

УДК: 623.355/359

DOI: 10.53816/23061456_2022_11-12_131

**СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РЕМОНТА
ТЕХНИКИ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
В ЛОКАЛЬНЫХ ВОЙНАХ И ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ**

**A WAY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE REPAIR SYSTEM
OF COMMUNICATIONS EQUIPMENT AND AUTOMATED CONTROL SYSTEMS
IN LOCAL WARS AND ARMED CONFLICTS**

*Д-р техн. наук А.В. Мякотин, канд. воен. наук А.А. Бурлаков,
канд. воен. наук А.Я. Моргунов, Н.И. Вишняков*

D.Sc. A.V. Myakotin, Ph.D. A.A. Burlakov, Ph.D. A.Y. Morgunov, N.I. Vishnyakov

Военная академия связи им. С.М. Буденного

В статье обоснована необходимость разработки методики формирования рациональной очереди восстановления в качестве одного из способов повышения эффективности системы ремонта техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ) в локальных войнах и вооруженных конфликтах. Рассмотрены существующие на настоящий момент в руководящих документах взгляды на порядок восстановления ТС и АСУ, выявлены существующие проблемы, для решения которых реализуется рассматриваемая методика. Подробно описаны все составляющие процесса восстановления.

Для формирования рациональной очереди восстановления введено понятие «значимость» образца ТС и АСУ, рассмотрен порядок его формирования и приведены выражения для вычисления данного показателя для отдельных образцов ТС и АСУ. Показано, что решаемая задача относится к классу задач комбинаторной оптимизации и является классической задачей о загрузке рюкзака. Определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: восстановление, очередь восстановления, военная техника связи и автоматизированных систем управления, значимость, время ремонта.

The article substantiates the need to develop a methodology for the formation of a rational recovery queue as one of the ways to improve the efficiency of the repair system of communication equipment and automated control systems (TS and ACS) in local wars and armed conflicts. The views currently existing in the guidance documents on the procedure for restoring the vehicle and the automated control system are considered, the existing problems are identified, for the solution of which the considered methodology is being implemented. All components of the recovery process are described in detail.

To form a rational recovery queue, the concept of «significance» of a vehicle and ACS sample is introduced, the order of its formation is considered and expressions for calculating this indicator for individual vehicle and ACS samples are given. It is shown that the solved problem belongs to the class of combinatorial optimization problems and is a classic backpack loading problem. The directions of further research are determined.

Keywords: recovery, recovery queue, military communications equipment and automated control systems, significance, repair time.

Техническое обеспечение (ТО) войск является важнейшей составляющей комплекса мероприятий, направленных на поддержание боеготовности и боеспособности войск. Мировой опыт войн и вооруженных конфликтов свидетельствует о том, что грамотная организация мероприятий технического обеспечения по своевременному восстановлению вооружения и военной техники (ВВТ) в динамике боевых действий является залогом успеха операции.

Техническое обеспечение связи и автоматизированных систем управления (ТОС и АСУ) является видом технического обеспечения, одной из задач которого является восстановление и возвращение в строй техники связи (ТС) и АСУ при повреждениях и эксплуатационных отказах. Данную задачу выполняет система ремонта.

Необходимо отметить, что система ремонта ТС и АСУ в локальных войнах и вооруженных конфликтах имеет некоторые особенности, обусловленные тем, что локальные войны обладают следующими отличиями от «классических» [1]:

- отсутствие явно выраженной линии боевого соприкосновения войск;
- постоянная возможность нападения противника, проведения им диверсионных акций;
- рассредоточенность ТС и АСУ на значительных пространствах и разнообразное их использование не только в объединении, соединении, но и в части, а иногда и в подразделении;
- непрерывная массовая эксплуатация практически всех образцов ТС и АСУ;
- большая неравномерность выхода из строя ТС и АСУ в результате боевых повреждений по соединениям, частям и операциям;
- отсутствие штатных ремонтных органов, развертываемых при проведении мобилизации, и широкое привлечение для производства ремонта выездных ремонтных бригад (ВРБ) промышленности.

Перечисленные выше особенности, а также рост технической и технологической сложности ТС и АСУ существенно повышают вероятность выхода ее из строя. При этом существующая система ремонта ТС и АСУ справляется с задачей восстановления техники не в полном объеме (не соблюдается в первую очередь своевременность восстановления). Следовательно, для поддержания обеспеченности войск техникой на

требуемом уровне требуется повышение эффективности системы ремонта ТС и АСУ.

Одним из путей повышения эффективности может являться соблюдение рациональной очереди восстановления поврежденных образцов техники, что требует разработки методики формирования данной очереди [2].

Под постановкой задачи на разработку методики формирования рациональной очереди восстановления неработоспособной ТС и АСУ будем понимать определение исходных данных, системы соответствующих ограничений и допущений, а также требуемой выходной информации по результатам ее использования.

Будем считать известными следующие исходные данные:

- общее количество ТС и АСУ — N ;
- количество типов ТС и АСУ — S ;
- количество образцов ТС и АСУ каждого типа — $\{N_s\}, s = 1, \dots, S$;
- количество образцов ТС и АСУ, требующих ремонта в каждый момент времени — $N^*(t)$;
- широта и долгота i -го образца ТС и АСУ — λ_i, φ_i ;
- количество типов сил и средств ремонта — M ;
- широта и долгота j -го образца сил и средств ремонта m -го типа — $\lambda_{mj}, \varphi_{mj}, m = 1, \dots, M$;
- скорость движения сил и средств ремонта m -го типа — $\{V_m\}, m = 1, \dots, M$;
- количество сил и средств ремонта каждого типа — $\{N_m\}, m = 1, \dots, M$;
- общее количество сил и средств ремонта — $N_{\text{рем}}$;
- продолжительность ремонта i -го образца ТС и АСУ — t_{pi} ;
- общий объем времени, выделенный на восстановление ТС и АСУ — $T_{\text{в доп}}$.

В качестве сил и средств ремонта в статье рассматриваются выездные ремонтные бригады со средствами доставки ремонтных комплектов (РК) и ремонтные органы (РО) со средствами транспортирования. Указанный состав средств ремонта выбран по результатам анализа локальных войн и вооруженных конфликтов последних десятилетий, в которых принимали участие Вооруженные Силы Российской Федерации.

При этом необходимо отметить, что расстояние между i -м образцом ТС и АСУ и j -м

средством ремонта l_{ij} будет различным, а каждый образец ТС и АСУ будет иметь разную в данных условиях значимость для всей системы связи w_{is} определенную, например, в соответствии с количеством ТС и АСУ данного типа в общем количестве ТС и АСУ группировки войск (сил) ГВ(с)).

Продолжительность восстановления i -го образца ТС и АСУ любого типа t_{Bi} включает в себя следующие составляющие [3–5]:

– для ВРБ:

$$t_{B \text{ вРБ} i} = t_{\text{Ож} i} + t_{\text{вРБ} i} + t_{\text{вРБ тд} i} + t_{\text{РК} i} + t_{\text{Р} i}, \quad (1)$$

где $t_{\text{Ож} i}$ — время ожидания обслуживания i -м образцом ТС и АСУ, включающее как организационные задержки, так и время ожидания свободных средств ремонта;

$t_{\text{вРБ} i}$ — время прибытия ВРБ, которое зависит от скорости движения ВРБ $V_{\text{вРБ}}$ и расстояния между ВРБ и данным образцом ТС и АСУ $l_{\text{вРБ} i}$;

$t_{\text{вРБ тд} i}$ — время, необходимое для проведения технического диагностирования i -го образца ТС и АСУ ВРБ;

$t_{\text{РК} i}$ — время подвоза РК, которое также зависит от скорости средства подвоза $V_{\text{РК}}$ и расстояния между складом и образцом ТС и АСУ l_{1i} ;

$t_{\text{Р} i}$ — время ремонта i -го образца ТС и АСУ (не включая время диагностирования $t_{\text{вРБ тд} i}$);

– для РО:

$$t_{B \text{ ро} i} = t_{\text{Ож} i} + t_{\text{ро} i} + t_{\text{Р} i}, \quad (2)$$

где $t_{\text{Ож} i}$ — время ожидания обслуживания i -м образцом ТС и АСУ, включающее как организационные задержки, так и время ожидания свободных средств транспортирования;

$t_{\text{ро} i}$ — время, необходимое на доставку образца в РО, зависящее от скорости движения средства транспортирования $V_{\text{Трансп}}$ и расстояния между РО и данным образцом ТС и АСУ $l_{\text{ро} i}$;

$t_{\text{Р} i}$ — время ремонта i -го образца ТС и АСУ (включая время диагностирования).

В дальнейшем среднюю скорость движения средства ремонта m -го типа будем считать величиной постоянной V_m .

Здесь $t_{\text{вРБ} i}$, $t_{\text{РК} i}$, $t_{\text{ро} i}$, которые в дальнейшем будем называть «транспортными» потерями времени, составляют тем большую часть времени восстановления t_{Bi} , чем меньшее время $t_{\text{Р} i}$ тре-

буется для ремонта образца ТС и АСУ, и чем большее расстояние l_{ij} между ним и средством ремонта.

Также примем, что по результатам проведения предварительной дефектации экипаж способен определить необходимый вид ремонта (текущий, средний или капитальный) и его примерную продолжительность $t_{\text{Р} i}$, либо необходимость списания образца ТС и АСУ.

Для формирования рациональной очереди восстановления введем понятие «значимость». Данный показатель формируется следующим образом: в общем случае очередность ремонта ТС и АСУ средствами ремонта устанавливается в зависимости от трудоемкости ремонта и потребностей первоочередного восстановления нарушенных связей. При наличии в ремонтном фонде нескольких однотипных образцов, в первую очередь восстанавливается техника, требующая наименьших затрат времени на выполнение ремонтных работ $t_{\text{Р} \text{ min}}$, т.е. значимость образца будет определяться потребностью восстановления нарушенных связей (назовем этот показатель «весом» образца и будем обозначать Ω) и временем ремонта.

Таким образом, значимость образца ТС и АСУ — это показатель, отражающий вклад образца в обеспечение связи, а также трудоемкость его ремонта. Под значимостью i -го образца ТС и АСУ w_{is} будем понимать приоритет его восстановления.

Тогда задача формирования рациональной очереди восстановления ТС и АСУ математически может быть сформулирована следующим образом [6]:

$$X' = \arg \max_{X' \in \Theta} W(X') \rightarrow \max,$$

где X' — конкретный вариант очереди восстановления;

$W(X')$ — совокупная значимость образцов ТС и АСУ, включенных в очередь восстановления;

X^* — упорядоченное множество образцов ТС и АСУ, включенных в очередь восстановления (вариант очереди восстановления);

Θ — множество различных вариантов очереди восстановления ТС и АСУ.

Следует пояснить, что понятия «восстановление», «ремонт», «время восстановления», «время

ремонта» трактуются в соответствии с [7]. Далее, говоря о формировании очереди восстановления, но используя при этом понятия «время ремонта», «ремонт», будем понимать, что время восстановления зависит от времени ремонта в соответствии с выражениями (1), (2).

Рассматривая далее значимость, видим, что все образцы можно ранжировать по весу и времени ремонта следующим образом

$$\Omega_1 > \Omega_2 > \dots > \Omega_{N^*};$$

$$t_{p1} < t_{p2} < \dots < t_{pN^*}.$$

Для того чтобы установить очередность восстановления, необходимо определить зависимость значимости образца от этих показателей $w_{is} = f(\Omega, t_p)$, т.е. решить задачу многокритериальной оптимизации [8]

$$\begin{cases} \Omega_i \rightarrow \max \\ t_{p_i} \rightarrow \min \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, N^*.$$

Очевидно, что при восстановлении ТС и АСУ во время ведения военных действий вес образца будет играть определяющую роль в формировании рациональной очереди ремонта, т.е. в первую очередь будет ремонтироваться образец, имеющий больший вес (если ремонт этого образца возможен, $t_{p_i} \neq \infty$). В этом случае — если имеется информация об абсолютном превосходстве по важности каждого следующего критерия над оставшимися — возможно использование лексикографической оптимизации и отношение предпочтения будет выглядеть следующим образом [8]:

$$x > y \Leftrightarrow (\Omega_x > \Omega_y) \vee [(\Omega_x = \Omega_y) \wedge t_{p_x} < t_{p_y}],$$

где x, y — сравниваемые образцы ТС и АСУ, т.е. решение о постановке в очередь принимается по критерию большего веса, а в случае равенства весов — по критерию меньшего времени. В этом случае очередь восстановления примет вид

$$\begin{cases} \Omega_1 > \Omega_2 > \dots > \Omega_{N^*}, \\ t_{p1} < t_{p2} < \dots < t_{pN^*}, \text{ при } \Omega_1 = \Omega_2 = \dots = \Omega_{N^*} \end{cases}$$

Необходимо, однако, отметить, что вес образца, определяемый потребностью восстанов-

ления нарушенных связей, крайне сложно поддается формализации, что затрудняет его использование в качестве критерия выбора очередности ремонта того или иного образца ТС и АСУ.

В связи с этим необходимо выбрать такой показатель, который отражал бы значимость w_{is} любого образца ТС и АСУ и который при этом возможно было бы формализованно описать.

В качестве одного из показателей, удовлетворяющих заданным условиям, рассмотрим относительное количество ТС и АСУ s -го типа, определяемое выражением

$$\eta_{is} = \frac{n_s}{N}, \quad i = 1, 2, \dots, N^*, \quad s = 1, 2, \dots, S, \quad (3)$$

где n_s — количество ТС и АСУ s -го типа;

N — общее количество ТС и АСУ ГВ(с), причем значимость образца будет повышаться при уменьшении относительного количества ТС и АСУ данного типа:

$$w_i \rightarrow \max_{\eta_{is} \rightarrow \min}, \quad i = 1, 2, \dots, N^*, \quad s = 1, 2, \dots, S.$$

Выбор данного показателя обосновывается тем, что при выходе из строя ТС и АСУ s -го типа, имеющейся в малом количестве, вероятность восстановить нарушенные связи перераспределением сил и средств системы связи, либо с использованием резерва будет существенно ниже, чем при выходе из строя ТС и АСУ s^* -го типа, имеющейся в большем количестве.

Рассмотренный в таком виде показатель не в полной мере характеризует значимость образца ТС и АСУ, что требует введения дополнительных коэффициентов.

Считая, что в первую очередь следует восстанавливать ТС и АСУ, необходимую для связи с вышестоящим командованием, введем коэффициент звена управления K_{zy} , значение которого будет тем ниже, чем выше будет звено управления.

Также учтем количество ТС и АСУ s -го типа, незадействованной в организации связи (находящейся в резерве), введя коэффициент резерва $K_{рез}$

$$K_{рез} = \frac{N_{резs} + 0,1}{N_{рез} + 0,1}, \quad s = 1, 2, \dots, S,$$

где $N_{резs}$ — количество ТС и АСУ s -го типа, находящейся в резерве;

$N_{\text{рез}}$ — общее количество ТС и АСУ ГВ(с), находящейся в резерве.

Тогда выражение (3) преобразуется следующим образом:

$$\eta_{is} = K_{\text{sy}} K_{\text{рез}} \frac{n_s}{N}, i = 1, 2, \dots, N^*, s = 1, 2, \dots, S.$$

Существенную часть времени восстановления будут составлять «транспортные» потери времени, как это показано в формулах (1), (2). Для их учета рассмотрим скорость движения средства ремонта m -го типа V_m и расстояние между i -м образцом и j -м средством ремонта l_{ij} . Но так как V_m не является характеристикой образца ТС и АСУ, то в дальнейшем в качестве второго показателя, удовлетворяющего условиям отражения значимости образца и возможности формализованного описания, будем рассматривать l_{ij} . При этом значимость образца будет тем выше, чем меньше будет l_{ij} .

$$w_i \rightarrow \max_{l_{ij} \rightarrow \min}, i = 1, 2, \dots, N^*, j = 1, 2, \dots, N_m.$$

С учетом всего вышеизложенного, для характеристики значимости i -го образца ТС и АСУ в методике предлагается применить обобщенный показатель значимости w_i , определяемый как зависимость

$$w_i = f(\eta_{is}, l_{ij}), i = 1, 2, \dots, N^*;$$

$$s = 1, 2, \dots, S, j = 1, 2, \dots, N_m.$$

Для получения обобщенного показателя значимости осуществим мультипликативную свертку частных показателей η_{is}, l_{ij} [8, 9]:

$$w_i = (\eta_{is})^{\lambda_1} (\psi_{ij})^{\lambda_2}, i = 1, 2, \dots, N^*;$$

$$s = 1, 2, \dots, S, j = 1, 2, \dots, N_m, \quad (4)$$

где ψ_{ij} — относительное расстояние между i -м образцом ТС и АСУ и j -м средством ремонта m -го типа;

λ_1, λ_2 — степени относительной важности (веса) частных показателей.

Для оценки λ_1, λ_2 применим метод простого ранжирования. Очевидно, что частный показатель η_{is} — относительное количество ТС и АСУ s -го типа — будет более важным для определе-

ния значимости образца в процессе формирования рациональной очереди восстановления, чем относительное расстояние ψ_{ij} . Это объясняется тем, что η_{is} характеризует структурную значимость i -го образца ТС и АСУ s -го типа с позиций количества ТС и АСУ этого типа n_s в общей номенклатуре ТС и АСУ системы связи ГВ(с), звена управления и наличия «свободных» образцов данного типа, то есть определяет относительную роль ТС и АСУ данного типа в общем количестве ТС и АСУ N . Следовательно, данный показатель является характеристикой системы связи, являющейся вышестоящей системой по сравнению с системой технического обеспечения связи (ТОС) и АСУ [3], включающей систему ремонта, в то время как относительное расстояние ψ_{ij} применяется только для характеристики системы ТОС и АСУ.

На основании приведенных рассуждений, примем ранг частного показателя ψ_{ij} равным 2, $r_2 = 2$. Ранг частного показателя η_{is} , соответственно, установим как $r_1 = r_2 - 1$, т.е. $r_1 = 1$. Тогда

сумма частных показателей $\sum_{q=1}^2 r_q = 3$, а веса их будут равны $\lambda_1 = 1/3, \lambda_2 = 2/3$.

При этом, согласно (4), абсолютная величина обобщенного показателя значимости w_i будет тем меньше, чем выше значимость i -го образца ТС и АСУ. Для упрощения восприятия в дальнейшем обобщенный показатель значимости образца будем высчитывать по формуле

$$w_i = 1 - (\eta_{is})^{\lambda_1} (\psi_{ij})^{\lambda_2}, i = 1, 2, \dots, N^*;$$

$$s = 1, 2, \dots, S, j = 1, 2, \dots, N_m. \quad (5)$$

Получив количественные значения значимости из (5), всю совокупность рассматриваемых образцов ТС и АСУ можно представить рядом, ранжированным по убыванию показателя значимости:

$$w_i > w_{i+1}, i = 1, 2, \dots, N^*. \quad (6)$$

Представляется, что оперативное восстановление работоспособности образцов ТС и АСУ с наименьшими номерами в ряду (6) обеспечит максимально возможный коэффициент значимости парка ТС и АСУ ГВ(с). Однако данное утверждение справедливо только в том случае,

если задача формирования очереди решается без каких-либо ограничений на расход ресурсов. Такого рода ограничения всегда присутствуют, следовательно, наиболее значимые образцы ТС и АСУ должны выбираться с учетом возможных (допустимых) вариаций их параметрами в пределах области определения целевой функции [10].

Применительно к решаемой задаче по формированию рациональной очереди восстановления ТС и АСУ, полученный ряд (6) представляет собой не что иное, как весовые коэффициенты w_i i -х образцов ТС и АСУ, порядок расположения которых в ряду ТС и АСУ $X_i = \{x_i\}$, где x_i — идентификатор i -го образца, определяет значимость i -го образца ТС и АСУ по отношению к другим образцам ТС и АСУ в структуре системы восстановления [5].

Тогда алгоритм выбора значимого образца ТС и АСУ, определяющий его приоритет в системе восстановления, может быть представлен в виде [10]

$$W_{\text{пр}} = \max w_i;$$

$$w_i \in W_{\text{ож}} [\alpha_{gi}]; i = 1, 2, \dots, N^*; g = 1, 2, \dots, G;$$

$$\alpha_g \in A; \chi = 1, 2, \dots, n_\chi, \quad (7)$$

где $W_{\text{пр}}$ — приоритетная для системы восстановления величина значимости образца ТС и АСУ;

$W_{\text{ож}}$ — совокупная значимость образцов ТС и АСУ, ожидающих восстановления;

α_{gi} — параметр i -го образца, требующий расхода χ -го ресурса (времени восстановления, затрат на восстановление и т.п.) при включении в формируемую очередь восстановления;

A — множество возможных значений параметра α_{gi} ;

G — общее количество параметров образца ТС и АСУ;

n_χ — число ограничений на ресурсы.

В соответствии с (7) ряд приоритетов (6) должен быть модифицирован в подмножество, включающее показатели значимости только тех образцов ТС и АСУ, множество возможных значений параметров которых в рамках ограничений на ресурсы не равно 0 ($A \neq 0$), что представляет собой решение оптимизационной задачи [9, 11].

Такая постановка задачи означает, что для оптимизации процесса восстановления ТС и АСУ путем формирования рациональной

очереди восстановления с накладываемыми ограничениями на время восстановления в виде требований вышестоящих систем, может быть сформулирован критерий

$$W \rightarrow \max \text{ при } T_B \leq T_{B, \text{доп}}, \quad (8)$$

где W — совокупная значимость образцов ТС и АСУ, включенных в очередь восстановления;

T_B — суммарное время восстановления образцов ТС и АСУ;

$T_{B, \text{доп}}$ — допустимое время восстановления.

Таким образом, принятие решения на формирование рациональной очереди восстановления ТС и АСУ, позволяющей системе восстановления функционировать с максимальной эффективностью, заключается в решении задачи оптимального использования выделенного на восстановление времени, которая может быть сформулирована следующим образом.

Требуется найти упорядоченное множество $X^* = \{x_{i1}^*, x_{i2}^*, \dots, x_{in}^*\}$, $n^* \in N^*$ с целыми неотрицательными компонентами, характеризующее количество образцов ТС и АСУ, восстанавливаемых за время $T_{B, \text{доп}}$, максимизирующее линейную функцию

$$\max \sum_{i=1}^{N^*} w_i x_i^*, x_i^* \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, N^*, \quad (9)$$

и удовлетворяющее условию:

$$\sum_{i=1}^{N^*} t_{Bi} x_i^* \leq T_{B, \text{доп}}, x_i^* \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, N^*,$$

где w_i — значимость i -го образца ТС и АСУ, определяющая его ценность относительно других образцов в системе ремонта;

t_{Bi} — время восстановления i -го образца ТС и АСУ;

x_i^* — идентификатор образа ТС и АСУ.

Функция (9) является линейной, а значение идентификатора x_i^* принимает одно из двух возможных значений:

$$x_i^* = \begin{cases} 1, & \text{если образец ТС и АСУ включается} \\ & \text{в очередь восстановления;} \\ 0, & \text{если образец ТС и АСУ не включается} \\ & \text{в очередь восстановления.} \end{cases}$$

Решаемая задача относится к классу задач комбинаторной оптимизации и является

классической задачей о загрузке рюкзака [12, 13]. Особенностью данной ее постановки является необходимость производить перерасчет целевой функции (9) для каждого средства ремонта с учетом изменения $T_{\text{В доп}}$ и возможного увеличения количества образцов ТС и АСУ, требующих восстановления.

Исходя из вышеизложенного, управляющее воздействие по формированию очереди восстановления ТС и АСУ будет представлять собой функцию вида

$$u(t) = f(N^*(t), W_{\text{ож}}(t), T_{\text{В доп}}), \quad (10)$$

где $N^*(t)$ — количество образцов ТС и АСУ, требующих ремонта в каждый момент времени;

$W_{\text{ож}}(t)$ — совокупная значимость образцов ТС и АСУ, ожидающих восстановления;

$T_{\text{В доп}}$ — допустимое время восстановления.

Задача о загрузке рюкзака является одной из задач комбинаторной оптимизации. Существует несколько модификаций задачи о рюкзаке, отличия между которыми заключаются в условиях, наложенных на рюкзак, предметы или их выбор [12]. В соответствии с выражением (10), такими условиями являются:

- каждый элемент можно брать только один раз. Очевидно, что x_i лежат в диапазоне от 0 до N^* (N^* — количество образцов ТС и АСУ, требующих восстановления) и представляют собой целые числа;

- ограничения, накладываемые на рюкзак, выражаются только его максимально разрешенным объемом, представляющим собой допустимое время восстановления $T_{\text{В доп}}$.

Таким образом, сформулированная задача является дискретной и представляет собой одномерный ограниченный рюкзак («рюкзак 0-1»), когда каждый элемент можно брать только один раз.

Цель дальнейших исследований:

- определение основных методов решения задачи (8) и их сравнение;
- реализация алгоритмов решения классической задачи о рюкзаке;
- тестирование программ, реализующих алгоритмы, оценка их качества;
- выявление закономерностей, позволяющих определить граничные условия использования того или иного подхода к решению задачи.

Литература

1. Степшин М.Л. Особенности технического обеспечения Российских войск в локальных войнах и военных конфликтах // Военная мысль. — 2010. № 11. С. 28–34.

2. Вишняков Н.И. Модель системы комплексного технического обслуживания и ремонта техники связи и автоматизированных систем управления в условиях воздействия противника // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 3–4 (141–142). С. 59–64.

3. Руководство по техническому обеспечению связи и автоматизированных систем управления — М.: МО, 2018. 230 с.

4. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2016. 19 с.

5. Вишняков Н.И. Обобщенная методика формирования рациональной очереди восстановления военной техники связи и автоматизированных систем управления при выполнении специальных задач // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 9–10 (147–148). С. 104–108.

6. Рябинин И.А., Панферов Ю.М. Определение «веса» и «значимости» отдельных элементов при оценке надежности сложных систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1987. № 6. С. 54–67.

7. ГОСТ 27.002-15. Надежность в технике. Термины и определения. — М.: Стандартинформ. 2016. 28 с.

8. Подвесовский А.Г., Михалева О.А. Особенности моделирования процессов принятия групповых решений в распределенных экспертных сетях // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. № 4 (52). С. 77–89.

9. Таха Х. Введение в исследование операций: Пер. с англ. 7-е изд. / Таха Х. — М.: Вильямс. 2005. 912 с.

10. Воловиков В.С. Модель огневого воздействия противника на ТС и АСУ элементов военных сетей связи // Телекоммуникационные технологии. 2014. Выпуск 2. С. 43–49.

11. Саати Т.Л. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы. — М.: Мир, 1973. 213 с.

12. Додонова М.М. Изучение и сравнение методов решения различных модификаций задачи о рюкзаке // Сборник научных трудов XI Международной конференции студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Сибирский федеральный университет, г. Томск. 2014. С. 591–593.

13. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. — СПб.: Питер, 2001. 384 с.

References

1. Stepshin M.L. Osobennosti tekhnicheskogo obespecheniya Rossijskikh vojsk v lokal'nyh vojnah i voennyh konfliktah // Voennaya mysl'. 2010. № 11. Pp. 28–34.

2. Vishnyakov N.I. Model' sistemy kompleksnogo tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki svyazi i avtomatizirovannyh sistem upravleniya v usloviyah vozdejstviya protivnika // Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu. 2020. № 3–4 (141–142). Pp. 59–64.

3. Rukovodstvo po tekhnicheskomu obespecheniyu svyazi i avtomatizirovannyh sistem upravleniya. — Moscow, Ministerstvo Oborony, 2018. 230 p.

4. GOST 18322-2016. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki. Terminy i opredeleniya. — Moscow, Standartinform, 2016. 19 p.

5. Vishnyakov N.I. Obobshchennaya metodika formirovaniya racional'noj ocheredi vosstanovleniya voennoj tekhniki svyazi i avtomatizirovannyh sistem upravleniya pri vypolnenii special'nyh

zadach // Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu. 2020. № 9–10 (147–148). Pp. 104–108.

6. Ryabinin I.A., Panferov Yu.M. Opredelenie «vesa» i «znachimosti» otidel'nyh elementov pri ocenke nadezhnosti slozhnyh sistem // Izvestiya AN SSSR. Energetika i transport. 1987. № 6. Pp. 54–67.

7. GOST 27.002-2015. Nadezhnost' v texnike. Terminy i opredeleniya. — Moscow, Standartinform, 2016. 28 p.

8. Podvesovskij A.G., Mihaleva O.A. Osobennosti modelirovaniya processov prinyatiya gruppovyh reshenij v raspredelennyh ekspertnyh setyah // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. № 4 (52). Pp. 77–89.

9. Taha H. Vvedenie v issledovanie operacij. — Moscow: Vil'yams. 2005. 912 p.

10. Volovikov V.S. Model' ognevoogo vozdejstviya protivnika na TS i ASU elementov voennyh setej svyazi // Telekommunikacionnye tekhnologii. 2014. № 2. Pp. 43–49.

11. Saati T.L. Celochislennye metody optimizacii i svyazanye s nimi ekstremal'nye problem. — Moscow, Mir, 1973. 213 p.

12. Dodonova M.M. Izuchenie i sravnenie metodov resheniya razlichnyh modifikacij zadachi o ryukzake // Sbornik nauchnyh trudov XI Mezhdunarodnoj konferencii studentov i molodyh uchenykh «Perspektivy razvitiya fundamental'nyh nauk», Sibirskij federal'nyj universitet, g. Tomsk. 2014. Pp. 591–593.

13. Ryzhikov Yu.I. Teoriya ocheredej i upravlenie zapasami. — Sankt-Peterburg, Piter, 2001. 384 p.