

УДК 519.874

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ПОСТАВОК ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© 2014 Ю.П. Титов, Г.Ф. Хахулин

Московский авиационный институт (МАИ)

Поступила в редакцию 08.09.2014

В работе рассматривается система поддержки решений (СПР) управляющего техническим центром для решения задачи поставки запасных частей (ЗЧ) летательных аппаратов военного назначения. Данная система помогает управляющему техническим центром определить объемы поставок ЗЧ на склады технического центра и необходимое количество и квалификацию персонала. Сформулированы критерии оценки решений по поставкам ЗЧ и требуемому персоналу. Для вычисления значений критериев разработана модель послепродажного обслуживания ЛА. В результате работы системы поддержки решений управляющему техническим центром выдается набор решений из множества Парето.

Ключевые слова: *управление запасами, надежность, система поддержки решений, имитационное моделирование*

В связи с приказом министра обороны Российской Федерации было принято решение о перераспределении обязанностей по техническому обслуживанию (ТО) военной техники с министерства обороны на частные организации. Данным организациям поручено создать технические центры для управления послепродажным обслуживанием военной техники, в состав которой входят летательные аппараты (ЛА). Схема взаимодействия технического центра с предприятиями и военными частями приведена ниже.

Среди задач технического центра выделим задачу снабжения ЛА запасными частями, ремонтными ресурсами и персоналом.[1] В результате решения данной задачи управляющему техническому центру необходимо:

1. Сформировать заявку на производство ЗЧ на предприятиях изготовителях
2. Определить номенклатуру и количество ЗЧ на складах технического центра.
3. Определить количество ремонтных ресурсов и персонала, необходимых для проведения ремонтных работ и ТО всего множества ЛА.
4. Вычислить стоимость послепродажного обслуживания ЛА

Титов Юрий Павлович, аспирант. E-mail: Kalengul@mail.ru

Хахулин Геннадий Федорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой №302. E-mail: kaf302@mai.ru

Описание системы поддержки решений.

Для помощи управляющему техническим центром лицу, принимающее решение (ЛПР), необходимо создать систему поддержки решений, которая определит множество рациональных вариантов решений данной задачи. При этом сам выбор конкретного варианта решения остается за ЛПР. Производство ЗЧ происходит партиями через время dt_i . Каждая точка на рисунке соответствует решению, которое определяет номенклатуру и количество ЗЧ на каждом складе для каждого периода dt_i . Если к данному моменту времени на складе нет необходимых ЗЧ (с учетом ЗЧ, находящихся на АРЗ), то данное количество ЗЧ будет включено в заявку на производство. Так как количество ЗЧ у каждого ЛА насчитывает тысячи и миллионы единиц, СППО одновременно обслуживает сотни самолетов различных конструкций и оперирует десятками складов, то размерность необходимого решения будет очень большим. Для рассмотрения только рациональных решений реализована подсистема формирования решения.

В СПР для ранжирования вариантов решений и определения рациональности решения используются следующие два критерия:

1. Общий коэффициент готовности ЛА к выполнению поставленных задач. Данный критерий вычисляется как математическое ожидание коэффициентов готовности [1] каждого ЛА:

$$K_1 = \tilde{M}(K_{Г})$$

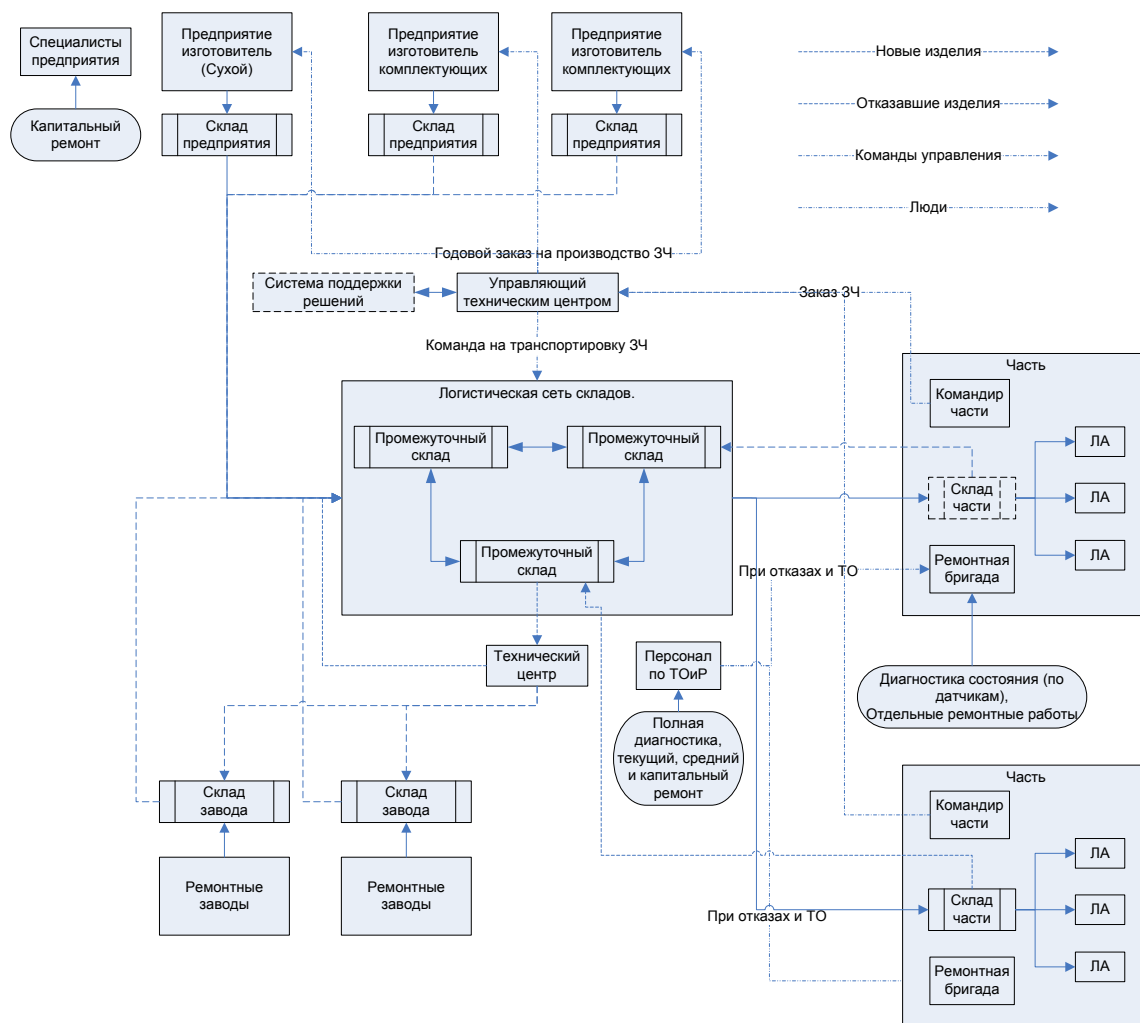


Рис. 1. Схема взаимодействия технического центра с предприятиями

2. Общая стоимость ППО ЛА

$$K_2 = \sum_{i=1}^n (C_i * Kol_i + C_{xp_i} * \tilde{M}(T_{xp_i}) + C_{tp_i} * \tilde{M}(T_{tp_i}) + C_{pm_i} * \tilde{M}(Kp_i))$$

где K_2 – коэффициент готовности одного, конкретного, ЛА в системе ППО; n – количество ЗЧ в системе; C_i – стоимость одной ЗЧ типа i ; Kol_i – количество ЗЧ типа i ; C_{xp_i} – стоимость одного часа хранения одной ЗЧ типа i ; T_{xp_i} – время хранения каждой ЗЧ типа i ; C_{tp_i} – стоимость одного часа транспортировки одной ЗЧ типа i ; T_{tp_i} – время транспортировки каждой ЗЧ типа i ; C_{pm_i} – стоимость ремонта одной ЗЧ типа i ; Kp_i – количество отремонтированных деталей типа i .

В результате работы СПР выделяются решения, входящие в область Парето по данным критериям. Решения из данной области предлагаются ЛПР. Область Парето приведена на рис. 2. Для определения значений критериев используем модель ППО. Общий вид структуры СПР ППО представлен на рис. 3.

Подсистема формирования решений. В основу подсистемы формирования решения положен метаэвристический метод муравьиных

колоний [2], модифицированный под данную задачу. Для работы алгоритма муравьиных колоний необходимо создать граф (рис. 4). В данном графе для каждого склада определяются ЗЧ (в виде блоков), которые находятся на данном складе, а так же их количество. Так как имеется множество поставок, то для каждой поставки необходимо создать новый граф. Маршрут в графе определит решение по необходимому количеству ЗЧ на каждом складе.

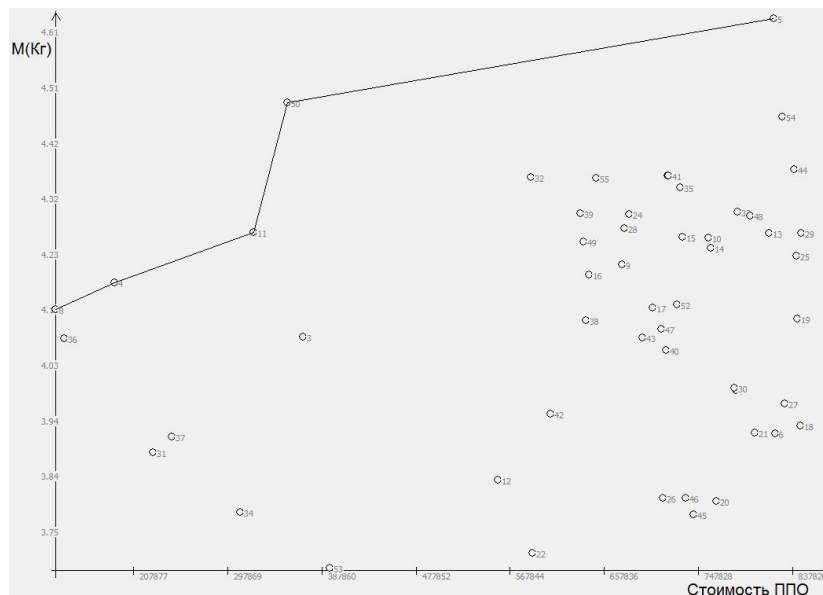


Рис. 2. Пример множества Парето

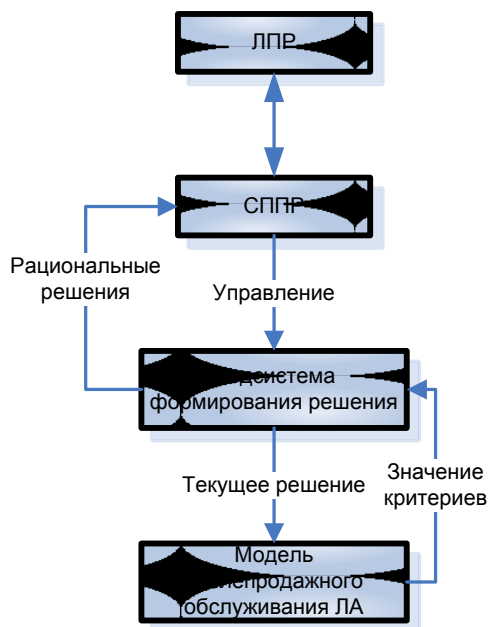


Рис. 3. Структура СПР ППО ЛА

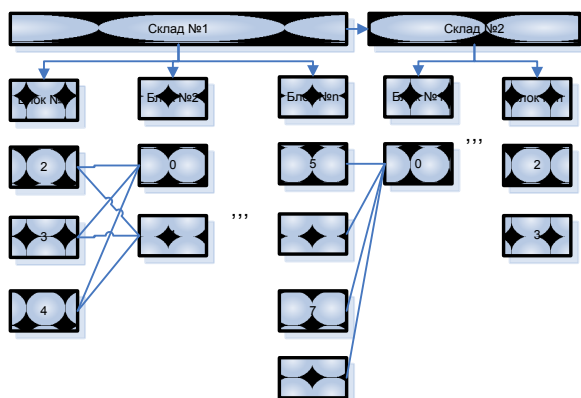


Рис. 4. Пример графа подсистемы формирования решения

Для создания графа необходимы статистические характеристики по требуемым ЗЧ для каждого ЛА. Такими статистическими характеристиками являются:

1. Математическое ожидание количества ЗЧ на интервале

$$(T + dt_i + \max_j R_j ; T + dt_i + dt_{i+1} + \max_j R_j),$$

где T – время, прошедшее до момента поставки; dt_i – время i -ой поставки; $\max_j R_j$ – время, необходимое для перемещения ЗЧ от предприятия изготовителя до самого дальнего склада.

2. Частоты количества требуемых ЗЧ на том же интервале.

Первая статистическая характеристика определит склад, на котором будет располагаться ЗЧ. Будем придерживаться правила: чем больше ЗЧ требуется (то есть чаще происходят замены), тем ближе к ЛА должна находиться данная ЗЧ. Данное правило позволит минимизировать затраты на транспортировку ЗЧ до отказавшего ЛА. Частоты же требуются для определения граничных значений количества ЗЧ на складе. К тому же сама частота определит начальное количество «феромонов» на дугах графа для работы алгоритма муравьиных колоний.

Имитационная модель послепродажного обслуживания. Для получения статистических характеристик, а также для определения значений критериев СПР при выбранном решении необходимо создать модель функционирования СППО ЛА. Данную модель можно разделить на четыре подмодели:

1. Логистическая модель. Данная модель реализует процессы транспортировки и хранения ЗЧ.

2. Модель производства ЗЧ. Данная модель реализует процесс производства ЗЧ на предприятиях изготовителях.

3. Модель надежностной структуры ЛА (НСЛА). Данная модель реализует процессы потребления ЗЧ, а так же определяет статистические характеристики и формирует требования по заказу ЗЧ.

4. Модель процесса ремонта отказавших блоков на АРЗ. Данная модель реализует процесс восстановления работоспособности некоторых отказавших блоков.

Для адекватного описания, а также для стыковки данных моделей предлагается создать единую имитационную модель процесса ППО ЛА на основе событийного подхода [3]. Применение данного подхода позволит легко масштабировать систему и осуществить расчет показателей критериев для системы в совокупности. Схематично ИМ ППО ЛА изображена на рис. 5. Перечень основных модельных событий и схема взаимосвязи между ними, отражающая процесс планирования одних событий при обработке других, представлена на рис. 6.

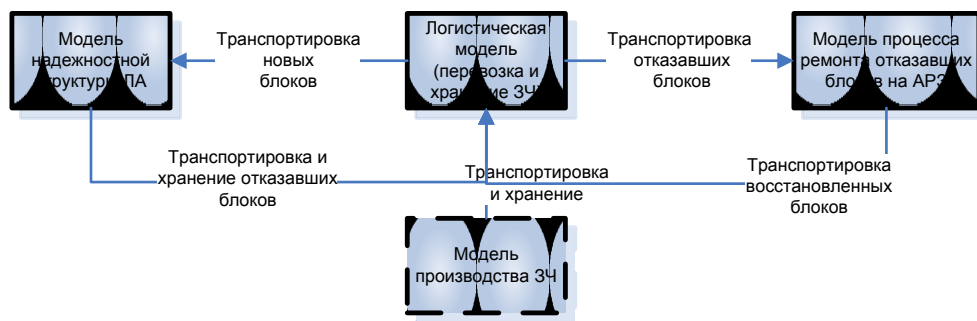


Рис. 5. Схема взаимодействия моделей

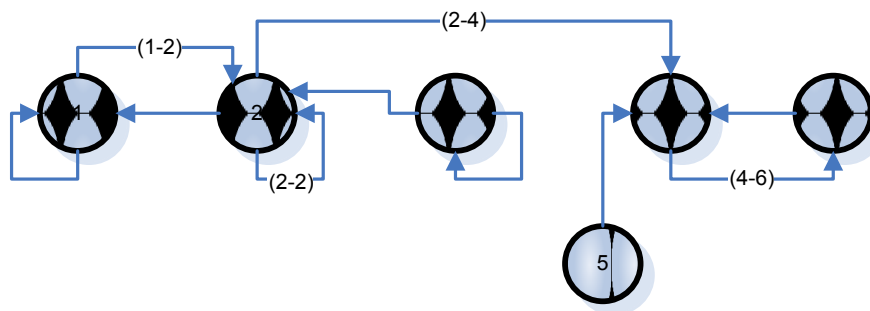


Рис. 6. Схема связи модельных событий ИМ ППО ЛА

Название и кодирование основных временных событий:

1. Отказ элемента
2. Выполнение действия над частью НСЛА (включение, отключение в процессе применения ЛА; окончание монтажа, демонтажа или настройки в процессе ТО)
3. Смена режима функционирования ЛА
4. Транспортировка ЗЧ на склад
5. Производство ЗЧ
6. Восстановление ЗЧ

Условия планирования событий:

(1-2) Если у отказавшего элемента есть резервный работоспособный элемент или при обнаружении отказа;

(2-2) Если выполнены не все действия из заданной последовательности для перевода НС ЛА в определенный режим эксплуатации.

(2-4) Если на складе аэродрома нет требуемой ЗЧ, а на другом складе есть, то транспортировка

ЗЧ на склад аэродрома для проведения замены. Или если отказавшая ЗЧ подлежит восстановлению, то транспортировка её на склад ближайшего АРЗ

(4-6) Если отказавший блок доставлен на склад АРЗ, на котором возможно восстановление отказавшего блока.

Входными данными, необходимыми для работы данной ИМ будут:

1. Информация о надежностной структуре ЛА-ов
2. Информация о номенклатуре ЗЧ, возможных к производству
3. Логистическая сеть складов
4. Информация по возможностям АРЗ, а так же по временам восстановления ЗЧ.

Выходными данными данной модели будут:

1. Статистические характеристики по количеству использованных ЗЧ.

2. Статистические характеристики общего времени транспортировки ЗЧ.
3. Статистические характеристики времени хранения ЗЧ.
4. Статистические характеристики требований к обслуживающему персоналу.

Особенность данной имитационной модели (ИМ) является модель надежностной структуры, которая рассматривает процессы отказа, обнаружения отказа и замены (путем монтажа ЗЧ). В данной модели имеется возможность моделирования различных сценариев эксплуатации парка ЛА. А объединение всех моделей в одну позволяет рассматривать статистические характеристики всего парка ЛА в совокупности.

Выводы: для тестирования системы разработан программный комплекс, реализующий СПР, в среде программирования Borland Delphi 7.0. Основной задачей комплекса является определение множества Парето рациональных решений (рис. 2). Каждое решение характеризуется необходимым набором ЗЧ на складах. Для работы программного комплекса необходимо загрузить модель ППО из файлов. Программный комплекс позволяет производить отладку модели путем визуализации процессов, проходящих в ней. Визуализируются не только процессы транспортировки и потребления ЗЧ, а также процессы эксплуатации каждого ЛА. В тестовом

примере использовалось 6 самолетов ТУ 154 [4], в которых обслуживалась система кондиционирования и поддержания давления, расположенных на двух аэродромах. Для обслуживания системы ЗЧ хранились на трех складах технического центра. В результате работы программа выявила «узкие места» в системе кондиционирования и поддержания давления самолета ТУ 154. Для увеличения коэффициента готовности парка ЛА программой предложено увеличить количество ЗЧ для «узких мест» на складах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Синицын, И.Н.* Лекции по теории систем интегрированной логистической поддержки / *И.Н. Синицын, А.С. Шаламов.* – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2012. 624 с.
2. *Colomi, A.* Distributed Optimization by Ant Colonies / *A. Colomi, M. Dorigo, V. Maniezzo* // Proc. First Eur. Conf. on Artific. Life, Paris, France, F.Varela and P.Bourgine (Eds.), Elsevier Publishing. 1992. P. 134-142.
3. *Хахулин, Г.Ф.* Основы конструирования имитационных моделей. – М.: Издательство НПК «Поток», 2002. 224 с.
4. *Волошин, Ф.А.* Самолет Ту-154. Конструкция и техническое обслуживание. (Книга 2) / *Ф.А. Волошин, А.Н. Кузнецов, В.Я. Покровский, А.Я. Соловьев* – М.: Машиностроение, 1975. 250 с.

SOLUTION SUPPORT SYSTEM OF SPARE PARTS DELIVERIES FOR MILITARY USE AIRCRAFTS

© 2014 Yu.P. Titov, G.F. Khakhulin

Moscow Aviation Institute (MAI)

In work the decisions support system (DSS) by managing director of the technical center for the solution of problem of delivery the spare parts (SP) for military aircraft is considered. This system helps the managing director of the technical center to define volumes of deliveries of SP on warehouses of the technical center and necessary quantity qualification of the personnel. Criteria of assessment the decisions on deliveries of SP and to the demanded personnel are formulated. The model of aftermarket service of LA is developed for calculation of criteria values. As a result of work the decisions support system to the managing director of the technical center the set of decisions from Pareto's set is given.

Key words: *stockpile management, reliability, decisions support system, imitating modeling*