

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ  
РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА РЕМОНТНЫХ КОМПЛЕКТОВ ДЛЯ  
СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОЙСК**  
**Щербаков К.А. Email: Shcherbakov1134@scientifictext.ru**

*Щербаков Константин Александрович - адъюнкт,  
кафедра технического обеспечения и техники ЖДВ,  
Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева,  
г. Санкт-Петербург*

***Аннотация:** статья посвящена перспективам развития системы технического обеспечения железнодорожных войск. Представлена математическая модель процесса формирования рационального состава ремонтных комплектов для войскового ремонта специальной техники железнодорожных войск. Определен основной критерий – минимизация затрат на его создание. На основании выбранного критерия составлена целевая функция, представляющая собой зависимость критерия от параметров, установлены ограничения, входящие в модель. Выбран метод решения поставленной задачи.*

***Ключевые слова:** система технического обеспечения железнодорожных войск, специальная техника железнодорожных войск (СТ ЖДВ), ремонтный комплект (РК), математическая модель.*

**MATHEMATICAL MODEL PROCESS FORMATION OF RATIONAL STRUCTURE  
REPAIR KITS FOR THE SPECIAL EQUIPMENT OF RAILWAY TROOPS**  
**Shcherbakov K.A.**

*Shcherbakov Konstantin Aleksandrovich - graduate student academy,  
DEPARTMENT OF TECHNICAL PROVIDING AND EQUIPMENT OF RAILWAY TROOPS,  
MILITARY ACADEMY OF LOGISTICS A.V. KHRULEV. SANKT-PETERBURG*

***Abstract:** article is devoted to the prospects of development of system of technical providing railway troops. The mathematical model of process of formation of rational structure of repair kits for army repair of the special equipment of railway troops is presented. The main criterion – minimization of costs of his creation is defined. On the basis of the chosen criterion the criterion function representing dependence of criterion on parameters is made, the restrictions entering model are set. The method of the solution of an objective is chosen.*

***Keywords:** system of technical providing railway troops, special equipment of railway troops, repair kit, mathematical model, a method for solving the problem.*

*УДК 519.876.5:343.326*

Очевидно, что наличие в системе технического обеспечения железнодорожных войск подсистемы обеспечения техникой и техническим имуществом делает возможным успешное функционирование подсистемы восстановления техники как основной, решающей задачу возвращения машины в строй после эксплуатационных или боевых повреждений. Это, в свою очередь, влияет на поддержание требуемого «коэффициента технической готовности» части и тем самым на решение стоящих перед ней задач. При этом в военное время, а зачастую и в мирное, когда решающим фактором являются сроки их выполнения, вопрос работоспособности машины будет определяющим наряду с ее исправностью. Однако не только сроки возвращения машин в строй, определяют успех выполнения задачи.

В настоящее время, в сложной военно-политической обстановке в мире, железнодорожные войска решают значительное количество задач, стоящие перед ними как в военное, так и мирное время. Поэтому экономическая составляющая применения войск, особенно в период экономических спадов в стране в целом, становится очень актуальной и зачастую выходит на первый план [1].

Обеспечить ремонтные органы необходимым по номенклатуре и количеству объемам технического имущества любой ценой сегодня не актуально, поэтому в данном исследовании предлагается в качестве основного критерия при выборе рационального состава РК применить экономический критерий как наиболее универсальный и позволяющий успешно решать многофакторные задачи [3, 4]. А если при этом в математической модели, описывающей процесс формирования РК, учесть временной фактор, влияющий на сроки выполнения частью поставленных задач, выбор такого критерия представляется достаточно обоснованным. Если использовать временной критерий, но не учитывать экономический, то в данном случае задача может быть решена просто: включать в состав РК максимально возможное количество технического имущества, что позволит решить задачу сокращения простоев машин в ремонте. Естественно, такой подход, по нашему мнению неприемлем.

Постановка задачи может быть сформулирована следующим образом.

Как известно машина состоит из:

1.  $D = \{1, 2, \dots, D\}$  - множества деталей, включая некоторые комплектующие изделия.  $D = \overline{1, D}$  - порядковые номера деталей.

2.  $A = \{1, 2, \dots, A\}$  - множества агрегатов, где  $A = \overline{1, A}$  - соответственно порядковые номера присвоенные каждому элементу этого множества (агрегату).

В состав комплектов не включаются:

- агрегаты, шины (покрышки и камеры), детали гусеничных лент, аккумуляторные батареи;
- детали и узлы, имеющие большие габариты и массу (топливные баки, тормозные барабаны, рессоры в сборе и т.п.);
- стекла кабин и их уплотнители, а также другие детали, не влияющие на работоспособность машин;
- детали, узлы, крепежные изделия, которые могут быть восстановлены или изготовлены в ремонтных мастерских;
- детали, узлы, крепежные изделия и материалы, замена или использование которых не предусматриваются технологией ремонта, осуществляемого в ремонтных мастерских [2].

При этом в состав множества  $D$  те детали (комплектующие изделия), которые входят в состав агрегатов из множества  $A$ , включать целесообразно, если при ремонте заведомо предполагается замена всего агрегата. Кроме того, из множества  $D$  и  $A$  при формировании ремонтных комплектов (РК) в 1-ю очередь необходимо выбирать те элементы, которые наиболее часто выходят из строя и определяют работоспособность машины, то есть ее межремонтный ресурс.

Ремонтные комплекты предлагается формировать для определенной номенклатуры и количества специальной техники согласно таблице или фактической укомплектованности в зависимости от принятого решения, методика от этого не изменится, поэтому множества  $D$  и  $A$  необходимо с учетом вышеизложенного. Для упрощения математического описания задачи, не влияя на его корректность, целесообразно оба эти множества объединить в одно, универсальное  $K$ , в которое они входят уже как подмножества, т.е.  $A \subset K$  и  $D \subset K$ :

$$K = \{1, 2, \dots, n \dots N\}, \quad (1)$$

где,  $\overline{1, N}$ - порядковые номера элементов множества  $K$ , присвоенные деталям, комплектующим изделиям, агрегатам и т. д., из которых будут формироваться РК.

Состав РК может быть динамичным, меняться также в зависимости от объема выхода техники из строя, что определяется условиями ее эксплуатации, боевыми повреждениями и т. д. т.е. от потока отказов машин из-за повреждения какого-либо элемента множества  $K$ .

Все вышеперечисленные факторы могут быть учтены при подготовке исходных данных для решения задачи поиска оптимального состава РК.

Наиболее простой способ формирования РК - максимизировать их состав по количеству и номенклатуре. Тогда вероятность наличия в нем вышедшего из строя элемента будет близка к 1, однако этот путь неприемлем из-за экономической (огромных материальных затрат) большой технической (масса и объем) несостоятельности.

Это и обуславливает создание методики, позволяющей найти рациональный состав РК СТ ЖДВ.

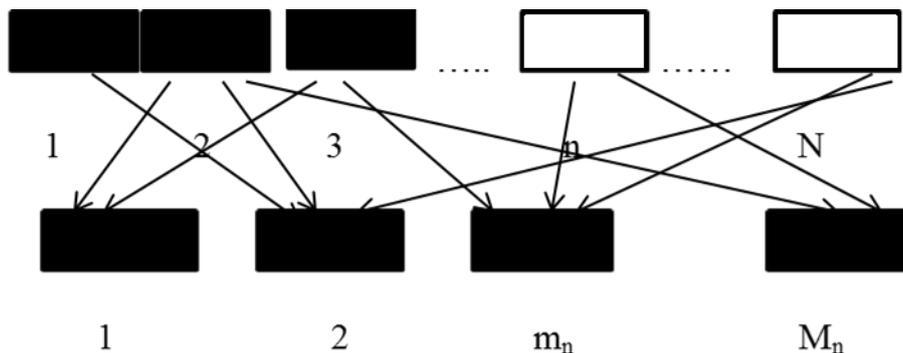


Рис. 1. Расчетная схема формирования состава ремонтного комплекта

Задача заключается в том, чтобы из существующего множества узлов и агрегатов  $K = \{1, 2, \dots, n \dots N\}$ , сформировать такой  $m_n$ -й рациональный состав РК при котором затраты  $S_{m_n}$ , связанные с созданием  $S_m^c$ , хранением  $S_m^{xp}$ , ремонтом машин с его использованием  $S_m^{pem}$ , а также потери (затраты) от простоя машины в ремонте  $S_m^{np}$  были бы минимальными.

Целевая функция будет иметь вид:

$$S_{m_n} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (S_{m_n}^c + S_{m_n}^{xp} + S_{m_n}^{pem} + S_{m_n}^{np}) \rightarrow \min, \quad (2)$$

при  $n = \overline{1, N}$  и  $m = \overline{1, M}$

где,  $S_{m_n}^c$  - затраты, связанные созданием  $m_n$ -го РК, руб;  
 $S_{m_n}^{xp}$  - затраты, связанные с хранением  $m_n$ -го РК, руб;  
 $S_{m_n}^{рем}$  - затраты на ремонт машины, связанные с использованием  $m_n$ -го РК, руб;  
 $S_{m_n}^{np}$  - затраты от простоя машины в ремонте, связанные с выходом из строя  $n$ -го элемента, входящего в состав  $m$  - го РК, руб.

При этом должны быть соблюдены следующие условия заданного (ограничения):

1. Время простоя машины в ожидании замены  $n$ -го элемента, входящего в состав  $m$  -го РК  $t_{m_n}^{np}$ , должно быть не более заданного(директивного)  $t_n^{dup}$ .

$$t_{m_n}^{np} \leq t_n^{dup}, \quad (3)$$

где  $t_n^{dup}$  может устанавливаться в зависимости от ряда факторов с учетом скорейшего возвращения машины в строй для успешного выполнения поставленной задачи в назначенный срок.

В это время включается и как продолжительность ремонта, так и продолжительность доставки с использованием  $n$ -го элемента (время доставки, собственно  $P$ ), которое непосредственно влияет на  $S_{m_n}^{рем}$ ,  $S_{m_n}^{np}$ .

2. Вероятность того, что  $n$ -й элемент, входящий в РК, будет востребован в течение директивного (заданного) срока  $t_n^{dup}$  должна быть максимальной, но не менее заданной  $P_{m_n}^{dup}$ .

$$P_{m_n}^{dup} \geq P_n \rightarrow \max \quad (4)$$

3. Наличие запасов ТИ (ЭРК), из которых формируются РК, позволяет создать требуемое их количество:

$$z_n \geq y z_{m_n} \text{ при } n = \overline{1, N} \text{ и } m = \overline{1, M}, \quad (5)$$

где  $y_m$  – количество одинаковых по составу  $m$ -х РК, которое необходимо создать в течение планируемого периода;

$z_n$  - количество  $n$ -х элементов, из которых создаются РК.

$z_{mn}$  - количество  $n$ -х элементов, входящих в состав  $m$ -го РК.

4. Масса  $R_m$  и габариты  $Q_m$   $m_n$  – го РК не должны превышать допустимые  $R_m^{don}$  и  $Q_m^{don}$ ,

$$R_m \leq R_m^{zad}, \text{ кг} \quad (6)$$

$$Q_m \leq Q_m^{zad}, \text{ м}^3, \quad (7)$$

$$R_m = \sum_{n=1}^N z_{mn} \quad (8)$$

$$Q_m = \sum_{n=1}^N q_{mn}, \quad (9)$$

где,  $z_{mn}$  и  $q_{mn}$  - соответственно масса и габариты  $n$ -го элемента, входящего  $m$ -й РК.

$R_m^{zad}$  и  $Q_m^{zad}$  ограничиваются транспортными возможностями используемого для перевозки и погрузки-выгрузки РК складов. Значения устанавливаются в зависимости от выбранного способа доставки к месту использования РК.

5. Производственные возможности ремонтных мастерских, предназначенных (выделенных) для восстановления техники с использованием  $m_n$ -го РК  $P_{m_n}^{маст}$ , должны обеспечить выполнение работ в заданные (директивные) сроки  $t_n^{dup}$ :

$$P_{m_n}^{маст} \geq T_{m_n}^{рем}, \text{ чел\час}, \quad (10)$$

где  $P_{m_n}^{маст}$  - производственные возможности табельных мастерских части.

$T_{m_n}^{рем}$  - трудоемкость работ по восстановлению техники с использованием  $m_n$  – го РК.

Представленные выше целевая функция (2) и ограничения (3-7) представляют собой математическую модель процесса формирования РК для СТ. ЖДВ.

В качестве метода решения задачи, описанной данной моделью, предлагается использовать наиболее часто используемый в подобных случаях [5] метод решения задач целочисленного нелинейного программирования – направленный перебор.

Таким образом, представленная модель позволит решить задачу обоснования рационального состава ремонтных комплектов для специальной техники железнодорожных войск, что в свою очередь повысит производственные возможности воинских частей по основным видам работ.

### Список литературы / References

1. Щербаков К.А. Актуальность обоснования состава ремонтных комплектов для специальной техники железнодорожных войск. Сборник военно-научных статей академии. Выпуск 62/74, СПб.: ВА МТО, 2015. 68 с.
2. Методические указания по разработке состава индивидуального и группового комплектов запасных частей к дорожно-строительным машинам на период гарантии. Химки: ЦНИИМЭ, 2008. 105.

3. *Щербаков К.А.* Математическое описание процесса формирования ремонтных комплектов специальной техники ЖДВ. Научно-технический сборник, выпуск № 30, часть 2/ ВИ (ЖДВ и ВОСО) Петродворец, 2015. 95 с.
4. *Умнова С.А.* Методы логистического анализа в структуризации запасов предприятий с учетом реального спроса. Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение, 2012. № 4 (32). С. 76.
5. *Гнеденко Б.В.* Математические методы в теории надежности. М., 1965.