РАЗДЕЛ 2. **ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ**

Управление запасами запасных частей и принадлежностей методами информационных технологий

к.т.н. Антипенко В.С., Галкин К.В., Шарипова Е.В., Безруков А.В.
МГТУ «МАМИ», МИИТ

В работе предлагается оптимизировать уровень запаса на складе предприятия без использования гипотезы о виде функций плотностей распределения вероятностей и времени в явном виде.

Для обеспечения устойчивости производства, для бесперебойной работы сложных систем, особенно удалённых от баз снабжения, необходимы запасы материальных элементов, а именно: заготовок, инструмента, ремонтных комплектов и т.д. Чтобы обеспечить быструю загрузку железнодорожных составов, необходимо наличие подобных запасов на складах предприятий и тем более баз снабжения всегда имеются запасы материальных ценностей. Запасы пополняются из внешних источников по принятии решений (заявок) об их пополнении. Спрос обычно носит случайный характер, а заявки выполняются со случайным временем задержки. Функции распределения спроса и времени задержки априори произвольны и неизвестны а, зачастую и не унимодальны. В этих условиях естественно воспользоваться современными методами информационных технологий, в частности алгоритмами идентификации.

Пусть система управления запасами характеризуется функцией затрат Z на хранение запаса, доставку, дефицит, и т.п. Управление запасами осуществляется путём выбора стратегии управления. Одной из достаточно эффективных и гибких является (s,S)- стратегия, согласно которой заказ величиной $S-y$ формируется по снижению уровня запаса y ниже уровня s, $s \le S$. Для случайного спроса и нулевой задержки $Z = Z(y(s,S,x))$, где, согласно Ю.И. Рыжикову («Управление запасами»), $(y(s,S,x))$ - текущий уровень запаса, x- случайный спрос, s,S - уровни в (s,S)-стратегии. Тогда критерий оптимальности системы J должен быть некоторой усредненной функцией от затрат Z:

$$J(s,S) = M_X\{F \cdot Z(y(s,S,x))\} \to \min \qquad (1)$$

Применяя к (1) один из методов информационных технологий, метод стохастической аппроксимации, получаем самосогласованную систему адаптивных алгоритмов:

$$\begin{aligned} S[p+1] &= S[p] - \gamma(s[p+1]) \cdot fs\nabla sF(Z(y(s[p],S[p],x[p+1]))), \\ s[p+1] &= s[p] - \gamma(s[p+1]) \cdot fs\nabla sF(Z(y(s[p],S[p],x[p+1]))), \end{aligned} \qquad (2)$$

$$f_a = \begin{cases} 1, S > s+a \\ 0, S \le s+a \end{cases} \qquad f_S = \begin{cases} 1, S > s+a & \text{и} \quad s > b \\ 0, S \le s+a & \text{и} \quad s \le b \end{cases}$$

где: $\nabla\alpha$ - градиент по α; $\gamma_\alpha[p+1]$ коэффициенты; f_α, f_S- функции, учитывающие ограничения на s и S.

Предполагается, что функции F и Z дифференцируемые (о производной $\partial y/\partial s$ см. пример), в противном случае возможно применение поисковых алгоритмов. Достаточные условия сходимости (2) приведены в многочисленных монографиях по методам стохастической аппроксимации.

В процессе вычисления в (2) необходимо знать явный вид функции *y(s,S,x)* для нахождения производных по s и S. Запишем уравнение, моделирующее динамику запасов и использующее для управления *(s,S)*-стратегию. Известно, что в рамках *(s,S)*-стратегии при $y \ge s$ система не реагирует на спрос, а при $y < s$ посылается заказ на пополнение запаса в размере *(S-y)*, который при нулевой задержке поступает «мгновенно» на склад. Этой моделью можно пользоваться, если время доставки заказа на склад меньше интервала времени между двумя заявками, что вытекает из предлагаемого ниже метода учета задержки. Неудовлетворенные заявки не покидают систему, а ждут, пока дефицит запаса не будет устранен очередным заказом. Все исследование проводится для дискретного спроса.

Перенумеруем заявки по мере поступления в систему. Можно считать, что их число бесконечно. Выполняется очевидное отношение:

$$y_k(x[i]) = y_{k-1}(x[\eta_{k-1}]) + (S - y_k(x[i])\text{sgn}(s - y_k(x[i])) - x[i]), \tag{3}$$

где: $i = 1, 2, 3, \ldots,$

$y_0(x([\eta_0]))$ – начальный уровень запаса

$$y_k(x[i]) \equiv y(s, S, x[i]); \text{sgn } \beta = \begin{cases} 1, & \beta > 0, \\ 0, & \beta \le 0, \end{cases}$$

где: k – номер периода по порядку;

η_k – номер последней заявки в k-м периоде, определяющийся из условия:

$$\text{sgn}(s - y_k(x[i]) - x[i]) = 1 \to i = \eta_k$$

Следует отметить, что в формулах (1)-(3) время не встречается в явной форме. Зависимость от времени существенна для объектов, функции затрат которых изменяются за рассматриваемый промежуток времени. Последние в статье не обсуждаются. Как правило, вид функции затрат для объектов машиностроения не изменяется за время оптимизации. Ради определенности будем оптимизировать запасы необработанных деталей или инструмента для машиностроительного предприятия.

В самом деле, на складе важен уровень запаса, а не время поступления заявок. В системе с мгновенными поставками дефицит возможен только при $s < 0$. Если в системе существует задержка, то и при $s > 0$ может появиться дефицит. В этом случае при получении исходной информации и уравнения аналогичного (3), можно обойтись в алгоритмах без использования времени в явной форме, несмотря на то, что задержки имеют смысл промежутка времени. При моделировании динамики уровня запаса учтем случайную задержку через случайное количество заявок, приходящих в течение этого промежутка времени. Как отмечалось, принять во внимание задержку можно лишь при поступлении заявок во время задержки, в противном случае пригодна для описания процесса управления запасами более простая математическая модель с «мгновенной» поставкой. При таком подходе удается отказаться от хронометрирования изменения уровня у, что существенно снижает трудоемкость получения исходной информации. Нужны лишь данные о величине и очередности отдельных заявок, а не об их временном распределении. Сведения о величине и очередности заявок в рассматриваемом примере устанавливались по отчетным документам. Здесь в принципе возможен неоднозначный подход в учете потерь за счет того, что в одном случае может поступить t_0 заявок во время задержки, а задержка заказа составит t_0 единиц времени; в другом случае при t_0 заявок времени задержки будет $\alpha \cdot t_o$ единиц времени, $\alpha \ge 0$. Указанную неоднозначность можно устранить при получении исходной информации описанным ниже способом. По отчетам устанавливается длительность простоя $t_n > 0$, которая может возникнуть только в течение задержки при $s > 0$. Допустим, величина штрафа за простой у потребителя равна $\psi(t_n)$, величина штрафа за дефицит в объеме δ для склада – $\delta(\partial)$. Тогда, определяя δ_O из условия $d(\delta_O) = \psi(t_n)$, $\delta_O = d^{-1}\psi(t_n)$ и рассматривая δ_O в качестве дополнительной заявки в конце данной задержки, получим соотношения, в которых время не фигурирует и явном виде. Если исследуется только склад и влияние дефицита на потери у потребителя не известно, то δ_O не возникает. При таком подходе время простоя пересчитывается на величину дополнительной заявки в объеме δ_O и добавляется к потерям из-за дефицита на складе.

Учитывая изложенное, запишем соотношение, моделирующее динамику уровня запаса при наличии случайной задержки:

$$
\begin{aligned}
& y(m_k, x[i]) = y(m_{k-1}, x[\eta_{k-1}]) + \\
& + \delta_i^{\eta_k} \cdot \sum_{j=\eta_{k-1}+2}^{i-1} (S - y(m_k, x[i])) \cdot [\operatorname{sgn}(s - y(m_k, x[i])) - \operatorname{sgn}(s - y(m_k, x[i-1]))] + \\
& + (S - y(m_k, x[\eta_{k-1}+1])) \cdot \operatorname{sgn}(s - y(m_k, x[\eta_{k-1}+1])) \cdot \delta_i^{\eta_k} - x[i]
\end{aligned}
\tag{4}
$$

где: $y(m_k, x[i]) \equiv y(s, S, m_k, x[i])$ – уровень запаса в *k*-м периоде;

m_k -задержка в *k*-м периоде (случайное количество заявок в течение времени задержки).

Таким образом, соотношения (2), (3) дают решение задачи для случайного спроса и нулевой задержки, (2)-(4) – для случайного спроса и ненулевой задержки. Так как методы с использованием первой производной (градиента) являются необходимым условием экстремума, то будем сравнивать значения критерия в процессе вычисления *s[p], S[p]* для различных *p*. Для функционала (1) воспользуемся алгоритмом типа (2):

$$
J_e[p] = J_{e-1}[p] + \frac{1}{p}\{F(Z(y(s[p], S[p], x[e]))) - J_{e-1}[p]\},
\tag{5}
$$

где: $J_e[p] = J_e(\ s[p], S[p])$.

В качестве примера рассматривалась задача оптимизации уровня запаса полуфабриката (РС14БТ) для конвейера и инструмента (сверло 3,3 мм) для станков завода автототракторного электрооборудования. Результаты вычислений сведены в таблицу.

Номинал	Реле РС14БТ	Сверло
Номинальные уровни и потери	$S_O = 384$, $S_O = 3114$, $I_O = 222$	$S_O = 250$, $S_O = 450$, $I_O = 319$
Оптимальные уровни и потери	$S_{ОПТ} = 234$, $S_{ОПТ} = 3287$, $I_{ОТТ} = 146$	$S_{ОПТ} = 139$, $S_{ОПТ} = 388$, $I_{ОТТ} = 275$
Выигрыш к начальным данным, %	34	27

При вычислении учитывались затраты на хранение *h(r)* = $b_1$rsgn, организацию заказа *c(r)* = $b_2$rsgn, дефицита *d(-r)* = $b_3$rsgn; b_1, b_2, b_3= const > 0. Соответствующие стоимостные функции – кусочно линейные. Последнее не является принципиальным ограничением и обусловлено особенностью рассматриваемых объектов. Вопрос о стоимостных функциях, их структуре и методах получения выходит за рамки настоящей работы. Для рассматриваемого примера можно привести следующие пояснения, не претендующие на полноту освещения вопроса:

а) в функцию *c(r)*входят, в частности, транспортные расходы, так как сырье и инструмент доставлялись на склад за счет рассматриваемого предприятия;

б) функция *d(-r)* отражает наценку за экстренные поставки по более высокой цене при возникновении дефицита.

В предлагаемой постановке удается получить решение задачи управления запасами со случайным временем задержки и случайным спросом, причем:

1) отпадает необходимость в учете распределения заявок по времени, что существенно сокращает трудоемкость сбора информации и дальнейших вычислений;

2) количество стоимостных функций можно увеличить, не меняя схемы решения;

3) можно решать задачи и с нелинейными стоимостными функциями;

4) можно использовать и другие стратегии управления запасами, для чего нужно соответствующим образом модифицировать (3) или (4);

5) использование адаптивного подхода освобождает от необходимости предварительной обработки информации с целью установления функции плотности распределения вероятностей в аналитическом виде, позволяет получать решения в более широком классе функций по сравнению с аналитическим подходом, приводит к оптимальным решениям при ма-

лом объеме информации, что важно в промышленности, когда функционирование систем в режиме, далеком от оптимального, обходится не дешево; удобно для применения ЭВМ, так как решение получается в виде рекуррентных соотношений.

Выводы

Таким образом, использование современных информационных технологий и методов теории идентификации позволяет существенно снизить уровень материальных средств, выведенных из оборота запасов, и повысить эффективность и конкурентоспособность изделий машиностроения, автотракторостроения и других отраслей народного хозяйства.

Влияние легирования и структурного состояния на термоэмиссию и жаропрочность ниобия

д.т.н., проф. Арзамасов В.Б., к.т.н., доц. Смирнова Э.Е., Строев А.А., Полунов И.Л.
МГТУ «МАМИ»

В работе приведены данные влияния легирования и термической обработки на структурное состояние, длительную прочность и термоэмиссию сплавов на основе ниобия. Показано, что максимальная жаропрочность многокомпонентного сплава ниобия достигается после закалки с 1750ºС и старения при 1100÷1200ºС, при этом работа выхода электрона сохраняет стабильные значения.

Для электродных материалов, работающих в вакууме или в парах щелочных и щелочноземельных металлов, а также в контакте с ядерным горючим под нагрузкой при температурах до 1300ºС представляют интерес сплавы ниобия, легированные переходными металлами IVA-VIA групп и углеродом [1,2].

Высокие и стабильные значения основных характеристик этих сплавов – термоэмиссии и жаропрочности – обеспечиваются не только легированием, но и соответствующим структурным состоянием.

В настоящей работе приводятся результаты исследования термоэмиссионных и жаропрочных свойств сплавов ниобия в литом, деформированном и термообработанном состояниях.

Сплавы ниобия систем Nb-C, Nb-Me и Nb-Me-C, где Me – легирующие металлы лабораторной выплавки, были получены методом двойного вакуумнодугового переплава с расходуемым электродом. Плавка осуществлялась в медном водоохлаждаемом тигле с кристаллизацией слитка на специальной затравке из ниобия. Полученные слитки обтачивались с поверхности до диаметра 48 мм, а их вес составлял от 3 до 5 кг.

Затем следовал отжиг по режиму 1500ºС в течение 3-х часов для снятия внутренних напряжений и частичной гомогенизации структуры.

Прессование слитка на пруток проводилось на 600-тонном прессе с предварительным подогревом до 1500-1700 ºС на установке ТВЧ в токе аргона. Для уменьшения окисления и газонасыщения при нагреве слитки обмазывались стеклографитовой смазкой.

Пруток, полученный в результате экструзии, имел диаметр 15 мм, и из него изготавливали образцы для исследований.

Многокомпонентные сплавы системы Nb-Mo-Ti-Zr-C выплавлялись в полупромышленных условиях по несколько отличной технологии. Первый переплав указанных сплавов был осуществлен в электроннолучевой печи, следующий – в электродуговой вакуумной печи. Полученные слитки подвергались горячему прессованию с диаметра 90 мм до диаметра 50 мм, а затем – пруток диаметром 15 мм, из которого также изготавливались образцы для исследований.

Химический состав исходных материалов, использованных при выплавке сплавов ниобия приводится в табл. 1, полученных сплавов – в табл. 2

В литом состоянии все сплавы ниобия имели крупнозернистую структуру с редкими выделениями второй фазы, которая по данным электронографического анализа оказалась гексагональным карбидом Nb_2C. Увеличение содержания углерода до 0,24 % в сплаве с