

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-201-219>

Методика формирования оптимальной совокупности запасного оборудования в организационно-технологической системе обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера

Е.Э. Аверченкова¹✉, А.А. Шабанов²

¹ Брянский государственный технический университет
ул. Горького, д.36, г. Брянск 241050, Российская Федерация

² Московское производственное объединение "Металлист"
2-й Донской пр., д. 4, г. Москва 119071, Российская Федерация

✉ e-mail: lena_ki@inbox.ru

Резюме

Цель исследования. Разработка методики формирования оптимальной совокупности запасных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей.

Методы. Совокупность запасного оборудования в организационно-технологической системе обеспечения механической сборки на основе резьбовых соединений на предприятиях автомобилестроительного кластера представлена в работе на основе теоретико-множественного подхода. Также для описания совокупности запасного оборудования используются теоретико-множественные модели совокупности запасных сборочных инструментов, приборов и приспособлений и совокупности запасных частей к данному оборудованию. Описание особенности организации ремонтной службы в организационно-технологической системе обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера осуществлялось с применением принципов и понятий теории управления. Формализация процесса принятия решения по формированию совокупности запасного оборудования основывается на методах теории принятия решений. Отдельные элементы методики основаны на использовании методов математического анализа и теории нечетких множеств.

Результаты. Предложена теоретико-множественная модель совокупности запасных сборочных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей. Описана структура и процесс принятия решения по формированию совокупности запасных сборочных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей. Предложена методика и алгоритм формирования оптимальной совокупности запасных инструментов, приборов, приспособлений и запчастей. Методика и алгоритм учитывают статистические параметры отказов оборудования и позволяют оптимизировать затраты на закупку сборочного оборудования, оборудования контроля и поверки и запасных частей к ним.

Заключение. Разработанные модели совокупности запасных сборочных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей, и методика и алгоритм формирования оптимальной совокупности запасных сборочных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей позволяют упростить управленческую работу на предприятии автомобилестроительного кластера. Разработанные модели, методика и алгоритм сокращают негативное влияние факторов, связанных с недостаточным уровнем знаний лиц, принимающих решения и решают задачу оптимального управления подсистемой запасных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей, входящей в организационно-технологическую систему обеспечения механической сборки.

Ключевые слова: система управления; организационно-технологическое обеспечение производства; автомобилестроительный кластер.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Аверченкова Е.Э., Шабанов А.А. Методика формирования оптимальной совокупности запасного оборудования в организационно-технологической системе обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(4): 201-219. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-201-219>.

Поступила в редакцию 04.10.2021

Подписана в печать 29.11.2021

Опубликована 20.12.2021

The Methodology for Creating the Optimal Set of Spare Equipment in the Organizational and Technological System for Providing Mechanical Assembly at the Enterprises of the Motor-Car Construction Cluster

Elena E. Averchenkova ¹ ✉, Aleksei A. Shabanov ²

¹ Bryansk State Technical University
36, Gorkogo str., Bryansk 241050, Russian Federation

² Moscow Production Association "Metallist"
4, 2nd Donskoy proezd, Moscow 119071, Russian Federation

✉ e-mail: lena_ki@inbox.ru

Резюме

Purpose of research. Development of a methodology for the formation of an optimal set of spare tools.

Methods. The totality of spare equipment in the organizational and technological system for providing mechanical assembly based on threaded connections at the enterprises of the motor-car construction cluster is presented in the work on the basis of a set-theoretical approach. Also, to describe the totality of spare equipment, theoretical and multiple models of the whole set of spare assembly tools, devices and the amount of spare parts for this equipment are used. The description of organization features of the repair service in the organizational and technological system for providing mechanical assembly at the enterprises of the motor-car construction cluster was carried out applying the principles and concepts of management theory. The formalization of the decision-making process for the formation of a set of spare equipment is based on the methods of decision-making theory. Some elements of the methodology are based on the use of methods of mathematical analysis and the theory of fuzzy sets.

Results. A set-theoretic model of a set of spare assembly tools, devices, fixtures and spare parts has been proposed. The structure and decision-making process for the formation of a set of spare assembly tools, devices, fixtures and spare parts have been described. A methodology and algorithm for creating an optimal set of spare tools, devices, and spare parts have been proposed. The methodology and algorithm take into account the statistical parameters of equipment failures and make it possible to optimize the costs of purchasing assembly equipment, control and verification equipment and spare parts for them.

Conclusion. The developed models of a set of spare assembly tools, devices, fixtures and spare parts, and the methodology and algorithm for creating the optimal set of spare assembly tools, devices, fixtures and spare parts make it possible to simplify management work at an enterprise of the motor-car construction cluster. The developed models, methodology and algorithm reduce the negative impact of factors related to the insufficient level of

knowledge of decision makers and solve the problem of optimal management of the subsystem of spare tools, devices, fixtures and spare parts included in the organizational and technological system of mechanical assembly.

Keywords: *management system; organizational and technological support of production; motor-car construction cluster.*

Conflict of interest. *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Averchenkova E. E., Shabanov A. A. The Methodology for Creating the Optimal Set of Spare Equipment in the Organizational and Technological System for Providing Mechanical Assembly at the Enterprises of the Motor-Car Construction Cluster. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(4): 201-219 (In Russ.). [https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2021-25-4-201-219](https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-201-219).

Received 04.10.2021

Accepted 29.11.2021

Published 20.12.2021

Введение

Важной целью при организации ритмичного функционирования предприятия автомобилестроительного кластера, обеспечивающего снижение потерь, является планирование оптимальной величины аварийных запасов запасного оборудования и запасных частей. Аварийный запас элементов совокупности сборочного оборудования (ССО), элементов совокупности оборудования контроля и поверки (ОКП) и запасных частей к ним играет особенно важную роль в крупных организационно-технологических системах обеспечения механической сборки на основе резьбовых соединений на предприятиях автомобилестроительного кластера (СОМС), а также на предприятиях с похожей системой организации сборочного производства. Практика показывает, что в крупных СОМС, где количество элементов ССО насчитывает несколько тысяч штук, практически ежедневно выходят из строя какие-либо инструменты из состава ССО или ОКП, и для поддержания бесперебойного функционирования системы необходимо иметь в

наличии запасное оборудование на случай быстрой замены. Однако содержание больших запасов промышленного инструмента приводит к сокращению финансового оборота предприятия за счет расходов, обеспечивающих хранение и содержание запасов. Это противоречие приводит к необходимости формирования оптимального размера совокупности запасных сборочных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей (ЗИП).

В данной области практических и научных интересов можно отметить работы Черкесова Г.Н. [1,2], в которых представлена методология оптимального формирования запасных частей и приборов применительно к приборостроительной отрасли. Эти исследования могут быть частично адаптированы к исследуемой области. Проблематика оптимизации количества запасных элементов технических систем рассматривалась в работы и других отечественных ученых [3-6].

Вопросы разработки сборочных технологических процессов, расчета пара-

метров сборочного оборудования и затяжки резьбовых соединений рассматривались в работах [7,8]. Однако в современных исследованиях отсутствует методика формирования оптимальной совокупности запасных инструментов, приборов, приспособлений и запчастей для предприятий автомобилестроительного кластера. Особенности достижений иностранных исследований в области сборки на основе резьбовых соединений, в т.ч. на основе автоматизированных сборочных производств представлен в работах [9-13]. Специфика иностранных разработчиков в сфере ремонта, технического обслуживания и управления запасами запасных частей и оборудования представлена в работах [14-19] подтверждает вышесказанное.

Отметим, что в данной работе применяется научный подход, развиваемый в т.ч. учеными ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова [20], который позволяет формализовать системы управления подсистемами организационно-технологической системы обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера с позиции теории управления. Ранее авторами проводились научные исследования по разработке методик оптимального управления различными элементами СОМС [21, 22]. В данной статье авторами развиваются идеи, заложенные, в том числе в работе [22], на основе которых предлагается методика формирования оптимальной совокупности запасных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей.

Материалы и методы

СОМС рассматривается как сложная система, объединяющая три подсистемы [21, 22]. Функционально в СОМС выделяются составные части (подсистемы), среди которых, помимо собственно подсистемы сборочного оборудования, используемого в производстве (ПСО), есть подсистема оборудования контроля и поверки (ПКП), которое включает в себя средства измерения, предназначенные как для периодической поверки и калибровки применяемых сборочных инструментов, так и для выборочного контроля затянутых соединений. Кроме того, к СОМС относится и складское хозяйство, включающее необходимый для обеспечения ритмичного производства запас оборудования и запасных частей – подсистема запасных сборочных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей (ПЗИП).

Параметры отказов оборудования СОМС, могут отличаться в зависимости от условий работы. Например, практика показывает, что частота отказов одной и той же модели сборочного инструмента, работающей в разных условиях, может сильно отличаться. Частота отказов может зависеть от технологических приспособлений, применяемых в процессе, от квалификации обслуживающего персонала и других субъективных факторов.

Наряду с единицами оборудованияЗИП обычно включает в себя и отдельные составные части единиц оборудо-

вания. Обычно необходимость в формировании собственного склада ЗИП составных частей СОМС на предприятии возникает только при наличии ремонтной службы на предприятии. Если ремонт отказавшего оборудования осуществляется подрядными организациями, то формирование запаса отдельных запасных частей является их задачей. Важным моментом в вопросе формирования структуры ЗИП является обеспечение производства ремонтной службой, осуществляющей ремонт отказавших запасных частей и единиц оборудования. Пополнение совокупности ЗИП оборудования происходит путем ремонта отказавшего оборудования в ремонтной службе. Работоспособные элементы отказавших единиц оборудования также могут использоваться в качестве запасных частей. Также ЗИП пополняется за счет сборочных инструментов, приборов и приспособлений, ставших по разным причинам ненужными в производстве. Если во время хранения в ЗИП обнаруживается неисправность инструментов или принадлежностей, то они так же, как и отказавшие единицы оборудования, используемые в производстве, отправляются для ремонта в ремонтную службу.

В роли ремонтной службы может выступать либо мастерская по ремонту элементов СОМС, расположенная на предприятии, к которому относится рассматриваемая СОМС, либо одна или несколько подрядных организаций, которые могут осуществлять ремонт обо-

рудования. Обычно, различные подрядные организации занимаются обслуживанием и ремонтом оборудования различных типов и различных производителей. Для выполнения ремонта необходимо иметь ремонтные ЗИП, технологическое оснащение (измерительные приборы, инструменты, принадлежности и т.п.), ремонтный персонал. Наличие службы для ремонта элементов СОМС является важным, т.к. стоимость многих элементов СОМС весьма высока, поэтому вопрос возможности их восстановления посредством ремонта является одним из основных при эксплуатации СОМС. В связи с высокой стоимостью оборудования пополнение запасов инструментов и узлов путем ремонта отказавшего оборудования также является экономически целесообразным.

Представим модель совокупности ЗИП следующим образом:

$$STP=\{ST,SP\}, \quad (1)$$

где STP – совокупность ЗИП; ST – совокупность запасных инструментов, приборов и приспособлений; SP – совокупность запасных частей к оборудованию.

Введем модель совокупности запасных инструментов, приборов и приспособлений:

$$ST=\{ST_{\delta}|\delta=1\dots x\}, \quad (2)$$

где ST_{δ} – δ -й элемент совокупности запасных инструментов и приборов и приспособлений (эти элементы предназначены для быстрой замены отказавших элементов совокупностей сборочного оборудования и оборудования контроля и поверки); x – величина

множества элементов совокупности запасных инструментов, приборов и приспособлений, $x \in N$.

Предложим модель совокупности запасных частей к оборудованию:

$$SP = \{SP_\varepsilon | \varepsilon = 1 \dots y\}, \quad (3)$$

где SP_ε – ε -й элемент совокупности запасных частей инструментов и приборов. Запасные части, предназначены для замены при ремонте отказавших деталей элементов совокупностей сборочного оборудования и оборудования контроля и поверки; y – величина множества элементов совокупности запасных частей, $y \in N$.

Управление организационно-технологической системой обеспечения механической сборки предполагает формализацию соответствующего процесса принятия решений. Разработанный авторами процесс принятия решения по формированию совокупности ЗИП состоит из следующих этапов:

1. Анализ совокупности ЗИП с учетом целевых ориентиров штаб-квартиры локального предприятия автомобилестроительного кластера – ЗИП должно обеспечивать своевременную замену вышедшего из строя оборудования и организацию его ремонта.

2. Формирование критериев оптимальности для ЗИП:

- 2.1. Совокупность запасного оборудования (инструментов, приборов и приспособлений) должна содержать оптимальное количество элементов, обеспечивая

своевременную замену вышедших из строя элементов совокупности сборочного оборудования и элементов совокупности оборудования контроля и поверки; с учетом поправочных коэффициентов, обеспечивающие оптимальное для конкретного автомобилестроительного производства количество соответственно для сборочного оборудования и оборудования контроля и поверки.

- 2.2. Совокупность запасных частей инструментов, приборов и приспособлений должна содержать оптимальное количество запасных частей, обеспечивая ремонт вышедших из строя элементов совокупности сборочного оборудования и совокупности оборудования контроля и поверки; с учетом поправочных коэффициентов, обеспечивающих оптимальное для конкретного автомобилестроительного производства количество запасных частей соответственно для сборочного оборудования и оборудования контроля и поверки.

- 2.3. Критерий согласования решения – цена запасного оборудования и запасных частей должна быть в установленных штаб-квартирой пределах.

3. Формирование альтернативных решений о формировании совокупности ЗИП.

4. Выбор наилучшего решения о формировании совокупности ЗИП с учетом предложенных авторами критериев оптимальности, методики и алгоритма.

5. Принятие решения о формировании совокупности ЗИП и его согласова-

ние с вышестоящим руководством. Основой для согласования принятого решения руководством является критерий согласования принятого решения.

6. Реализация решения о формировании совокупности ЗИП.

7. Оценка полученных результатов, корректировка при необходимости – вся эта информация о вновь сформированной совокупности ЗИП поступает в базу данных корпорации, где хранится, анализируется. Полученный опыт используется на новых и существующих предприятиях автомобилестроительных кластеров для формирования новых и изменения существующих совокупностей ЗИП.

В табл. 1 представлены основные этапы методики формирования совокупности запасных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей на предприятии автомобилестроительного кластера.

Для оптимального формирования совокупности запасных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей нужно избегать равномерных трат на ЗИП для всех единиц оборудования системы. Обычно в автомобилестроительных корпорациях количество запасных сборочных инструментов берется в пропорции от общего количества инструментов, не принимая во внимание вероятности их выхода из строя, которые могут быть оценены посредством анализа экспертного мнения или статистических данных. При заказе запасных частей (в случае наличия на предприятии ремонтной службы) также обычно происходит первоначальный заказ всего комплекта деталей, из которых состоит изделие, без учета ограничивающих элементов.

Таблица 1. Методика формирования оптимальной совокупности запасных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей на предприятии автомобилестроительного кластера

Table 1. Methodology for creation the optimal spare tools, devices, accessories and spare parts set

Этап методики / Methodology stage	Содержание этапа / Stage content	Применяемые методы / Methods applied
1. Определение наличия ремонтной службы на пред- приятии	Целесообразность наличия ремонтного органа на предприятии зависит от интенсивности работы предприятия и может изменяться в зависимости от интенсивности работы оборудования и его поломок	Методы теории управления; методы теоретико-множественного подхода; методы принятия решений; методы математического анализа; методы теории нечетких множеств

Этап методики / Methodology stage	Содержание этапа / Stage content	Применяемые методы / Methods applied
2. Выбор по критериям оптимальности	2.1. При наличии информации о статистике отказов оборудования на аналогичном предприятии корпорации использовать анализ статистических параметров, в противном случае следует использовать метод экспертных оценок. 2.2. По результатам анализа определить наиболее слабые места системы и направить финансовые средства на обеспечение ЗИП наиболее слабых мест системы, избегая равномерных трат на ЗИП для всех единиц оборудования системы. 2.3. Сформировать совокупность запасных инструментов, приспособлений и запчастей на основании имеющейся статистики отказов или на основании экспертных оценок. 2.4. Согласовать цену закупаемых запасных сборочных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей по критерию согласования принятого решения	Методы теории управления; методы теоретико-множественного подхода; методы принятия решений; методы математического анализа; методы теории нечетких множеств
3. Оптимизация совокупности ЗИП с учетом необходимости резервирования	Для повышения надежности работы ССО, на предприятиях с большим объемом выпуска продукции, где ССО насчитывает не менее нескольких тысяч сборочных инструментов, применяется резервирование	

Определим, что любая i -я единица оборудования совокупности сборочного оборудования или оборудования контроля и поверки может быть представлена как множество деталей (или узлов), из которых она состоит: $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{il}, \dots, v_{im}\}$, где V_i – i -я единица оборудования; $l=1 \dots m$ – количество различных артикулов деталей, из которых состоит i -я единица оборудования; v_{il} – количество деталей l -го артикула, входящих в состав i -й единицы оборудования.

При поломке оборудования происходит замена не всех деталей, входящих в состав единицы оборудования, а только некоторых. Поэтому нет необходимости закупать все детали, из которых состоит i -я единица оборудования, а для оптимальной организации ремонта надо закупить только выходящие из строя и заменяемые в ходе ремонта детали. При анализе статистических параметров отказов изделия большое внимание следует уделить тому, замене каких кон-

кретно деталей изделия приводят отказы. Авторами был сформирована последовательность действий, позволяющая оптимизировать совокупность ЗИП:

1. Анализ совокупности сборочного оборудования и выбор поставщиков запасного оборудования и запасных частей в соответствии с критерием согласования решения. Различные поставщики имеют различные цены на одни и те же запасные части для элементов СОМС. Также при выборе различных моделей оборудования, необходимо учитывать стоимость их последующего обслуживания, в том числе и закупку запасных частей. В качестве критерия согласования принятого решения вводятся заранее оговоренные штаб-квартирой пределы экономической стоимости решения, обеспечивающие прогнозирование стоимости принятого решения.

2. Определение общей структуры организации ремонта и складирования ЗИП на предприятии, включая присутствие ремонтной службы в структуре. Если ремонтная служба осуществляет ремонт отказавших изделий на предприятии, то перейти к пункту 3, если ремонт выполняют подрядные организации и ремонтная служба отсутствует в структуре, то перейти к пункту 6.

3. Если присутствует информация о статистике отказов, то перейти к пункту 4, если нет – то перейти к пункту 5.

4. Сформировать множество ЗИП запасных частей:

$$E_i(t) = \{\varepsilon_{i1}(t), \dots, \varepsilon_{il}(t), \dots, \varepsilon_{im}(t)\}, \quad (4)$$

где $E_i(t)$ – оптимальная совокупность запасных деталей i -й модели оборудования на интервале времени t ; $\varepsilon_{il}(t)$ – оптимальное количество запасных деталей l -го артикула для оборудования i -й модели оборудования на интервале времени t ; m – количество артикулов заменяемых при ремонте деталей i -й модели оборудования; t – определенный интервал времени, для которого рассчитывается необходимое количество запасных частей для ремонта оборудования i -й модели.

Отметим, что $\varepsilon_{il}(t)$ выбираются по результатам анализа статистических параметров, для всех l -х деталей i -й модели оборудования из условия:

$$\varepsilon_{il}(t) \geq \varepsilon_{\text{стат}_{il}}(t); \varepsilon_{il}(t) \in N, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{\text{стат}_{il}}(t)$ – количество деталей l -го артикула, замененных при отказе изделия i -й модели за интервал времени t в предшествующий период эксплуатации.

5. Сформировать совокупность запасных частей

$$E_i(t) = \{\varepsilon_{i1}(t), \dots, \varepsilon_{il}(t), \dots, \varepsilon_{im}(t)\}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{il}(t)$ выбираются по методу экспертных оценок специалистов, для всех l -го артикулов деталей i -й модели оборудования из условия:

$$\varepsilon_{il}(t) \geq \varepsilon_{\text{эксп}_{il}}(t); \varepsilon_{il}(t) \in N, \quad (7)$$

где $\varepsilon_{\text{эксп}_{il}}(t)$ – необходимое количество деталей l -го артикула для оборудования i -й модели на интервале времени t , полученное в результате экспертной оценки с использованием теории нечетких множеств.

6. Если присутствует информация о статистике отказов, то перейти к пункту 7, если нет – то перейти к пункту 8.

7. Сформировать ЗИП инструментов, приборов и приспособлений

$$\Theta(t)=\{\theta_1(t),\dots,\theta_k(t),\dots,\theta_n(t)\}, \quad (8)$$

где $\theta_i(t)$ выбираются по результатам анализа статистических параметров, для каждой i -й модели оборудования из условия:

$$\theta_i(t) \geq \theta_{i_стат}(t); \theta_i(t) \in N, \quad (9)$$

где $\theta_i(t)$ – оптимальное количество запасного оборудования i -й модели на интервале времени t ; t – определенный интервал времени, для которого рассчитывается необходимое количество оборудования i -й модели для замены отказавшего оборудования; $\theta_{i_стат}(t)$ – количество отказавших изделий i -й модели за интервал времени t , которое может быть определено на основе статистических данных.

8. Сформировать ЗИП инструментов, приборов и приспособлений

$$\Theta(t)=\{\theta_1(t),\dots,\theta_k(t),\dots,\theta_n(t)\}, \quad (10)$$

где $\theta_i(t)$ выбираются по методу экспертных оценок, для каждой i -й модели инструмента из условия:

$$\theta_i(t) \geq \theta_{i_эксп}(t); \theta_i(t) \in N, \quad (11)$$

где $\theta_{i_эксп}(t)$ – необходимое количество запасных единиц i -й модели оборудования на интервале времени t , полученное в результате экспертной оценки.

9. Если присутствует необходимость резервирования, то перейти к пункту 10, если нет – то перейти к пункту 11.

10. Определение совокупности резервных инструментов:

$$DR=\{DR_1, DR_2, \dots, DR_s, \dots, DR_n\}, \quad (12)$$

где $s=1\dots n$ – множество моментов затяжки; DR_s – резервный инструмент, настроенный на s -й момент затяжки; DR – совокупность резервных сборочных инструментов.

11. Конец.

Результаты и их обсуждение

Разработанная последовательность действий может быть представлена в виде алгоритма на рис.1.

Рассмотрим практическое использование разработанной методики формирования оптимальной совокупности запасных инструментов и запчастей. Например, если в ССО используется 40 инструментов 1-й модели ценой 10000 у.е. и 20 инструментов 2-й модели ценой 5000 у.е., то в существующих системах, количество инструментов, находящихся на складе в резерве, обычно составляет 20% от числа инструментов, находящихся в эксплуатации, если это число превышает 10 штук. Таким образом, по общепринятой методике необходимо закупить на склад 8 инструментов модели №1 и 4 инструмента модели №2, потратив на это 100000 у.е. При применении метода экспертных оценок получены оценки $\theta_{1_эксп}(t)=4$, $\theta_{2_эксп}(t)=3$. Таким образом, на закупку оборудования с учетом мнения экспертов следует потратить 55000 у.е., что обеспечит экономию в $(100000-55000)/100000*100\%=45\%$.

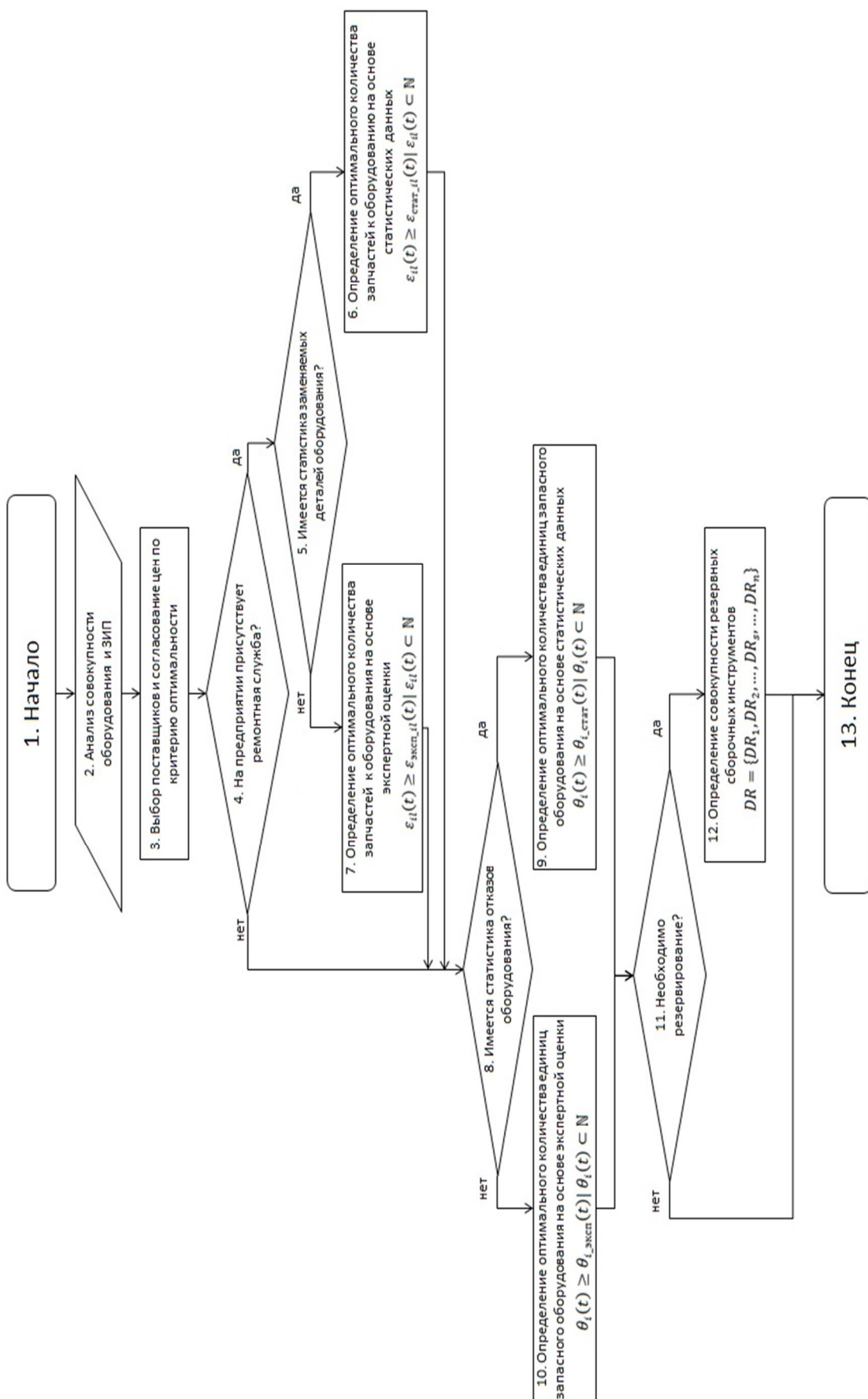


Рис. 1. Алгоритм формирования оптимальной совокупности запасных сборочных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей

Fig. 1. Algorithm for creation of optimal set of spare assembly tools, devices, accessories and spare parts

Наглядно практическое использование методики формирования оптималь-

ной совокупности запасных сборочных инструментов показано в табл. 2.

Таблица 2. Пример практического использования методики формирования оптимальной совокупности запасных сборочных инструментов

Table 2. Example of the practical use of the methodology for creation of optimal spare assembly tools set

Модель оборудования / Equipment model	Общее количество единиц оборудования, шт / Total number of pieces of equipment, pcs	Цена модели оборудования, у.е. / The price of the equipment model, in c.u.	Количество запасных единиц оборудования, шт. / Number of spare equipment units, pcs		Стоимость запасных единиц оборудования, у.е. / The cost of spare pieces of equipment, units	
			Без использования предлагаемой методики / Without using the proposed methodology	При использовании предлагаемой методики / When using the proposed methodology	Без использования предлагаемой методики / Without using the proposed methodology	При использовании предлагаемой методики / When using the proposed methodology
№1	40	10 000	8	4	80 000	40 000
№2	20	5 000	4	3	20 000	15 000

Аналогично приведем пример для i -й модели инструмента, использующийся в ПСО в единичном количестве. Пусть он состоит из 10 разных деталей с неодинаковой стоимостью, причем состав инструмента определяется разным количеством деталей. Представим инструмент i -й модели в виде множества $V_i = \{1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 1\}$, элементы которого обозначают количество деталей. Пусть цена деталей для i -й модели инструмента определяется кортежем $C_i = \langle 20; 30; 150; 10; 40; 170; 40; 50; 30; 60 \rangle$. В случае заказа всего комплекта деталей, что часто бывает на практике, получим общую сумму их стоимости: $20 + 30 + 150 + 10 \cdot 2 + 40 + 170 + 40 + 50 \cdot 2 + 30 + 60 = 660$ (у.е.).

Также следует отметить, что в случае наличия большего количества i -й модели инструментов, количество комплектов может быть большим.

Для сравнения приведем аналогичный расчет, основанный на применении метода экспертной оценки к определению необходимого количества деталей. Пусть $\varepsilon_{\text{эксп}_i1}(t) = 0$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i2}(t) = 1$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i3}(t) = 1$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i4}(t) = 1$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i5}(t) = 0$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i6}(t) = 1$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i7}(t) = 0$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i8}(t) = 1$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i9}(t) = 0$, $\varepsilon_{\text{эксп}_i10}(t) = 0$.

В этом случае стоимость комплекта деталей составит: $30 + 150 + 10 + 170 + 50 = 410$ (у.е.). Таким образом, экономия составит: $(660 - 410) / 660 \cdot 100\% = 38\%$.

Наглядно практическое использование методики формирования оптимальной совокупности запасных частей к оборудованию показано в табл. 3.

Таблица 3. Пример практического использования методики формирования оптимальной совокупности запасных частей

Table 3. An example of the practical use of the methodology for forming the optimal set of spare parts

Артикул детали / Item number	Цена детали, у.е. / Part price, in c.u.	Количество закупаемых деталей, шт. / Number of purchased parts, pcs.	Стоимость закупаемых деталей, у.е. / Cost of purchased parts, c.u.	Количество закупаемых деталей, шт. / Number of purchased parts, pcs.	Стоимость закупаемых деталей, у.е. / Cost of purchased parts, c.u.
		Без использования предлагаемой методики / Without using the proposed methodology		При использовании предлагаемой методики / When using the proposed methodology	
1	20	1	20	0	0
2	30	1	30	1	30
3	150	1	150	1	150
4	10	2	20	1	20
5	40	1	40	0	0
6	170	1	170	1	170
7	40	1	40	0	0
8	50	2	100	1	50
9	30	1	30	0	0
10	60	1	60	0	0

Разработанная методика и алгоритм формирования оптимальной совокупности запасных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей рекомендуются к применению на предприятиях автомобильной сборки, где парк сборочного оборудования насчитывает несколько тысяч штук сборочных инструментов десятков разных моделей от нескольких разных производителей. Также разработанную методику и алгоритм целесообразно применять и на предприятиях других отраслей с похожей структурой и составом СОМС.

Выводы

Задачами управления совокупностью ЗИП является эффективное распределение и использование финансовых ресурсов на закупку оборудования и запасных частей и прогнозирование и обеспечение успешного конечного результата формирования данной совокупности для центра, которым в данном случае является штаб-квартира корпорации, которой принадлежит предприятие автомобилестроительного кластера. Разработанные модели совокупности ЗИП, методика и алгоритм оптимального

формирования совокупности ЗИП позволяют упростить управленческую работу на предприятии автомобилестроительного кластера и сократить негативное влияние факторов, связанных с недостаточным уровнем знаний лиц, при-

нимающих решения и решить задачу оптимального управления подсистемой запасных инструментов, приборов, приспособлений и запасных частей, входящей в СОМС.

Список литературы

1. Черкесов Г.Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 480 с.
2. Черкесов Г.Н. Проблема ЗИП и задача формирования нового раздела теории надежности восстанавливаемых систем // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 6-1 (138). С. 136-153.
3. Чуркин В.В. Оценка и оптимизация комплекта ЗИП с помощью метода статистического моделирования // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2015. № 2-3 (217-222). С. 79-92.
4. Макаркин Н.П. Экономическая оптимизация количества запасных элементов технических систем с учетом фактора надежности // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26. № 4. С. 448-461.
5. Создание библиотеки оценки и расчета оптимальных запасов в комплектах ЗИП / П.Г. Новиков, А.М. Егоров, А.В. Царенко, И.П. Яковлев // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2016. № 19. С. 194-197.
6. Аверинцев М.Б., Корниенко Н.А., Колокольчикова Л.В. Оптимизация количества запасных элементов в сложном устройстве // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сборник научных статей по итогам восьмой международной научной конференции. М., 2019. С. 56-58.
7. Чечуга А.О. Особенности разработки технологических процессов автоматизированной и роботизированной сборки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 9. С. 555-559.
8. Аббясов В.М., Бухтеева И.В., Бавыкин О.Б. Задачи выбора компоновки роботизированного технологического комплекса // Инженерный вестник Дона. 2015. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2756
9. Zhang Q., Xie Z., Liu Y., Liu H. () Development of Bolt Screwing Tool Based on Pneumatic Slip Ring. In: Yu H., Liu J., Liu L., Ju Z., Liu Y., Zhou D. (eds) // Intelligent Ro-

botics and Applications. ICIRA 2019. Lecture Notes in Computer Science, 2019, vol. 11740. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27526-6_40

10. Perween S., Zaheer A., Khalid R. (2013) Classification and Balancing of an Automotive Assembly Line. In: Qi E., Shen J., Dou R. (eds) // International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2012) Proceedings. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38445-5_44

11. Poparad H. (2017) Advanced Automotive Assembly Line Trends as Tools in Optimizing Production Line Performance. In: Chiru A., Ispas N. (eds) // CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering. CONAT 2016. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45447-4_65

12. Bedeoui A., Benhadj R., Trigui M., Aifaoui N. (2021) Evaluating Assembly Sequences with the Assembly Tools Operation Space Criteria. In: Kharrat M., Baccar M., Dammak F. (eds) Advances in Mechanical Engineering, Materials and Mechanics. ICAMEM 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52071-7_16

13. Mishra A., Deb S. (2016) An Intelligent Methodology for Assembly Tools Selection and Assembly Sequence Optimisation. In: Mandal D.K., Syan C.S. (eds) CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2740-3_31

14. Velmurugan R.S., Dhingra T. Asset Maintenance Strategic Plan for Operational Excellence. In: Asset Maintenance Management in Industry. International Series in Operations Research & Management Science. 2021. Vol. 310. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74154-9_6

15. Velmurugan R.S., Dhingra T. Maintenance Strategy, Practices and Spare Parts Management // Asset Maintenance Management in Industry. International Series in Operations Research & Management Science. 2021, vol 310. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74154-9_3

16. Wang Y., Zhou W., Zhao J., Wang M. (2021) A Computer Model for Decision of Equipment Maintenance Spare Parts Reserve. In: MacIntyre J., Zhao J., Ma X. (eds) The 2020 International Conference on Machine Learning and Big Data Analytics for IoT Security and Privacy. SPIOT 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1283. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62746-1_42

17. Zhang X., Zeng J. (2016) Joint Optimization of Condition-Based Repair-by-Replacement and Spare Parts Provisioning Policy with Random Maintenance Time and Lead Time. In: Qi E., Shen J., Dou R. (eds) Proceedings of the 22nd International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2015. Atlantis Press, Paris. https://doi.org/10.2991/978-94-6239-180-2_34

18. Basten R.J.I., van der Heijden M.C., Schutten J.M.J. et al. An approximate approach for the joint problem of level of repair analysis and spare parts stocking // *Ann Oper Res*, 2015, 224, 121–145. <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1188-0>
19. Chen N., Ou L., Bai F. (2020) Research on Calculating Method of Repairable Spare Parts and Non-repairable Spare Parts. In: Duan B., Umeda K., Hwang W. (eds) *Proceedings of the Seventh Asia International Symposium on Mechatronics. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 588. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9437-0_16
20. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Изд-во физико-математической литературы, 2012. 604 с.
21. Шабанов А.А. Решение задачи оптимизации частоты проверок параметров оборудовани // *Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая (ОТ)*. 2015. Вып. 10, 2015. С. 105-114.
22. Шабанов А.А. Разработка методики рационального выбора структуры и состава запаса сборочных инструментов и приспособлений для системы обеспечения механической сборки // *Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая (ОТ)*. 2015. Вып. 10, 2015. С. 115-124.

References

1. Cherkesov G.N. *Ocenka nadezhnosti sistem s uchetom ZIP* [Assessment of the reliability of systems taking into account spare parts]. Saint-Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2012. 480 p.
2. Cherkesov G.N. Problema ZIP i zadacha formirovaniya novogo razдела teorii nadezhnosti vosstanavliyaemyh sistem [The problem of spare parts and the problem of forming a new section of the theory of reliability of recoverable systems]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie = Scientific and Technical Statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. Computer Science. Telecommunications. Control*, 2011, no. 6-1 (138), pp 136-153.
3. Churkin V.V. Ocenka i optimizaciya komplekta ZIP s pomoshch'yu metoda statisticheskogo modelirovaniya [Assessment and optimization of a set of spare parts and accessories using the method of statistical modeling] *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie = Scientific and Technical Statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. Computer Science. Telecommunications. Control*, 2015, no. 2-3 (217-222), pp 79-92.
4. Makarkin N.P. Ekonomicheskaya optimizaciya kolichestva zapasnyh elementov tekhnicheskikh sistem s uchetom faktora nadezhnosti [Economic optimization of the number

of spare elements of technical systems taking into account the reliability factor] *Vestnik Mordovskogo universiteta = Bulletin of the Mordovian University*. 2016, vol. 26, no. 4, pp. 448-461.

5. Novikov P.G., Egorov A.M. and others Sozdanie biblioteki ocenki i rascheta optimal'nyh zapasov v komplektah ZIP [Creation of a library for evaluating and calculating optimal stocks in spare parts kits *Novye informacionnye tekhnologii v avtomatizirovannyh sistemah* — *New Information Technologies in Automated Systems*. 2016, no. 19, pp. 194-197.

6. Averincev M.B., Kornienko N.A., Kolokol'chikova L.V. [Optimization of the number of spare elements in a complex device] *Peredovye innovacionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovaniya, problemy vnedreniya v proizvodstvo. Sbornik nauchnykh statej po itogam vos'moj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* [Advanced innovative developments. Prospects and experience of use, problems of implementation in production. Collection of scientific articles on the results of the eighth international scientific conference]. Moscow, 2019, pp. 56-58 (In Russ.).

7. Chechuga A O Osobennosti razrabotki tekhnologicheskikh processov avtomatizirovannoj i robotizirovannoj sborki [Features of development of technological processes of automated and robotized assembly] *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = News of the Tula State University. Technical Science*, 2019, no. 9, pp. 555-559.

8. Abbyasov V.M., Bukhteeva I.V., Bavykin O.B. Zadachi vybora komponovki robotizirovannogo tekhnologicheskogo kompleksa [Problems of choosing the layout of a robotic technological complex]. *Inzhenernyj vestnik Dona – Engineering Bulletin of the Don*, 2015, no. 1. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2756

9. Zhang Q., Xie Z., Liu Y., Liu H. Development of Bolt Screwing Tool Based on Pneumatic Slip Ring. In: Yu H., Liu J., Liu L., Ju Z., Liu Y., Zhou D. (eds) *Intelligent Robotics and Applications. ICIRA 2019. Lecture Notes in Computer Science*, 2019, vol 11740. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27526-6_40

10. Perween S., Zaheer A., Khalid R. (2013) Classification and Balancing of an Automotive Assembly Line. In: Qi E., Shen J., Dou R. (eds). *International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2012) Proceedings*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38445-5_44

11. Poparad H. (2017) Advanced Automotive Assembly Line Trends as Tools in Optimizing Production Line Performance. In: Chiru A., Ispas N. (eds) *CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering*. CONAT 2016. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45447-4_65

12. Bedeoui A., Benhadj R., Trigui M., Aifaoui N. (2021) Evaluating Assembly Sequences with the Assembly Tools Operation Space Criteria. In: Kharrat M., Baccar M., Dammak F. (eds) *Advances in Mechanical Engineering, Materials and Mechanics*. ICAMEM

2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52071-7_16

13. Mishra A., Deb S. (2016) An Intelligent Methodology for Assembly Tools Selection and Assembly Sequence Optimisation. In: Mandal D.K., Syan C.S. (eds) CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2740-3_31

14. Velmurugan R.S., Dhingra T. Asset Maintenance Strategic Plan for Operational Excellence. In: *Asset Maintenance Management in Industry. International Series in Operations Research & Management Science*, 2021, vol 310. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74154-9_6

15. Velmurugan R.S., Dhingra T. Maintenance Strategy, Practices and Spare Parts Management. In: *Asset Maintenance Management in Industry. International Series in Operations Research & Management Science*, 2021 vol 310. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74154-9_3

16. Wang Y., Zhou W., Zhao J., Wang M. (2021) A Computer Model for Decision of Equipment Maintenance Spare Parts Reserve. In: MacIntyre J., Zhao J., Ma X. (eds) The 2020 International Conference on Machine Learning and Big Data Analytics for IoT Security and Privacy. SPIOT 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1283. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62746-1_42

17. Zhang X., Zeng J. (2016) Joint Optimization of Condition-Based Repair-by-Replacement and Spare Parts Provisioning Policy with Random Maintenance Time and Lead Time. In: Qi E., Shen J., Dou R. (eds) Proceedings of the 22nd International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2015. Atlantis Press, Paris. https://doi.org/10.2991/978-94-6239-180-2_34

18. Basten R.J.I., van der Heijden M.C., Schutten J.M.J. et al. An approximate approach for the joint problem of level of repair analysis and spare parts stocking. *Ann Oper Res*, 2015, 224, 121–145. <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1188-0>

19. Chen N., Ou L., Bai F. (2020) Research on Calculating Method of Repairable Spare Parts and Non-repairable Spare Parts. In: Duan B., Umeda K., Hwang W. (eds) Proceedings of the Seventh Asia International Symposium on Mechatronics. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 588. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9437-0_16

20. Novikov D.A. *Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami* [The theory of management of organizational systems]. Moscow, 2012, 604 p.

21. Shabanov A A Reshenie zadachi optimizatsii chastoty proverok parametrov oborudovaniya [Solution of the optimization problem of equipment parameters inspection frequency] *Voprosy radioelektroniki. Seriya obshchetekhnicheskaya (OT) = Questions of Radio Electronics. General Technical Series*, 2015, is. 10, pp. 105-114.

22. Shabanov A. A. Razrabotka metodiki racional'nogo vybora struktury i sostava zapasa sborochnykh instrumentov i prispособlenij dlya sistemy obespecheniya mekhanicheskoy sborki [Development of rational choice method of structure and composition of spare assembly tools and accessories for mechanical assembly system] *Voprosy radioelektroniki. Seriya obshchetechnicheskaya (OT) = Questions of Radio Electronics. General Technical Series*, 2015, is. 10, pp. 115-124.

Информация об авторах / Information about the Authors

Аверченкова Елена Эдуардовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Цифровая экономика», Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Российская Федерация, e-mail: lena_ki@inbox.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2098-6156>

Elena E. Averchenkova, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of Digital Economy Department, Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation, e-mail: lena_ki@inbox.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2098-6156>

Шабанов Алексей Александрович, АО "Московское производственное объединение "Металлист", г. Москва, Российская Федерация, e-mail: aashabanov86@mail.ru

Aleksei A. Shabanov, JSC "Moscow Production Association" Metallist ", Moscow, Russian Federation, e-mail: aashabanov86@mail.ru