

ИННОВАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ

В.А. Рогов, А.Х. Аль Джубури

Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

Приведены основные принципы расчета параметров номенклатуры и количества запасных частей в целях обеспечения требуемой готовности парка конечных изделий при наименьших возможных издержках.

Ключевые слова: материально-техническое обеспечение (МТО), анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО), техническое обслуживание и ремонт (ТОиР).

При вводе в эксплуатацию нового изделия важно определить параметры материально-технического обеспечения (МТО) процессов эксплуатации и технического обслуживания, т.е. номенклатуры и количества запасных частей и расходных материалов, подлежащих поставкам вместе с изделием в момент его закупки и последующему заказу и хранению на складах сервисной службы. Эти параметры определяют отдельно для плановых (регламентных) работ и для внеплановых работ, связанных со случайно возникающими отказами.

Номенклатура запасных частей для начального и текущего МТО определяется по результатам выполнения анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) и на основании программы технического обслуживания и ремонта (ТОиР). В качестве запасных частей должны поставляться изделия, которые могут вызвать неожиданный отказ или имеют ограниченный срок эксплуатации и требуют замены в процессе планового или внепланового обслуживания.

К числу основных параметров МТО, подлежащих расчету, относятся:

— уровень Ψ_{\max} начального запаса, который должен обеспечить требуемый коэффициент готовности парка конечных изделий в течение начального периода, когда текущее МТО по тем или иным причинам еще не налажено;

— уровень Ψ_{\min} минимального запаса, который должен обеспечить требуемый коэффициент готовности в течение времени поставки заказанной партии запчастей на склад;

— объем Ψ_Q партии поставки при пополнении запаса.

Значения этих параметров можно найти по формулам

$$\begin{aligned} \Psi_{\max} &= A_{\max} + W_{\max}, \\ \Psi_{\min} &= A_{\min} + W_{\min}, \\ \Psi_Q &= A_Q + W_Q, \end{aligned} \quad (1)$$

где A — уровни запаса, необходимые для устранения случайно возникающих отказов (внеплановое ТОиР); W — уровни запаса, необходимые для выполнения плановых работ.

Для определения количества запчастей, необходимых для устранения случайно возникающих отказов, разработана модель, базирующаяся на теории управления запасами [1] и позволяющая определить требуемые параметры запаса и коэффициент готовности парка изделий. В модели используется введенное понятие об уровне риска, который рассматривается как вероятность *отсутствия* детали на складе или ремонтной службы в тот момент, когда она потребуется для ремонта изделия [3; 1]. Это понятие представляется более удобным, чем используемое в некоторых работах понятие коэффициента готовности запаса — вероятности *наличия* детали на складе в тот момент, когда она потребуется для ремонта изделия [2].

На рисунке 1 изображен примерный процесс движения запасов на складе, связанный с устранением случайно возникающих отказов.

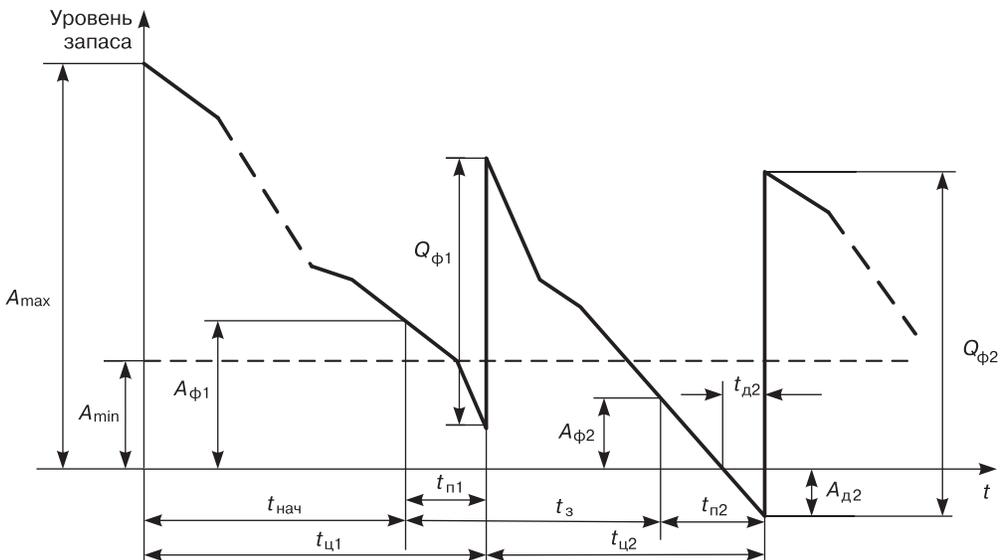


Рис. 1. Примерный процесс движения запасов на складе:

A_{\max} — уровень начального запаса; A_{\min} — уровень минимального запаса; $A_{\phi k}$ — фактический уровень запаса на момент формирования заказа; $Q_{\phi k}$ — фактический объем партии поставки; $t_{\text{нач}}$ — продолжительность начального МТО; t_3 — горизонт планирования заказов; $t_{\text{пк}}$ — фактическое время выполнения поставки; $t_{\text{цк}}$ — фактическое время цикла; $A_{\text{дк}}$ — уровень дефицита; $t_{\text{дк}}$ — время, в течение которого существует дефицит (все индексы k относятся к k -ому циклу расходования — пополнения запаса, $k = 1, 2, 3, \dots$)

Предполагается, что фактическое количество отказов деталей и фактическое время поставки являются случайными величинами. Также предполагается, что за время цикла расходования/пополнения запас может использоваться полностью, т.е. «страховой» запас отсутствует. Кроме того, предполагается, что интервал времени от момента прихода партии поставки в адрес заказчика до момента ее помещения на склад равен нулю.

Для организации управления запасами для каждой i -й единицы хранения требуется определить следующие основные параметры:

$A_{\max i}$ — уровень начального запаса;

$A_{\min i}$ — уровень минимального запаса, обеспечивающий требуемую готовность в течение времени поставки заказанной партии запчастей на склад;

$A_{Q i}$ — объем партии поставки при пополнении запаса.

Исходными данными являются:

N — количество конечных изделий в парке, шт.;

T — предполагаемая норма использования одного конечного изделия в год, измеряется в единицах измерения (е.и.) наработки / год;

n_i — количество изделий i -го типа в одном конечном изделии, шт.;

λ_i — интенсивность отказов одного изделия i -го типа (1), 1/е.и. наработки;

k_i — коэффициент нормы использования изделия (доля времени функционирования i -го изделия от времени функционирования конечного изделия, $k_i \leq 1$);

$t_{\text{нач}}$ — продолжительность начального МТО, мес. (обычно не превышает двух лет);

t_{zi} — горизонт планирования заказов, мес. (предполагается, что периодичность размещения заявок на запчасти регламентируется в соответствующих нормативных документах);

t_{ni} — среднее время выполнения поставки, т.е. время от момента подачи заявки до момента прихода партии запчастей в адрес заказчика, мес.

Каждый определяемый параметр МТО характеризуется временным интервалом, на протяжении которого должна быть обеспечена требуемая готовность конечного изделия. Для уровня начального запаса это продолжительность начального МТО и время первой поставки ($t_{\text{нач}} + t_{ni}$), для уровня минимального запаса — среднее время выполнения последующих поставок t_{ni} , для объема партии поставки — горизонт планирования заказов t_{zi} . Зная интенсивность отказов одной детали, количество деталей, одновременно находящихся в эксплуатации, интенсивность использования детали и всего конечного изделия и соответствующий временной интервал, можно найти средние значения параметров МТО: средний уровень начального запаса a_{\max} , средний уровень минимального запаса a_{\min} и средний объем партии поставки q по формулам:

$$\begin{aligned} a_{\max i} &= \tilde{\lambda}_i \cdot (t_{\text{нач}} + t_{ni}), \\ a_{\min i} &= \tilde{\lambda}_i \cdot t_{ni}, \\ q &= \tilde{\lambda}_i \cdot t_{zi}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\tilde{\lambda}_i$ — среднее количество отказов всех деталей i -го типа в течение используемого временного базиса.

Если интервалы задаются в месяцах, то среднее количество отказов в месяц можно найти по формуле

$$\tilde{\lambda}_i = \frac{\lambda_i \cdot T \cdot k_i \cdot n_i \cdot N}{12}. \quad (3)$$

Интенсивность спроса на конкретный тип запчастей определяется интенсивностью отказов всех деталей этого типа. Так как фактическое число отказов является случайной величиной, это требует задания и воспроизведения ее статистических характеристик. Предполагается, что из предшествующего опыта для этой величины известен закон распределения вероятностей и его параметры.

Чтобы оценить требуемое количество запчастей для замены одного типа деталей в течение определенного периода, необходимо найти вероятность появления числа отказов (1, 2, 3, ..., m) за этот период. Если предположить, что поток отказов является простейшим, то для определения вероятности появления числа отказов можно воспользоваться законом распределения Пуассона

$$Q(m) = \frac{\mu^m}{m!} e^{-\mu}, \quad (4)$$

где μ — среднее количество отказов за рассматриваемый период; m — количество отказов (1, 2, 3 и т.д.); $Q(m)$ — вероятность появления m отказов за рассматриваемый период.

График функции $Q(m)$ для $\mu = 2$ приведен на рис. 2.

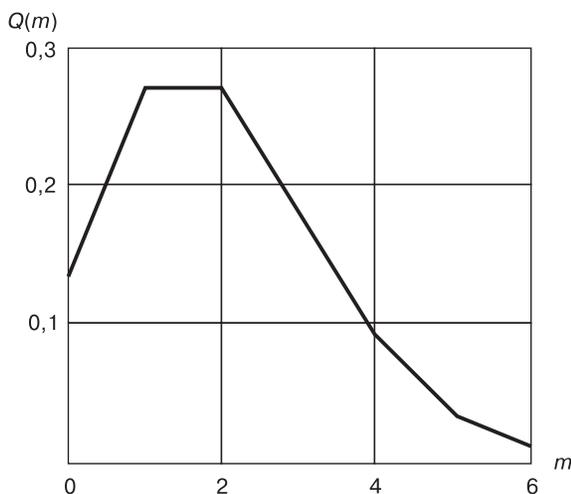


Рис. 2. Вероятность появления m отказов для $\mu = 2$

«Накопленная» вероятность появления от 0 до m отказов за заданный период определяется формулой

$$\sum_{j=0}^m Q(m) = \sum_{j=0}^m \frac{\mu^j}{j!} e^{-\mu}. \quad (5)$$

На рисунке 3 представлен график «накопленной» вероятности появления от 0 до m отказов деталей одного типа.

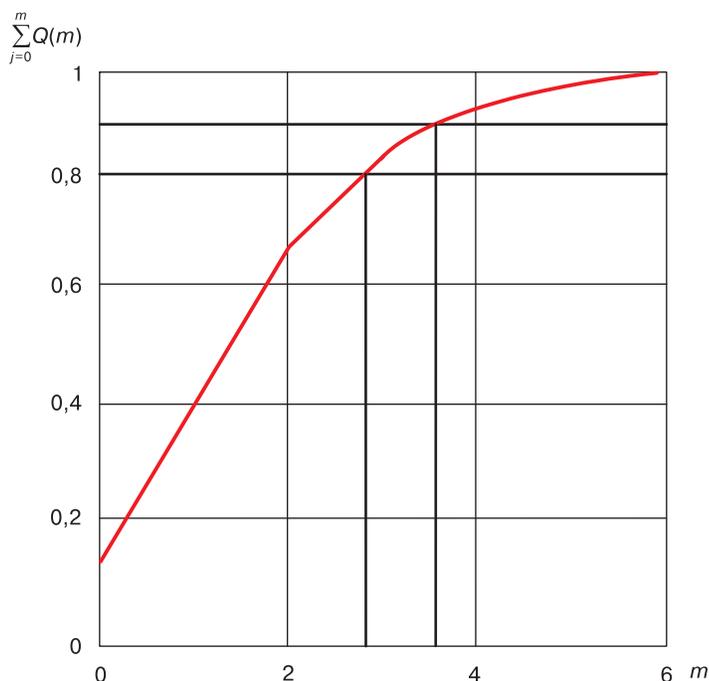


Рис. 3. «Накопленная» вероятность появления от 0 до m отказов для $\mu = 2$

Чтобы определить количество запчастей, которое следует держать на складе, необходимо, как уже указывалось, ввести понятие допустимого уровня риска R . На рисунке 3 проведены две горизонтальные линии, соответствующие уровням риска $R = 0,8$ (нижняя) и $R = 0,9$ (верхняя). Очевидно, что в точке пересечения кривой $\sum_{j=0}^m Q(m)$ с горизонталью, соответствующей величине R , имеет место равенство

$$\sum_{j=0}^m Q(m) = 1 - R. \quad (6)$$

Тогда необходимое количество запчастей можно найти, решая неравенство

$$1 - R \leq \sum_{j=0}^m \frac{\mu^j}{j!} e^{-\mu} \quad (7)$$

относительно m и принимая в качестве результата ближайшее большее целое (поскольку m может быть только целым числом). Аналитическое решение такого неравенства связано с большими трудностями, а идея численного решения ясна из рис. 3. В этом примере для $R = 0,2$ на складе следует иметь три детали, а для $R = 0,1$ — четыре.

Если за время цикла запас может расходоваться полностью (т.е. нет страхового запаса), то искомые параметры МТО для изделий i -го типа $A_{\max i}$, $A_{\min i}$ и A_{Qi} можно найти, подставляя в неравенство (7) вместо μ средние значения $a_{\max i}$, $a_{\min i}$ и q_i соответственно. Решая неравенство при этих значениях, получим для заданного R :

$$m = \begin{cases} A_{\max i} & \text{при } \mu = a_{\max i} \\ A_{\min i} & \text{при } \mu = a_{\min i} \\ A_{Qi} & \text{при } \mu = q_i \end{cases} \quad (8)$$

При этом уровень риска R следует выбирать так, чтобы найденные параметры запаса обеспечивали требуемую готовность парка конечных изделий при минимальных издержках, связанных с закупкой, доставкой и хранением запчастей.

В силу того, что фактическое число отказов является случайной величиной и на момент формирования заявки на поставку уровень запаса может отличаться от минимального $A_{\min i}$, фактический объем партии поставки для k -го цикла $Q_{\phi ki}$ следует определять в процессе текущего МТО с учетом уровня запаса на момент формирования заявки (см. рис. 3). Фактический уровень запаса для k -го цикла на момент формирования заявки обозначим как $A_{\phi ki}$. Тогда

$$Q_{\phi ki} = A_{Qi} - A_{\phi ki} + A_{\min i}. \quad (9)$$

Эта формула справедлива как для ситуации, когда $A_{\phi ki} > A_{\min i}$, так и для обратной ситуации. Соответственно, если $A_{\phi ki} = A_{\min i}$, то $Q_{\phi ki} = A_{Qi}$.

Основная трудность реализации описанной выше модели заключается в выборе значения уровня риска. Уровень риска должен быть выбран так, чтобы полученные уровни запаса обеспечивали требуемый коэффициент готовности парка конечных изделий при наименьших возможных издержках.

ПРИМЕЧАНИЕ

- (1) В дальнейшем для простоты изложения такое изделие обозначается термином «деталь».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Уайт О.У. Управление производством и материальными запасами в век ЭВМ. — М.: Прогресс, 1978.
- [2] Левин А.И. Судов Е.В., Чубарова Е.В. Методика и имитационная модель для расчета оптимального количества запасных частей, обеспечивающего требуемый уровень коэффициента готовности сложного технического изделия // Надежность. — 2004. — № 1. — С. 64—71.
- [3] Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. — М.: Наука, 1988.

**DEVELOPMENT OF MODEL OF PLANNING
FOR FINANCIAL AND TECHNICAL SUPPORT
OF PROCESSES OF EXPLOITATION
AND MAINTENANCE SERVICE OF PRODUCTS**

V.A. Rogov, A. Djuboori

Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tooling
Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

Main principles for determining optimal stock of spare parts to ensure readiness of the necessary quantity of finished products at the least possible cost.

Key words: material and technical support MTS, analysis of the types, effects and criticality of failures AVPK, maintenance and repair MR.