интервалах  $(t_j, t_{j+1})$  интеграл (2) целесообразно представить в виде следующей суммы интегралов:

$$N_{kcp}(u) = T^{-1} \left[ \int_0^{t_1} N_k(t) dt + \sum_{j=1}^n \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_k(t, u) dt \right], \quad (3)$$

где  $T = t_{n+1}$ .

Учитывая, что первое слагаемое в квадратных скобках выражения (3) не зависит от управляющих воздействий, а  $T$  является величиной постоянной, то

для оценки эффективности управляемого процесса можно использовать следующий показатель:

$$g(u_1, u_2, \dots, u_n) = \sum_{j=1}^n \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_k(t, u) d(t) = \sum_{j=1}^n S_j(u_j), \quad (4)$$

где  $S_j(u_j)$  – площади фигур, ограниченных сверху кривой  $N_k(t, u_j)$ , слева и справа – прямыми  $t_j$  и  $t_{j+1}$ , снизу – прямой  $N_k(t, u) = 0$ .

Данный показатель существенно отличается от ранее известных показателей [5, 6], используемых при обосновании рационального состава запасов для обеспечения процесса восстановления при воздействии противника на систему связи. Предлагаемый показатель, как и при рассмотрении эффективности управляемого процесса восстановления в целом [4], может быть использован при многократных воздействиях противника в условиях длительного ведения военных действий.

Для формальной постановки задачи, направленной на разрешение данных вопросов, будем использовать адекватную модель процесса восстановления (рис. 2.).

Решаемая задача может быть сформулирована следующим образом.

Определены исходные данные  $d = \{N_{к.п}, M, W_i, Z_0, V\}$ ,

где  $N_{к.п}$  – требуемая пропускная способность;

$M$  – модель объекта;

$W_i$  – значения коэффициентов функциональной значимости восстанавливаемых элементов объекта;

$Z_0$  – исходное состояние объекта, при котором все его элементы выполняют свои функции, т.е.  $Z_0 = \{z_{0i} = 1\}, i = 1, 2, \dots, m$ , где  $z_{0i}$  – состояние элемента  $i$  в исходном состоянии объекта;  $m$  – общее число элементов;  $z_{0i} = 1$ , если элемент  $i$  не поврежден,  $z_{0i} = 0$  – в противном случае;

$V = \{V_j\}, V_j = \{Z_j, X_j, T_{vj}, u_j\}$  – возможности системы восстановления позволяющие:

- 1) производить прогнозную оценку состояния объекта  $Z_j$  после каждого воздействия противника в момент  $t_j$  и определять множество поврежденных элементов  $X_j, j = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – число воздействий;
- 2) определять время выполнения восстановительных работ на поврежденных элементах  $T_{vj} = \{\tau_{vi}\}_j, i \in X_j$ ;
- 3) на основе прогноза количества вышедших из строя элементов, определять состав КВТИС  $u = \{u_j\}, j = 1, 2, \dots, n$ , основанный на частных расчетах  $u_j = \{X_{jr}, \tau_{jr}\}, r = 1, 2, \dots, s_j$ , производимых после каждого  $j$ -го воздействия, где  $X_{jr}$  – упорядоченное множество индексов поврежденных элементов,  $X_{jr} \in X_j$ ;  $\tau_{jr}$  – моменты времени их восстановления;  $s_j$  – число поврежденных элементов после  $j$ -го

воздействия. Следует отметить, что состав КВТИС будет представлять собой перечень запасных элементов, тогда  $u_j$  в дальнейшем будем называть частным перечнем;

- 4) влиять на показатели эффективности функционирования системы восстановления путем реализации управляющих воздействий  $u_j$ .

Требуется определить такой состав КВТИС  $U^* = \{u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*\}$  и реализовать соответствующие прогнозу управляющие воздействия, при которых среднее значение пропускной способности на всем интервале ведения военных действий, определяемое с помощью соотношения (3), будет максимальным. Так как соотношению (3) соответствует выражение (4), то

$$g(u_1, u_2, \dots, u_n) = \max_{u_j \in U} \sum_{j=1}^n S_j(u_j). \quad (5)$$

Таким образом, задача сводится к максимизации соответствующей суммы частных площадей  $S_j(u_j)$ .

Принимаем, что  $t_1 = 0$  и  $t_{n+1} = T$ , а после последнего воздействия в момент  $t_n$  завершается полное восстановление объекта и доступность к ресурсам объекта достигает первоначального значения  $N_k$ .

Для обоснования метода решения поставленной задачи выделим произвольный интервал  $(t_j, t_{j+1})$ , рассмотрим полный процесс восстановления всех поврежденных элементов объекта после воздействия в момент  $t_j$  и определим момент времени  $T_j$ , заведомо больший конечного времени восстановления для любого частного перечня  $u_j$  (рис. 3). При этом момент завершения полного процесса восстановления может превышать момент  $t_{j+1}$  следующего воздействия противника.

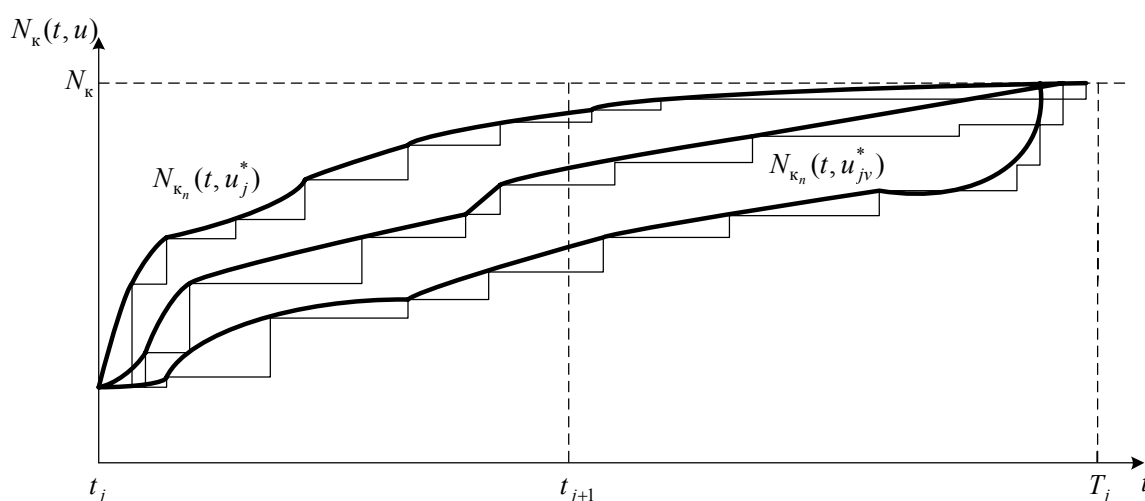


Рис. 3. Процесс восстановления после  $i$ -го воздействия

Примем следующие условия:

1. Существует конечное множество вариантов частного перечня КВТИС

$u_j \subset \{u_{j1}, u_{j2}, \dots, u_{jv}, \dots, u_{jk}\}$  для заданного множества поврежденных элементов  $X_j$  объекта при любом  $j$ -м воздействии противника. Действительно, так как множество поврежденных элементов всегда конечно, то каждый вариант частного состава будет определяться соответствующей перестановкой данных элементов. Число таких перестановок в предельном случае  $k = s_j!$ .

2. Каждый  $v$ -й вариант частного перечня характеризуется ступенчатой функцией  $y = N_{\kappa}(t, u_{jv})$ , определяющей приращение значения  $N_{\kappa}$  после восстановления соответствующего элемента.

3. Существует оптимальный частный перечень  $u_j^*$ , выбираемый из множества вариантов и характеризуемый максимальным значением  $N_{\kappa}$  на интервале  $(t_j, T_j)$ , где  $T_j > \tau_{js}$  для любого  $i$ , т. е.

$$N_{\kappa_{\text{ср}}}(u_j^*) = \max_{u_j} T \left[ 1 / (T_j - t_j) \int_{t_j}^{T_j} N_{\kappa}(t, u_j) d(t) \right]. \quad (6)$$

4. Оптимальному  $u_j^*$  соответствует максимальное значение площади  $S(u_j^*)$ , ограниченной сверху кривой  $N(t, u_j^*)$ . Действительно, т. к. величина  $1 / (T_j - t_j)$  не зависит от  $u_j$ , то оптимальный частный перечень КВТИС может быть получен из условия:

$$S(u_j^*) = \max_{u_j} \int_{t_j}^{T_j} N_{\kappa}(t, u_j) d(t) = \max_{u_j} S(u_j). \quad (7)$$

5. Все ступенчатые функции  $y = v(t, u_{jv})$  аппроксимируются непрерывными монотонно возрастающими функциями  $y_{\text{н}} = N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$ , при этом  $N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_j^*) \geq N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$  для всех  $t \in (t_j, T_j)$  и существуют моменты  $t$ , где неравенство является строгим. Оптимальный частный перечень также удовлетворяет соотношению:

$$S_{\text{н}}(u_j^*) = \max_{u_j} \int_{t_j}^{T_j} N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_j) d(t) = \max_{u_j} S_{\text{н}}(u_j). \quad (8)$$

Данное условие является допущением, однако при формировании оптимального состава КВТИС, с целью максимизации площади  $S_{\text{н}}(u)$ , всегда необходимо добиваться, чтобы для всех точек  $t \in (t_j, T_j)$  значение функции  $y = N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_j^*)$  превышало значения остальных функций  $y_{\text{н}} = N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$ , соответствующих неоптимальным перечням.

Из перечисленных условий вытекает следующее утверждение.

Если для функций  $y_{\text{н}} = N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$ , определяющих формируемые частные перечни запасных элементов  $u_{jv}$  на интервале  $(t_j, T_j)$ , выполняется условие  $N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_j^*) \geq N_{\kappa_{\text{н}}}(t, u_{jv})$ ,  $t \in (t_j, T_j)$ ,  $u_j^*$  – оптимальный план, и существуют  $t \in (t_j, T_j)$ , где данное неравенство является строгим, то для любых  $t_{i+1} \in (t_j, T_j)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $t_1 = 0$ ,  $t_{n+1} = T$ ,



$$S_i(u_j^*) \geq S_i(u_{jv}), \quad (9)$$

где  $S_i(u_j^*) = \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_k(t, u_j^*) d(t)$ ,  $S_i(u_{jv}) = \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_k(t, u_{jv}) d(t)$ , и хотя бы одно из неравенств является строгим.

Доказательство данного утверждения основано на известном свойстве определенных интегралов: если интегрируемая функция первого интеграла превышает интегрируемую функцию второго интеграла на всем интервале интегрирования, то первый интеграл превышает второй [4].

Таким образом, пусть после любого воздействия противника в момент  $t_j$  сформирован оптимальный частный перечень  $u_j^*$ , учитывающий как поврежденные элементы после этого воздействия, так еще не восстановленные элементы после предыдущих воздействий в моменты  $t_1, t_2, \dots, t_{i-1}$  (возможно с учетом времени их остаточного восстановления). Следующее воздействие в момент  $t_{j+1}$  произведено до окончания времени восстановления поврежденных элементов вследствие предыдущего воздействия (потребления всех элементов частного перечня КВТИС). Однако отрезок графика восстановления с использованием КВТИС  $N_k(t, u_j^*)$  на интервале  $(t_j, t_{j+1})$  также будет соответствовать оптимальному перечню  $u_j^*$ , обеспечивать максимальное значение площади  $S_i(u_j)$  и максимальное среднее значение степени (коэффициента) функционирования объекта на этом интервале.

Таким образом, для решения поставленной задачи (5), исходя из особенностей заблаговременного создания рассматриваемых запасов, ЛПР необходимо спрогнозировать последствия воздействия противника на объект в рассматриваемый интервал ведения военных действий. Результатом прогнозирования количества поврежденных элементов за рассматриваемый период времени, при принятом показателе эффективности функционирования системы восстановления, будет являться рациональный состав КВТИС вида:

$$U^* = \{u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*\}. \quad (10)$$

Мы рассмотрели общую процедуру формирования КВТИС, как средства повышения эффективности процесса восстановления поврежденной и отказавшей ТС и АСУ. Постановка задачи на формирование оптимального по своему составу КВТИС требует более глубокого понимания зависимости выбранного в качестве основного показателя эффективности от величины запаса.

### Оценивание эффективности восстановления с использованием КВТИС

Для оценивания эффективности восстановления сетей связи, представляющих собой многополюсные структуры, в ходе ведения военных действий целесообразно использовать функционал характеризующий среднее значение реализации относительного числа связанных двухполюсных структур (ДПС) на заданном интервале времени. Так как в этих условиях необходимо

оценивать эффективность формируемых КВТИС, то данный функционал представим в следующем виде:

$$Q_{cp}(\lambda, u) = T^{-1} \int_0^T G(t, \lambda, u) dt, \quad (11)$$

где:  $\lambda$  – результаты воздействий противника;

$u$  – характеристики мероприятий восстановления.

Результаты воздействий противника характеризуются убыванием ступенчатой кривой  $Q(t, \lambda, u)$  (рис. 4). При этом момент падения ступеньки  $t'_j$  совпадает с моментом воздействия противника и повреждением объекта (элемента СС), а величина ступеньки  $\delta_j$  определяет относительное число поврежденных ДПС в этот момент,  $j = 1, 2, \dots, n$ .

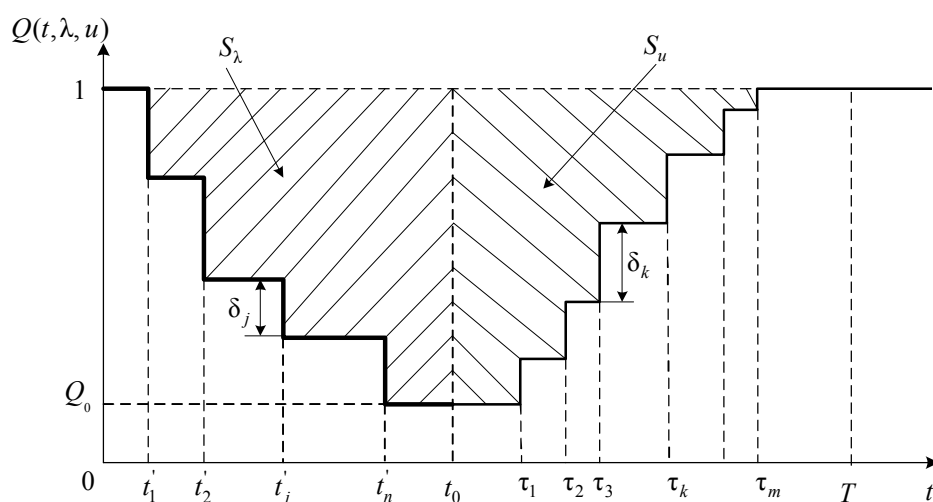


Рис. 4. Реализация процесса поражения и восстановления сети связи

Очередность и сроки восстановления, которые зависят от наличия запасных элементов в составе КВТИС, будут определять возрастание  $Q(t, \lambda, u)$ . За  $t_0$  примем момент времени начала восстановительных работ. Момент возрастания ступеньки  $\tau_{1k}$  совпадает с моментом восстановления элемента, а величина ступеньки  $\delta_k$  определяет относительное число ДПС,  $k = 1, 2, \dots, m$ .

Площадь  $S_\lambda$  в рамках рассматриваемой задачи зависит только от воздействий противника  $\lambda$ , который стремится ее максимизировать, т. е. обеспечить максимальное убывание кривой  $Q(t, \lambda, u)$  на отрезке  $(0, t_0)$  или нанести максимальный ущерб сети связи. Площадь  $S_u$  зависит от характеристик плана восстановления и, выбираемых с целью ее минимизации, т.е. с целью максимального возрастания кривой  $Q(t, \lambda, u)$  на отрезке  $[t_0, T]$  или максимального значения среднего относительного числа связанных ДПС на этом интервале. Поэтому для оценки эффективности восстановления в дальнейшем целесообразно использовать показатель  $g$ , определяемый только площадью  $S(u) = S_u(u)$  при начальном значении  $Q_0$  в момент  $t_0 = 0$ , т.е.  $g_H = S(u)$ .

Значение этого показателя при заданных характеристиках плана восстановления определяется достаточно просто [4]:

$$g_H = \sum_{k=1}^m t_k \delta_k, \quad (12)$$

где:  $t_k \delta_k$  – площадь горизонтального прямоугольника со сторонами  $t_k$  и  $\delta_k$ ;

$\delta_k$  – приращение относительного числа связных ДПС в момент  $t_k$  восстановления элемента  $i_k$ , которое может быть и нулевым.

Очевидно, что в роли  $Q(t, \lambda, u)$  может выступать и выбранный нами показатель эффективности функционирования сети связи – «реальная» пропускная способность.

Показано, что задача нахождения оптимального плана восстановления (7), которой соответствует максимизация значений площадей  $S(u_j)$ , может быть сведена к задаче минимизации вида

$$S(u^*) = \min \sum_{k=1}^m t_k \delta_k, \quad (13)$$

где  $\delta_k$  – приращение  $N_k$  в момент восстановления образца ТС и АСУ  $i_k$ , которое может быть и нулевым. Т.е.  $\delta_k$  выступает в роли коэффициента важности объекта при функционировании сети связи.

Очевидно, что свои коэффициенты важности имеют и конструктивные элементы объекта, которые по-своему влияют на выполнение им задач по предназначению в соответствии с тактико-техническими характеристиками.

Анализ значимости элементов необходим для определения их показателей живучести и надежности в целях оценки их вклада в комплексный показатель устойчивости ТС и АСУ.

При анализе объекта рассматривается его модель в виде структуры без учета особенностей свойств элементов. Это позволяет на первом этапе исследования ограничить объем информации только теми данными, которые характеризуют лишь структуру объекта.

Так как нами было принято допущение о том, что объект выходит из строя при поражении или отказе любого его элемента, то элементы не будут характеризоваться структурной значимостью, определяемой количеством и качеством связей элемента с другими. Кроме того, при определении структурной значимости элементов объекта не учитывается роль каждого элемента в его функционировании. Все элементы считаются одинаково обезличенными с точки зрения структуры объекта, поэтому показатель структурной значимости был бы недостаточной характеристикой.

Наша задача оценить элемент по параметрам, характеризующим его функционирование в объекте и степень ответственности в выполнении целевой функции объекта. Таким показателем является комплексный показатель функционирования элемента, представляющий произведение частных показателей функционирования. Частные показатели функционирования характеризуют элемент с точки зрения доли участия его в выполнении целевой функции объекта.

Представляется, что такими частными показателями функционирования

элементов будут являться вероятности их работоспособного состояния в условиях поражающего действия оружия противника и нормальных условиях эксплуатации, характеризуемые коэффициентами  $K_{ж}(t)$  и  $K_{г}(t)$  соответственно.

Следовательно, элемент должен обладать определенной передаточной функцией. Этот параметр имеет разную размерность, и для того чтобы сравнивать различные элементы по соответствующим показателям, последние должны иметь единую шкалу измерения.

Для параметра элемента определяем его нормированное значение, в качестве которого принимается среднее значение параметра для  $n$  элементов объекта:

$$p_{нi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i. \quad (14)$$

Показатель функционирования определяется как отношение конкретного значения параметра  $p_i$ , к нормированному значению  $p_{нi}$ :

$$k_i = \frac{p_i}{p_{нi}}. \quad (15)$$

Очевидно, что данный показатель будет не единственным. Совокупность показателей функционирования характеризует элемент с разных сторон с точки зрения доли участия в функционировании системы, поэтому комплексный показатель функционирования представляет собой объединение частных показателей и может иметь следующий вид:

$$k_{x_i} = \prod_{i=1}^n k_i. \quad (16)$$

Комплексный показатель, с одной стороны, с точки зрения соответствия целевой функции объекта характеризует внутренние резервы элемента, позволяющие выполнять поставленные элементу задачи. С другой стороны, в соответствии с принципами системного подхода показатель отражает условие целостности. Для выполнения требований связанности и организованности необходимо при анализе элементов учитывать их внешние свойства. Осуществляется это уже с помощью структурно-функционального анализа непосредственно образца ТС и АСУ. Решение этой задачи выходит за рамки данного исследования.

Очевидно, что при решении задачи формирования рационального КВТИС в его структуру необходимо закладывать элементы с большей интенсивностью эксплуатационных отказов и большей вероятностью выхода из строя в результате воздействия ПФ. Следовательно, в соответствии с выбранной системой показателей эффективности процесса восстановления в военное время, в качестве параметров элементов для нахождения их частных показателей функционирования, определяющих их важность в достижении цели функционирования объекта могут выступить:

- 1) вероятность того, что элемент находится в неработоспособном состоянии  $f_i(t)$  по причине отказа или повреждения на интервале времени от 0 до  $t$ .
- 2) количество элементов данной номенклатуры в общей совокупности ТС и АСУ соответствующего типа.

Проведенный анализ значимости элементов определяет:

- 1) взаимосвязь показателей живучести и надежности элемента с важностью образца ТС и АСУ в системе связи, выраженную через его устойчивость;
- 2) зависимость показателей работоспособности объекта и его элементов от времени восстановления.

Тогда, для оптимизации процесса восстановления с использованием КВТИС путем его рационального формирования, с накладываемыми при этом ограничениях на запас в виде требований вышестоящих систем задача (13) может быть сформулирована в виде критерия

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^m k_{x_i} x_i; \\ V \leq V_{\text{тр}}, \end{cases} \quad (17)$$

где:  $m$  – перечень индексов вышедших из строя элементов образца ТС и АСУ;  
 $k_{x_i}$  – комплексный показатель функционирования  $i$ -го элемента (в дальнейшем – весовые коэффициенты запасных элементов  $x_i$ , определяющие их важность по отношению к другим элементам в структуре КВТИС);

$V_{\text{тр}}$  – допустимый объем, измеренный в количестве запасных элементов, включаемых в состав КВТИС. При этом следует отметить, что в качестве ограничения на состав КВТИС могут выступать и другие показатели, например, затраты системы ГОС и АСУ на создание и хранение запасов.

Для решения данной задачи необходимо уточнить ряд составляющих, входящих в состав критериального функционала (17). Прежде всего необходимо определить какие конструктивные элементы  $x_i$  выйдут из строя в рассматриваемый период действий войск.

Нормальные условия эксплуатации образца ТС и АСУ характеризуются его надежностной характеристикой – интенсивностью отказов  $\lambda$ , на основании которой определение отказавших элементов и расчет требуемых запасных частей для их восстановления не представляет трудностей. Сложности возникают с определением элементов, пораженных в результате огневого воздействия противника. Поэтому для их устранения следующим этапом исследований будет разработка методического аппарата оценки боевых повреждений ТС и АСУ, т.е. формализация процесса воздействия поражающих факторов на конструктивные элементы техники, который позволит получить исходные данные для решения задачи формирования КВТИС.

Таким образом, принятие управленческого решения на формирование КВТИС заключается в решении задачи рационального использования выделенного объема под запасные элементы, которая может быть сформулирована следующим образом.

Требуется найти рациональный вектор  $\vec{X}^* = \{X_1^*, X_2^*, \dots, X_m^*\}$  с целыми неотрицательными компонентами, характеризующими количество запасных элементов, помещаемых в  $V$ , максимизирующий линейную функцию:

$$\max \sum_{i=1}^m k_{x_i} x_i \quad (18)$$

и удовлетворяющий условию:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_i \leq V_{\text{тр}}, \quad (19)$$

где  $v_i$  – объем элемента  $x_i$ , задаваемый его геометрическими (масштабными) размерами.

Так как функция (18) является линейной, а каждый элемент решения принимает одно из двух значений

$$x_i = \begin{cases} 0, & \text{если } i\text{-й элемент включаем в состав КВТИС,} \\ 1, & \text{если } i\text{-й элемент не включаем в состав КВТИС,} \end{cases} \quad (20)$$

то решаемая задача относится к классу задач целочисленного линейного программирования и является классической задачей о загрузке рюкзака. Особенностью данной ее постановки является необходимость на каждом шаге решения изменять целевую функцию и вектор  $\bar{X}^*$ , так как сокращается число элементов, которые возможно разместить в  $V$  в силу ограничений (19). Определив удельный вклад в увеличение целевой функции каждым из запасных элементов, в дальнейшем задача решается методом пошаговой оптимизации.

Данная задача, в сравнении с известными постановками и методами решения задач формирования запасов для восстановления ТС и АСУ в военное время, имеет следующие особенности:

- учет при формировании запасов как эксплуатационных отказов элементов ТС и АСУ, так и воздействие на них поражающих факторов оружия противника;
- зависимость целевой функции (18) от структурной важности восстанавливаемых элементов, которая непосредственно влияет на устойчивость образца ТС и АСУ и соответственно сети связи в целом.

### Литература

1. Воловиков В. С., Чихачев А. В. Анализ системы восстановления военной техники связи и направления ее совершенствования. // Труды Военно-морского политехнического института. Рецензируемый сборник. 2014, № 1(14). С. 78–85.
2. Воловиков В. С. Комплекты военно-технического имущества связи: проблемы создания и пути решения. // Сборник военно-научных статей академии. 2013, № 5971. С. 31 – 38.
3. Исаков Е. Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. СПб.: Политехнический университет, 2009. 400 с.
4. Хохлачев Е. Н. Организация и технологии выработки решений при управлении системой и войсками связи. Часть 2. Выработка решений при восстановлении сетей связи. М.: ВА РВСН, 2009. 243 с.

5. Коморников П. М. Обеспечение комплектами запасного имущества и принадлежностей ремонта цифровых систем передачи агрегатным методом. Дис... канд. техн. наук. Л.: ВАС, 1988. 168 с.

6. Кальян Н. Ф. Методика формирования запасов ЗИП для частей связи. Дис... канд. техн. наук. СПб.: ВАС, 1997. 265 с.

### References

1. Volovikov V. S., Chikhachev A. V. *Analiz sistemy vosstanovleniya voennoy tekhniki svyazi i napravleniya ee sovershenstvovaniya* [The military communications equipment repair system analysis and directions for its improvement]. *Trudy voenno-morskogo politekhnicheskogo instituta*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 78-85 (In Russian).

2. Volovikov V. S. *Komplekty voenno-tekhnicheskogo imushchestva svyazi: problemy sozdaniya i puti resheniya* [Repair complete sets: the problem of creating and solutions]. *Sbornik voenno-nauchnykh statey akademii*, 2013, no. 5971, pp. 31-38 (In Russian).

3. Isakov E. E. *Ustoychivost' voennoy svyazi v usloviyakh informatsionnogo protivoborstva* [Stability of military communications in the conditions of information warfare]. St-Petersburg, Polytechnic University Publ., 2009. 400 p. (In Russian).

4. Khokhlachov E. N. *Organizatsiya i tekhnologii vyrabotki resheniy pri upravlenii sistemoy i voyskami svyazi. Chast' 2. Vyrabotka resheniy pri vosstanovlenii setey svyazi* [Organization and technology decision-making in the management system and the Signal Corps. Part 2: Developing solutions for restoring communication networks]. Moscow, Military Academy of Strategic Missile Troops Publ., 2009. 243 p. (In Russian).

5. Komornikov P. M. *Obespechenie komplektami zapasnogo imushchestva i prinadlezhnostey remonta tsifrovyykh sistem peredachi agregatnym metodom*. Diss. kand. tech. nauk [Providing a set of spare equipment and accessories repair of digital transmission systems aggregate method. Ph.D. Thesis]. Leningrad, Military Academy of Communications, 1988. 168 p. (In Russian).

6. Kalian N. F. *Metodika formirovaniya zapasov ZIP dlya chastey svyazi*. Diss. kand. tech. nauk [Technique of formation of stocks of spare parts for the parts of communication. Ph.D. Thesis], St-Petersburg, Military Academy of Communications, 1997. 265 p. (In Russian).

Статья поступила 17 февраля 2015 г.

### Информация об авторе

Воловиков Владимир Сергеевич – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени Маршала Советского союза С.М. Буденного. Тел.: +7 911 914 48 39. E-mail: [bbcvvc@yandex.ru](mailto:bbcvvc@yandex.ru)

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

## The formation methodology of repair complete sets as a tool to improve the efficiency of the recovery system of military communication equipment

Volovikov V. S.

An important area of operation of the process of communication equipment and automated control systems in wartime is to restore her health. In this case, the technical condition of the samples will be characterized as operational failures, and battle damage. Experience shows the inconsistency of the teachings of the technical communications and automated control systems for solving recovery techniques even with operational failures, not to mention the much possible combat damage. One of the main reasons for this state of affairs is the lack of repair organs such component material support the recovery process, as repair complete sets. The urgency of the issue in question allowed to formulate the **purpose of research** - to improve the system restore military communications by synthesis repair complete sets needed to repair the connection unusable equipment. Justification rational nomenclature and quantitative composition of the considered sets will allow for the timely restoration of communications technology and thereby improve the stability of operation deployed for a period of warfare communication system. The **main result** of the study was to study the proposed method of rational nomenclature and quantitative composition repair complete sets. A general statement of the problem on the formation of the stock and its formalization possible to determine to solve a system of necessary input data, output data, and imposed on the elements of recovery and they implement processes assumptions and limitations. The dependence of functioning quality system recovery from performance indicator repair complete sets, expressed as coefficient of importance is laid in their spare elements, possible to determine the sequence of evaluating the effectiveness of recovery using the generated sets. At the same time, in order to optimize the structure of sets of military equipment communication to solve the task of integer programming, namely the task of loading a backpack. The **novelty** of the proposed method is the use of appropriate coefficients important structural elements of communications technology, which are directly dependent on the probability of damage, and thus allow for replacement components demand. **Practical relevance:** the work you plan to use in developing recommendations to officials of the relevant authorities are content for their planning special events during the technical communication and management systems in the framework of creating the material basis for the restoration of communications technology.

*Key words:* recovery system, military communication equipment, battle damage, repair complete sets, formation methodology, task of loading a backpack.

### Information about Author

*Volovikov Vladimir Sergeevich* – Doctoral Student. Postgraduate Student at Department of Technical Maintenance Communication and Automation. Military Academy of Communications. Tel.: +7 911 914 48 39. E-mail: [bbcvvc@yandex.ru](mailto:bbcvvc@yandex.ru)  
Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospect, 3.