

ЭКОНОМИКА

658.1

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В ЗАПАСНЫХ ЧАСТЯХ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд. экон. наук А.Е. БРОМ

Рассматриваются стратегии эксплуатации и система технического обслуживания и ремонта сложной техники. Предлагается корректировать в режиме реального времени выпуск комплектующих в соответствии с изменением эксплуатационных параметров изделия. Разработан новый метод расчета производственной программы запчастей, учитывающий интенсивность эксплуатации и выработку изделием назначенного ресурса.

This article examines maintenance and repair system of complex appliances. Real-time adjustment of OEM components output in accordance with changes in operational parameters is offered. The new method of calculation at spare parts production cycle is developed taking into account operation rate and resource management.

Необходимость разработки и внедрения автоматизированных логистических систем управления цепочками поставок запчастей к сложной технике связана с одним из ее важнейших потребительских свойств: величины затрат на эксплуатацию и поддержку ее в работоспособном состоянии. Для сложной наукоемкой продукции гражданского и военного назначения, нуждающейся в ремонтном обслуживании и имеющей длительный срок использования, затраты, возникающие на этапе эксплуатации, как правило, в несколько раз превышают затраты на приобретение.

Для обеспечения своевременного производства и поступления запасных частей в службы технического обслуживания и ремонта при планировании производственной программы обязательно прогнозируется потребность эксплуатантов продукции в запчастях. Но, как правило, к моменту реализации запасных частей прогнозные данные, положенные в основу производственного цикла, уже не соответствуют фактической потребности. Простой объекта, связанный с отсутствием запасных частей на складах (центрах ТОиР), ведет к недополучению прибыли потребителем и порождает непропорциональное увеличение запасов производителем (поставщиком). Возникновение колебаний спроса в запчастях неизбежно приводит к постоянной корректировке календарных планов производства.

Виды и методы прогнозирования спроса достаточно проработаны в теории управления запасами и теории массового обслуживания. Однако все они имеют общий недостаток — остаются проблемы точности прогноза, нередко приводящие к формированию такого уровня запасов, который оказывается выше или ниже необходимого в данный момент времени. Например, в [1] приведен такой метод прогнозирования спроса для военных самолетов: берется среднее число запасных частей (по каждому виду) за прошедшие периоды, необходимых на час наработки. Общая наработка для всех самолетов оценивается на основе оперативных планов и затем умножается на удельный расход деталей, который оценивается на основании статистических методов.

Уйти от этих проблем возможно с помощью активно развивающихся систем радиочастотной идентификации (радиометки и считывающие устройства), позволяющих разрабо-

тать современную логистическую систему автоматизированного управления поставками запасных частей, передающую информацию производителю в режиме реального времени для принятия и реализации решений по планированию производственной программы и своевременным поставкам необходимого объема.

Итак, текущий спрос на запчасти колеблется постоянно, и необходимо получать данные о работе объекта в режиме реального времени, которые послужат отправной информацией для программы производства запчастей и управления их запасами. В качестве такой информации вводится величина Q_i — потребность в i -ом виде запасных частей в процессе эксплуатации. Структура потребности на запчасти определяется стратегией эксплуатации наукоемкого продукта — по ресурсу или по состоянию. Для выделения ключевых факторов, влияющих на величину Q_i , рассмотрим подробнее стратегии эксплуатации и проведения технического обслуживания.

Методы эксплуатации подразделяются на эксплуатацию по ресурсу (по времени эксплуатации или по календарным срокам) и по состоянию (определяется отказом или предотказным состоянием). Суть стратегии эксплуатации по состоянию заключается в обнаружении критического состояния детали в момент диагностики при проведении очередного элемента ремонтного цикла. В этом случае межремонтный ресурс изделию не назначается, что позволяет полностью использовать запасы работоспособности или индивидуальные ресурсы каждого экземпляра изделия и ремонтировать его только тогда, когда оно достигнет установленного для него в эксплуатационной документации предельного состояния, определяемого отказом или предотказным состоянием. Схема, приведенная на рис. 1, дает представление об организации восстановления самолета при эксплуатации по состоянию.

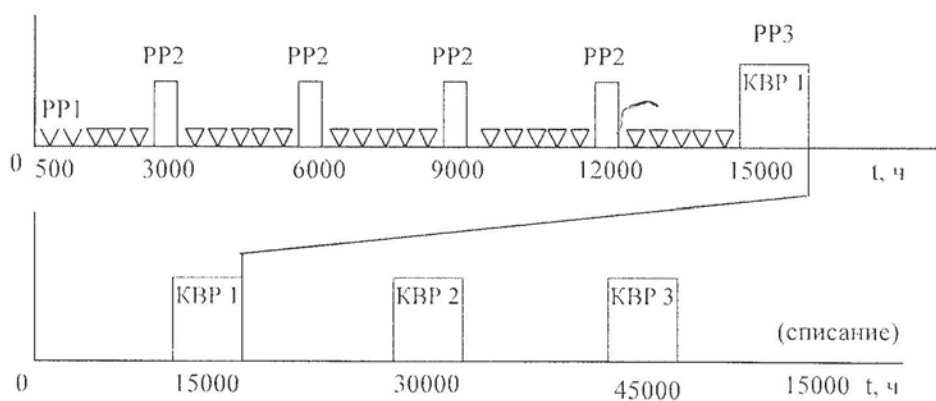


Рис. 1. Структура периодического технического обслуживания по состоянию

В настоящее время известны четыре способа планирования ТО во времени:

- техническое обслуживание по календарному сроку;
- техническое обслуживание по часам эксплуатации;
- техническое обслуживание по наработке (по часам работы, по числу посадок, по пробегу для автотранспорта и т.д.);
- целенаправленное ТО.

С одной стороны, зарубежный и отечественный опыт показывает, что экономически значительно выгоднее ремонтировать изделие, когда оно достигает предельного состояния, т.е. выбирать стратегию эксплуатации по состоянию. Но, с другой стороны, для этого требуется сложное дорогостоящее оборудование.

Более прогрессивным в настоящее время считается способ технического обслуживания по наработке, тесно связанный с методом эксплуатации по ресурсу. Этот способ позволяет в процессе эксплуатации осуществлять обратную связь по данным о состоянии объекта и его агрегатов (например, считывать информацию с радиометок, которыми обозначены комплектующие), т.е. использовать накопленную информацию для восстановления исправного состояния продукции.

Введем следующие обозначения:

k — номер вида эксплуатируемого объекта;

j — номер работы ремонтного цикла;

i — номер вида запчастей, необходимых для проведения j -ой работы ремонтного цикла;

l_k — интенсивность эксплуатации k -го вида продукта;

P_k — назначенный эксплуатационный ресурс k -го вида продукта;

p_k'' — наработанный эксплуатационный ресурс k -го вида продукта;

b_{ij} — расход запчастей i -го вида для проведения ремонтных работ j -го вида по нормативу (регламентируемый структурой ТОиР);

$a_{kl}^{p_k''}$ — количество продуктов k -го вида с наработанным эксплуатационным ресурсом p_k'' и интенсивностью эксплуатации l_k .

Итак, главнейшая задача производителя (поставщика) объекта состоит в снабжении подсистемы эксплуатации требуемыми запчастями i -го вида для проведения различных ремонтных работ j -го вида в момент времени t . (Отметим, что индекс j нумерует именно работы — элементы ремонтного цикла, а не формы ТОиР, т.к. для проведения разных по сложности работ могут понадобиться одинаковые детали).

В случае эксплуатации по ресурсу деталь подлежит замене после наработки определенного эксплуатационного ресурса (это могут быть часы палета, километры пробега). В соответствии с техническим заданием для каждого k -го вида продукта производитель разрабатывает комплект документов, содержащий структуру ремонтного цикла в пределах назначенного эксплуатационного ресурса P_k (виды и периодичность ТОиР), номенклатуру и количество запасных частей для ТО и ремонта. В таблице 1 в формализованном виде приведен примерный перечень форм ТОиР в зависимости от наработанного эксплуатационного ресурса k -го вида продукта p_k'' .

Таблица 1

Перечень форм ТОиР в зависимости от наработанного ресурса

Форма ТОиР	Наработанный эксплуатационный ресурс p_k''
A	p_{k_1}''
B	p_{k_2}''
C	p_{k_3}''
D	p_{k_4}''
...	...
F	P_k

Структура выполнения периодических форм ТОиР в пределах назначенного ресурса P_k представлена на рис. 2.

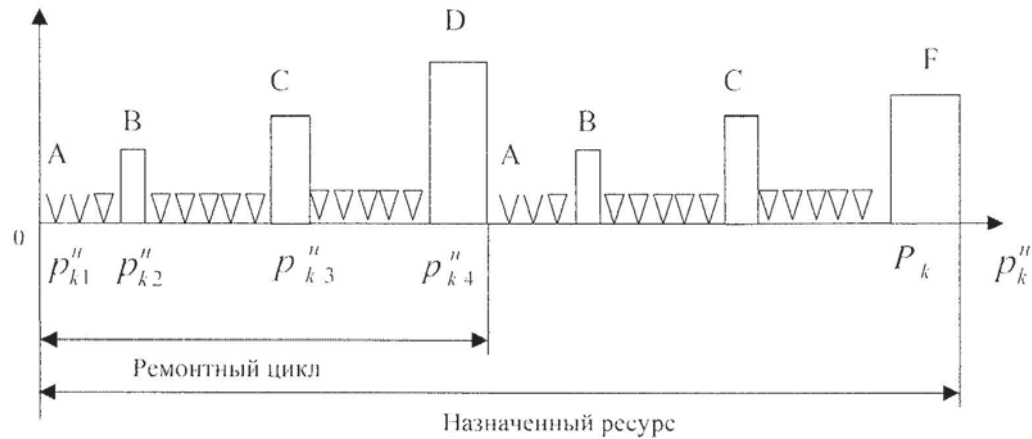


Рис. 2. Структура периодического технического обслуживания в пределах назначенного ресурса

В момент времени t попадают изделия, которым необходимо провести различные ремонтные работы j -го вида в зависимости от интенсивности эксплуатации продукта l_k и наработке назначенного ресурса p''_k . Часто встречается ситуация, когда продукт, поставленный потребителю недавно, может иметь небольшую наработку эксплуатационного ресурса, но при этом с высокой интенсивностью в связи с климатическими, географическими условиями эксплуатации. Это еще раз подтверждает необходимость строить производство запасных частей на основе фактического спроса, так как планирование (прогнозирование) интенсивности эксплуатации на длительные сроки сопряжено с появлением грубых ошибок. Поэтому темп потребления запчастей Q_t должен учитывать не только использование назначенного ресурса, но и интенсивность эксплуатации. Агрегированная величина Q_t — общей потребности в запчастях, зависящей от наработки и интенсивности эксплуатации — рассчитывается следующим образом:

$$Q_t = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n b_{tkj} \sum_{k=1}^K \sum_{l_k=1}^{l_k} \sum_{p''_k=1}^{p''_k} a_{kl_k p''_k} \quad (1)$$

Левая часть произведения $\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n b_{tkj}$ определяет потребность в запчастях, порождаемую регламентом, т.е. общий нормативный расход запчастей всех i видов, $i = \overline{1, m}$, для проведения ремонтных работ всех n видов, $j = \overline{1, n}$. В правой части произведения выражения (1) введен множитель $\sum_{k=1}^K \sum_{l_k=1}^{l_k} \sum_{p''_k=1}^{p''_k} a_{kl_k p''_k}$, представляющий общий парк изделий всех K видов, $k = \overline{1, K}$, эксплуатируемых с наработкой p''_k и интенсивностью эксплуатации объекта l_k .

Неиспользованный эксплуатационный ресурс k — го вида продукта определяется разностью $(P_k - p''_k)$, а с помощью отношения $(P_k - p''_k)$ мы можем рассчитать будущую наработку изделия p''_{k_i} на следующий момент времени t при прогнозируемой интенсивности его эксплуатации l_{k_i} :

$$p''_{k_i} = \frac{P_k - p''_k}{l_{k_i}} \quad (2)$$

Интенсивность эксплуатации является случайной величиной, зависящей от многих факторов — климатических, сезонности использования, квалификации персонала, для военных систем — и геополитической обстановки. При недостатке статистической и аналитической информации интенсивность эксплуатации можно прогнозировать с помощью экспертных методов, полагаясь на опыт и интуицию специалистов. Это позволит установить закон распределения, характеризующий этот показатель. Однако чаще используются числовые характеристики случайной величины, дающие ее некоторое осредненное описание, например, математическое ожидание. Поэтому выражение (2) можно переписать следующим образом:

$$p_k^* = \frac{P_k - p_k''}{M(L_k)} \quad (3)$$

Установив, под какой закон распределения попадает величина интенсивности, вычисление $M(L_k)$ не составит особых трудностей. (Мы не приводим подробное описание методов прогнозирования интенсивности отказов и эксплуатации, т.к. это не входит в круг вопросов, поднятых в данной работе). Таким образом, согласно выражению (3), будущая наработка продукта зависит от интенсивности его использования.

Подставив в (1) вместо p_k'' величину p_k^* , можно определять величину спроса на запчасти как сумму потребности по плановым заменам и стохастической — по отказам. С учетом вышеизложенного формула (1) преобразуется в формулу следующего вида:

$$Q_i = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n b_{ikj} \sum_{k=1}^K \sum_{l_k=1}^{L_k} \sum_{p_{ki}=1}^{P_k} a_{klkp_{ki}} + \delta_i, \quad (4)$$

где δ_i — слагаемое, описывающее потребность в запчастях, вызванную отказами, случайными или аварийными поломками (т.е. непредвиденное кратковременное изменение спроса). Эта величина может использоваться и для определения ошибки прогноза спроса, в том случае, если метод используется для планирования производственной программы.

Следующим шагом необходимо рассчитать Q_{i_0} — величину, служащую основанием для планирования производственной программы на момент начала выпуска продукции.

Программа выпуска i -ой детали Q_{i_0} (шт.) в начальный момент времени t_0 рассчитывается на основе производственной программы завода a_k по k -му виду продукции следующим образом:

$$p_{ir} = \sum_{k=1}^K b_{ik} a_k, \quad (5)$$

где a_k — количество продукции k -го вида; b_{ik} — применяемость i -ой детали в k -ом продукте; p_{ir} — программа i -ой детали россыпью.

Объем выпуска россыпи p_{ir} в момент t_0 рассчитывается, исходя из потребности в этих деталях без учета наработанного продуктом эксплуатационного ресурса и интенсивности эксплуатации, т.е. исходя из нормативного расхода деталей для проведения первой ремонтной работы b_{i1} :

$$Q_{i_0} = p_{ir} + \sum_{k=1}^K a_k \varepsilon_{ki}. \quad (6)$$

По формуле (6) определяется величина фактического запаса i -го вида деталей на складе завода в момент t_0 .

Таким образом, расчет по формуле (4) позволяет планировать общую наработку технического парка и определять величину агрегированной потребности в запчастях на следующие временные периоды, что служит основанием для планирования производственной программы по выпуску запчастей. Производственная программа планируется по видам деталей; для деталей с высокой интенсивностью плановых замен в качестве горизонта планирования должен выбираться небольшой временной промежуток — 2, 3 недели.

Для управления производством запчастей в режиме реального времени с учетом фактической наработки и интенсивности эксплуатации объекта используется расчет потребности по формуле (1). Информация об интенсивности эксплуатации в реальном времени поступает в ИСУ (информационно-управляющую систему) производителя и программа выпуска запчастей постоянно корректируется.

Немаловажным достоинством систем автоматизированного управления, имеющих возможность сканировать информацию с радиометок, которыми обозначены запасные части, является то, что нет принципиальной разницы при выборе стратегии эксплуатации объекта - по ресурсу или по состоянию.

Разработанный метод определения потребности в запасных частях в зависимости от интенсивности эксплуатации наукоемкой продукции может использоваться при создании интегрированных логистических систем управления цепочками поставок, объединяющих производителей, поставщиков и потребителей сложной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д е р к а ч О. Я. Формирование систем технического обслуживания самолетов при их создании. — М.: Машиностроение, 1993. — 224 с.
2. Моделирование системы технического сервиса: Монография / В.В. Быков, А.С. Назаренко, Н.К. Юрков и др. — М.: МГУИТ, 2004. — 84 с.
3. Организация и планирование машиностроительного производства (производственный менеджмент): Учебник для вузов. / К.А. Грачева, М.К. Захарова, Л.А. Одинцова и др. / Под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. — М.: Высшая школа, 2003. — 470 с.