

А.Н. Дьяков, кандидат технических наук
А.С. Кокарев, кандидат технических наук
С.А. Поляков
А.В. Пачин

Модель ресурсоемкости подвижных систем обеспечения запасными частями мобильных сложных технических комплексов

Наличие достаточных комплектов запасных частей (ЗЧ) является необходимым условием для обеспечения надежности современной сложной техники. Однако при создании и эксплуатации мобильных технических средств существенным является ограничение на объемы ресурсов, выделяемых на ЗИП. Задача управления расходами определяет создание моделей, позволяющих оценивать ресурсоемкость существующих и разрабатываемых систем обеспечения запасными частями (СОЗЧ). В статье представлен подход к определению ресурсоемкости подвижных СОЗЧ с учетом стохастичности суммарного времени доставки типовых элементов замены (ТЭЗ).

Введение

Проблема обеспечения надежности современных сложных технических средств остается в значительной степени актуальной. Несмотря на принимаемые разработчиками меры, направленные на повышение безотказности, возникновение отказов является объективной реальностью и полностью их предотвратить невозможно. Вместе с тем при создании и эксплуатации мобильных сложных технических комплексов (МСТК) ограничения на массу и габариты возимого оборудования сужают возможности повышения надежности путем многократного резервирования систем. В таких условиях наиболее приемлемым направлением сокращения времени нахождения оборудования в неработоспособном состоянии является создание многоэшелонных СОЗЧ, включающих в себя подвижные компоненты и достаточное количество ТЭЗ [1]. Вариант построения подобной СОЗЧ представлен на рисунке 1. Система включает в себя возимые одиночные комплекты ЗИП-О, размещенные непосредственно на каждом агрегате, стационарный групповой комплект ЗИП-Б и подвижный групповой ЗИП-А. Последний, перемещаясь между позициями агрегатов (подразделений) в соответствии с заявками, используется для устранения отказов элементов, включить запасные части (ЗЧ) для которых в ЗИП-О невозможно в силу габаритных ограничений, и для восполнения расхода ЗЧ.

Данный подход позволяет обеспечить требуемую надежность оборудования МСТК при выполнении ограничений на объемы возимых комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП). Вместе с тем при формировании комплектов ЗЧ для современных МСТК одним из значащих факторов является высокая стоимость входящих в них ТЭЗ и, как следствие, необходимость минимизации затрат, связанных с запасами. Кроме затрат непосредственно на приобретение, часто существенными являются расходы на обеспечение хранения и выполнение операций по обслуживанию ЗИП. В СОЗЧ, включающих подвижные компоненты, необходимо также учитывать затраты на перемещение мобильных ЗИП, зависящие от расходов на амортизацию подвижного состава, ГСМ, работу персонала.

Постановка задачи

Задача управления ресурсами, выделяемыми на СОЗЧ, определяет необходимость оценки ресурсоемкости системы. Однако предлагаемые существующим научно-методическим аппаратом

[2-5] модели не могут быть применены к подвижным СОЗЧ, т. к. в них не учитывается стохастическая компонента времени доставки, определяемая случайным характером возникновения отказов в оборудовании. Ниже представлен подход к оцениванию ресурсоемкости подвижных СОЗЧ с применением вероятностной оценки суммарного времени доставки.

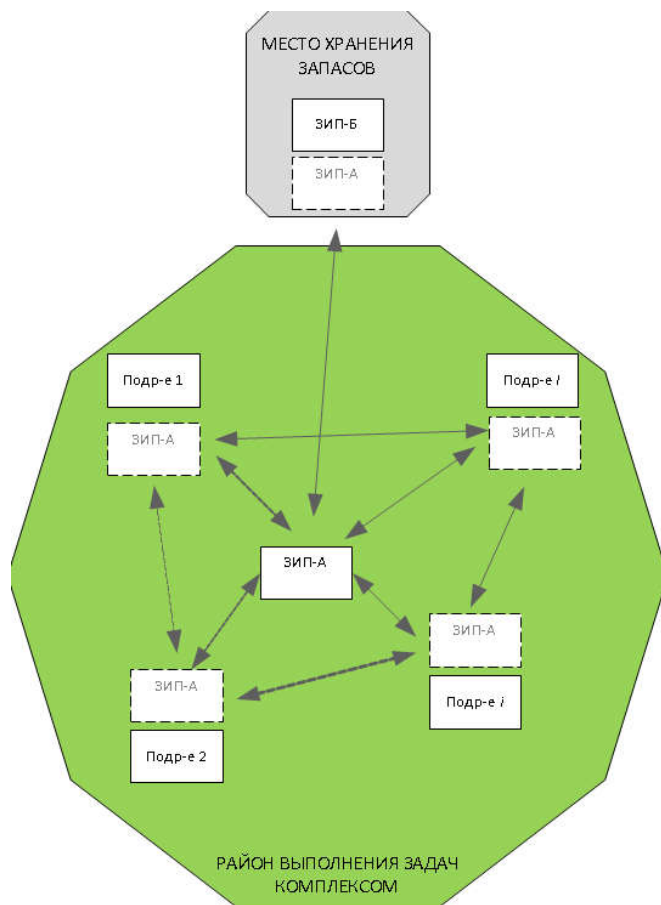


Рисунок 1 – Вариант построения подвижной СОЗЧ

Вербально задача сформулирована следующим образом: при заданной структуре МСТК, значениях стоимости приобретения, хранения и обслуживания ТЭЗ, суммарном времени доставки ЗЧ, определить затраты, необходимые на приобретение ТЭЗ и обеспечение эксплуатации подвижной СОЗЧ МСТК, позволяющей поддерживать требуемую готовность оборудования в течение заданного периода.

Формальный вид задачи представлен ниже.

Дано:

J – номенклатура ТЭЗ комплекса;

l – число комплектов ЗИП в СОЗЧ;

c_j – стоимость ТЭЗ j -го типа, у. е.;

c^{xp} – стоимость хранения ТЭЗ, у. е.;

$c^{об}$ – стоимость обслуживания ТЭЗ при хранении, у. е.;

$c_{дост}$ – стоимость одного часа движения подвижного ЗИП, у. е.;

\vec{z} – начальные уровни запасов ТЭЗ в СОЗЧ;

$t_{\Sigma}^{дост}$ – суммарное время, затраченное подвижным ЗИП на доставку ЗЧ за период эксплуатации.

Найти:

$$C_{СОЗЧ} = f(J, l, \vec{z}, c_j, c^{xp}, c^{об}, c_{дост}, t_{\Sigma}^{дост}). \quad (1)$$

Определение ресурсоемкости подвижной СОЗЧ МСТК

а) исходные данные

В качестве исходных данных для моделирования используются следующие показатели:

- сводная номенклатура ТЭЗ комплекса J , содержащая перечень всех типов применяемых ТЭЗ. Каждому типу присваивается уникальный номер $j = \overline{1, J}$;
- число комплектов ЗИП в СОЗЧ I . К ним относятся все включенные в состав СОЗЧ комплекты ЗИП, в том числе размещаемые на подвижной базе комплекты ЗИП-О агрегатов, подвижный групповой комплект ЗИП-А и размещаемый стационарно групповой комплект ЗИП-Б. Каждому ЗИП присваивается уникальный номер $i = \overline{1, I}$;
- стоимость приобретения ТЭЗ каждого типа, определяемая по прейскурантам производителя и включающая стоимость доставки от предприятия до места расположения МСТК c_j ;
- матрица стоимости хранения ТЭЗ каждого типа в каждом эшелоне c^{xp} . Стоимость определяется затратами на обеспечение необходимого температурного, влажностного и чистотного режима в месте хранения;
- стоимость проведения обслуживания ТЭЗ каждого типа в каждом эшелоне при нахождении в составе ЗИП $c^{об}$, определяемая затратами на выполнение работ по поддержанию необходимого качества ЗЧ при хранении и расходуемые при этом материальные ресурсы;
- матрица начальных уровней запасов ТЭЗ \vec{z} , включающая данные по количеству ТЭЗ каждого типа в каждом эшелоне z_{ji} . Уровни запасов и их эшелонирование должны обеспечивать выполнение требований по надежности МСТК;
- стоимость одного часа движения подвижного ЗИП $c_{доcm}$, определяемая расходами на ГСМ, амортизацию техники и работу персонала;
- суммарное значение времени, затраченного на доставку ЗЧ, предназначенных для устранения отказов или восполнения расхода комплектов ЗИП $t_{\Sigma}^{доcm}$. Значение данного показателя является случайной величиной, зависящей от безотказности оборудования комплекса, его структуры и установленных параметров СОЗЧ, таких как уровни запасов ТЭЗ и периодичность восполнения.

Для эксплуатируемых комплексов суммарное время доставки может быть определено анализом результатов эксплуатации за предшествующие периоды. Кроме того, для существующих комплексов суммарное время доставки может быть уточнено, а для разрабатываемых – предварительно рассчитано с применением аналитико-имитационных моделей и методологии статистического моделирования.

б) порядок расчета суммарного времени доставки ТЭЗ

Схема выполнения вычислений представлена на рисунке 2.

На основе результатов эксплуатации либо на основании аналитико-имитационной модели формируется статистическая выборка значений суммарного времени доставки. После формирования статистического ряда выдвигается гипотеза о виде эмпирической функции и определение ее параметров. Сходимость эмпирического закона с известным теоретическим проверяется с использованием критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова. Далее выполняется определение основных параметров полученного закона распределения. Окончательное расчетное значение суммарного времени доставки ЗИП определяется в соответствии с одним из предлагаемых критериев:

- среднее значение;
- наиболее вероятное значение;
- гамма-процентное значение.

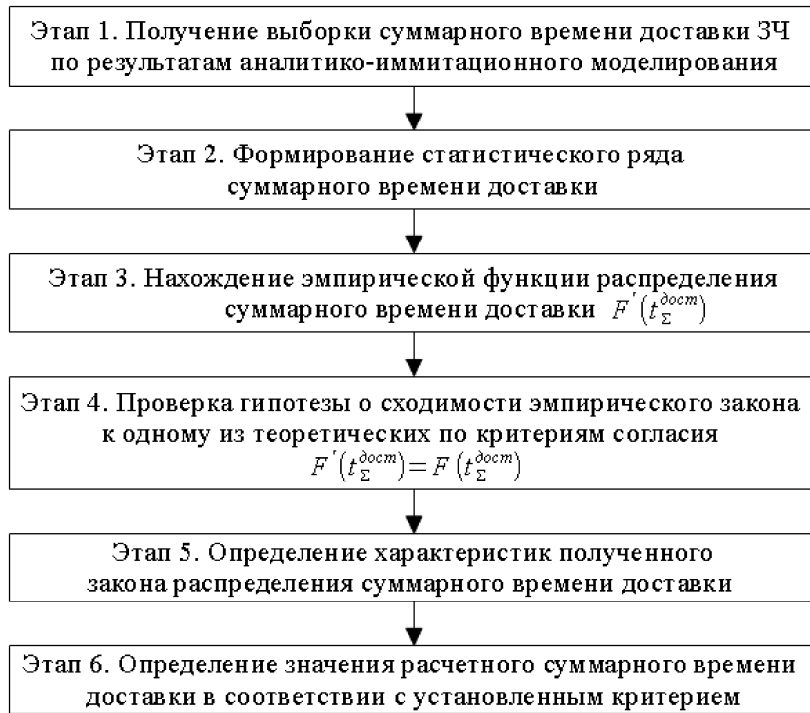


Рисунок 2 – Структурно-логическая схема вычислений

Для иллюстрации порядка расчетов на рисунках 3 и 4 представлены упорядоченный статистический ряд для суммарного времени доставки ТЭЗ, определенного на основании моделирования, и полученная функция плотности вероятности $F(t_{\Sigma}^{доcm})$.

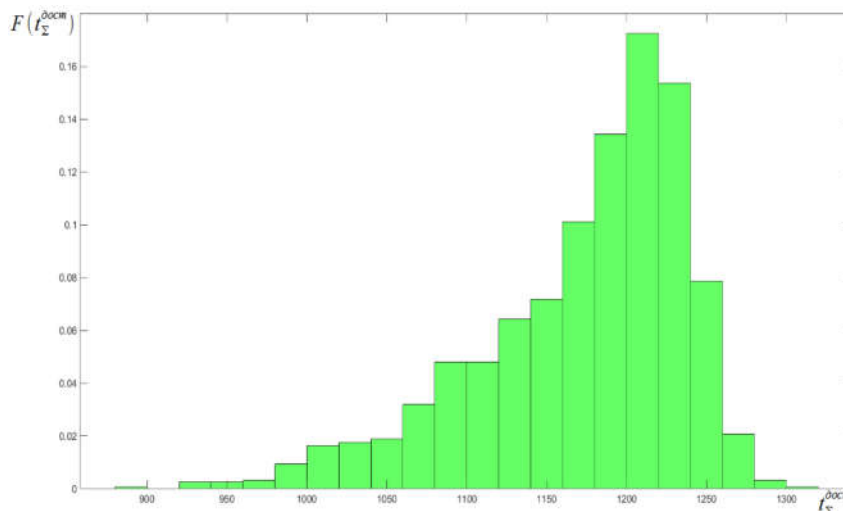


Рисунок 3 – Гистограмма суммарного времени доставки

Использованная для примера статистическая выборка была интерполирована распределением Вейбула. Критерий сходимости по Пирсону между эмпирической и теоретической функциями $r = 3,7$. На основании вычисленных параметров распределения могут быть определены расчетные значения суммарного времени доставки ЗЧ $t_{\Sigma}^{доcm}$, соответствующие приведенным выше критериям.

в) определение ресурсоемкости СОЗЧ

Представленный алгоритм позволяет привести выражение (1) к окончательному виду:

$$C_{СОЗЧ} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J z_{ij} c_j + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J z_{ij} c_{ij}^{xp} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J z_{ij} c_{ij}^{об} + t_{\Sigma}^{доcm} c_{доcm}$$

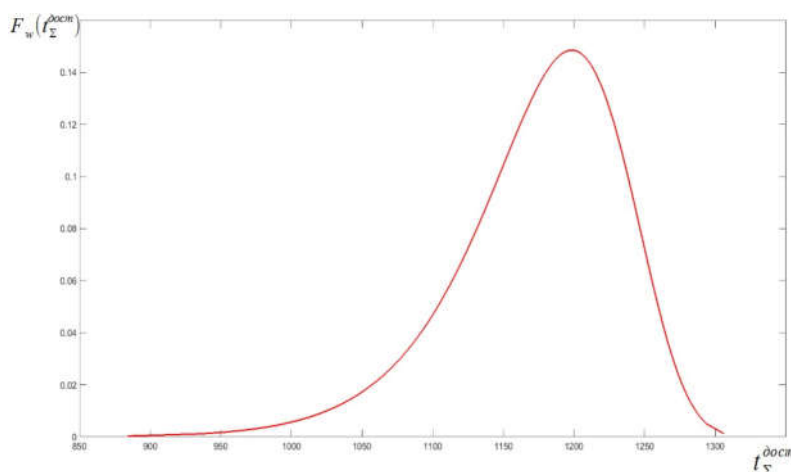


Рисунок 4 – Функция плотности вероятности

Заключение

Представленная модель ресурсоемкости подвижной СОЗЧ может использоваться при разработке перспективных МСТК, имеющих в своем составе разнородные агрегаты, а также при управлении эксплуатацией существующих комплексов и обеспечением удаленных подразделений. Научная новизна представленного результата заключается том, что, в отличие от существующих моделей, при исследовании функций ресурсоемкости подвижных СОЗЧ применен вероятностно-статистический подход для аналитического определения вида и параметров распределения суммарного времени доставки при расчете затрат на доставку ЗЧ. Практическая значимость представленного результата заключается в возможности определения ресурсоемкости подвижной СОЗЧ МСТК за заданный период с учетом затрат на начальные запасы ТЭЗ, хранение, обслуживание и доставку ЗЧ при эксплуатации комплекса.

Список использованных источников

1. Кокарев А.С., Пачин А.В., Поляков С.А. Задача обеспечения запасами мобильных удаленных подразделений организации // Труды общероссийской научно-технической конференции «VIII Уткинские чтения». – СПб.: БГТУ, 2018. – № 55. – С. 257-259.
2. Чуркин В.В. Оценка и оптимизация комплекта ЗИП с помощью метода статистического моделирования // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. – 2015. – № 2-3 (217-222). – С. 79-92.
3. Полесский С.Н., Паньковский Б.Е. Методика расчета показателей достаточности системы ЗИП электронных средств // Системы управления, связи и безопасности. – 2018. – № 4. – С. 35-47.
4. Богдан А.Н., Бояршинов С.Н., Клепов А.В., Поляков А.П. Модель обеспечения готовности технологического оборудования РКК // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 11. – С. 272-277.
5. Брежнев Д.Ю., Допира Р.В., Судариков А.А. Методический подход к моделированию обеспечения сложных технических систем запасными частями // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31. – С. 374-381.