

Раздел IV. Морская робототехника

УДК 629.198

И.В. Лысенко, А.И. Птушкин, Б.В. Соколов

СИНТЕЗ КОМПЛЕКТА ЗИП СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПОЗИЦИЙ ГОЛОВНОГО РАЗРАБОТЧИКА*

Целью исследования является расширение аналитических возможностей методик синтеза ЗИП сложных технических объектов. Предложена методика синтеза ЗИП, основанная на применении метода динамического программирования. Ее аналитические возможности и другие, полезные для головного разработчика особенности иллюстрируются численным примером.

Сложный технический объект; синтез комплекта ЗИП; головной разработчик; динамическое программирование.

I.V. Lisenko, A.I. Ptushkin, B.V. Sokolov

COMPLICATED TECHNICAL OBJECTS COMPLEX SYNTHESIS FROM THE POINT OF VIEW HEAD DEVELOPER

This paper proposes dynamic programming-based spares synthesis technique. A is proposed to increase analytical powers of prime development contractor for take well-founded corrective spares decision in case of need. Numerical experiment illustrate these and also others technique useful features.

Compound technical object; spares synthesis; prime development contractor; dynamic programming.

Существующие в настоящее время методики синтеза оптимальных комплектов ЗИП обладают одним существенным недостатком: в результате их применения получаются «точечные» решения прямой или обратной задачи для каждого изделия, входящего в состав сложного технического объекта (СТО). Совокупность таких решений не только не гарантирует оптимальность использования денежных средств на комплектование ЗИП СТО, но и не позволяет главному разработчику принять обоснованное решение по корректировке комплектов ЗИП, предложенных разработчиками отдельных изделий (оборудования).

После определения коэффициента готовности СТО при наличии комплектов ЗИП оборудования, предложенных их разработчиками, перед главным разработчиком может возникнуть необходимость решения следующих задач.

Если коэффициент готовности СТО – k_r равен требуемому значению – $k_{r\text{тр}}$, то далее выясняется, нельзя ли его обеспечить комплектом ЗИП меньшей стоимости. Если $k_r > k_{r\text{тр}}$, то решается задача определения комплекта ЗИП минимальной стоимости, который обеспечит требуемое значение коэффициента готовности. Если

* Исследования по рассматриваемой тематике проводились при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (гранты 09-07-00066, 10-07-00311, 09-07-11004-ано), Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект № О-2.3/03).

$K_r < K_{гр}$, то выясняется возможность обеспечения требуемого коэффициента готовности другим комплектом ЗИП с минимальным увеличением его стоимости.

Ответы на эти вопросы могут быть получены в результате решения задач синтеза оптимального комплекта ЗИП, основанного на применении метода динамического программирования, который позволяет получить вместо «точечных» решений для отдельных изделий спектр решений как прямой, так и обратной задачи оптимального комплектования ЗИП СТО в целом.

1. Постановка задачи. Задача синтеза оптимального комплекта ЗИП формулируется следующим образом.

Дано:

N – количество образцов оборудования, каждому из которых присвоен индекс $j = \overline{1, N}$; n_j – количество групп однотипных элементов, подлежащих замене в случае их отказа, каждой из которых присвоен индекс $i = \overline{1, n_j}$; T_{0ij} – среднее время безотказной работы ij -ой группы однотипных элементов; T_{vij} и T'_{nij} – среднее время восстановления j -го оборудования в случае отказа элемента i -го типа при наличии ЗИП и при отсутствии ЗИП соответственно; λ_{ij} – интенсивность отказов элементов ij -го типа,

ℓ_{ij} и C_{ij} – их количество и стоимость соответственно.

$$\text{Найти } \vec{m}^\circ \in \text{Arg max}_{\vec{m}} \prod_{j=1}^N K_{rj}(\vec{m}_j, \vec{c}_j) \quad (1)$$

$$\text{при условии } \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} m_{ij} c_{ij} \leq C, \quad (2)$$

где m_{ij} – количество элементов запаса i -го типа j -го оборудования; K_{rj} – коэффициент готовности j -го оборудования; C_j – стоимость комплекта ЗИП j -го оборудования;

$$\vec{m}^\circ = [\vec{m}_1^\circ, \dots, \vec{m}_j^\circ, \dots, \vec{m}_N^\circ]^T; \vec{m}_j^\circ = [m_{1j}^\circ, \dots, m_{ij}^\circ, \dots, m_{n_j j}^\circ]^T.$$

Так как функциональные зависимости, с которыми мы имеем дело в данных задачах являются сепарабельными, то для их решения целесообразно применить метод динамического программирования [1].

Решение этой задачи будем проводить в два этапа. На первом этапе определим функции $K_{rj}(\vec{m}_j, \vec{c}_j)$. Для этого нужно будет решить задачу:

$$\text{найти: } \vec{m}_j^\circ \in \text{Arg max}_{\vec{m}_j} \prod_{i=1}^{n_j} K_{rij}(\vec{m}_{ij}) \quad (3)$$

$$\text{при условии } \sum_{i=1}^{n_j} m_{ij} c_{ij} \leq C_j, \quad (4)$$

Решение задачи (3 - 4) позволяет построить образы множества Парето в пространстве параметров $K_{rj}(\vec{m}_j^{\circ}) - C$, т. е. дискретные функции $K_{rj}(C_j(\vec{m}_j^{\circ}))$, знание которых позволяет перейти к решению задачи второго этапа: определению оптимального распределения средств на комплектование ЗИП по видам оборудования СТО. Эта задача формулируется следующим образом.

$$\text{Найти } \vec{D}^{\circ} \in \text{Argmax}_{\vec{D}} \prod_{j=1}^N K_{rj}(C_j) \quad (5)$$

$$\text{при условии } \sum_{j=1}^N C_j^{\max} \leq C, \quad (6)$$

где $\vec{D} = [C_1, C_2, \dots, C_N]^T$.

Рассмотрим алгоритмы решения этих задач методом динамического программирования.

2. Алгоритм решения задачи (3-4). Для первого шага функциональное уравнение Беллмана имеет вид

$$K_{r1j}(\xi_{1j}) = \max_{m_{1j}} K_{r1j}(m_{1j}). \quad (7)$$

Для последующих шагов вычислений используется рекуррентное соотношение

$$K_{rij}(\xi_{ij}) = \max_{m_{ij}} \{K_{rij}(m_{ij}) \cdot K_{r(i-1)j}(\xi_{ij} - C_{ij} m_{ij})\}, i = \overline{2, n_j}, \quad (8)$$

$\xi_{ij} = 0, \Delta \xi_{ij}, 2\Delta \xi_{ij}, \dots, \xi_{ij}^{\max}, \Delta \xi_{ij} = \Delta C$ – шаг решения задачи, определяющий точность ее решения.

Для каждого ξ_{ij} вычисляются максимальные значения коэффициента готовности i групп однотипных элементов j -го оборудования и соответствующие им условно-оптимальные значения количества запасных элементов i -ой группы

$$\tilde{m}_{ij}(\xi_{ij}) \in \text{Argmax}_{m_{ij}} K_{rij}(m_{ij}) \cdot K_{r(i-1)j}(\xi_{ij} - C_{ij} m_{ij}), \tilde{m}_{n_j j}(C_j) = m_{n_j j}^{\circ}.$$

Оптимальное количество ЗИП для остальных групп однотипных элементов определяется в результате обратного хода по формуле

$$m_{(n_j-k)j}^{\circ} = \tilde{m}_{n_j j}(\xi_{(n_j-k)j} = C_j - \sum_{\ell=1}^{k-1} m_{(n_j-\ell)j}^{\circ} \cdot C_{(n_j-\ell)j}), k = \overline{1, n_j - 1}.$$

3. Алгоритм решения задачи (5 - 6). Для первого шага алгоритма решения этой задачи функциональное уравнение Беллмана имеет вид

$$K_{r1}(\xi) = K_{r1}(\xi), \quad \xi = 0, \Delta \xi, 2\Delta \xi, \dots, C. \quad (9)$$

Для последующих шагов вычислений используется рекуррентное соотношение

$$K_{rj}(\xi) = \max_{C_j \in B_j} \{K_{rj}(C_j) \cdot K_{r(j-1)}(\xi - C_j)\}, j = \overline{2, N}, \quad (10)$$

На последнем шаге условно-оптимальное значение $\tilde{C}_N(C) = C_N^\circ$. Выполнив операции обратного хода, находим $C_{N-1}^\circ, C_{N-2}^\circ \dots C_1^\circ$. Затем для каждого C_j , используя результаты решения задачи (3-4), также выполняем операции обратного хода и находим

$$\overline{m}_j^\circ = [m_1^\circ, m_2^\circ, \dots, m_i^\circ, \dots, m_n^\circ]^\top \text{ и в итоге } \overline{m}^\circ.$$

Результаты решения задач удобно представить графически. Для примера на рис. 1, а,б,в представлены результаты решения задачи (3-4), на рис. 1, г – задачи (5-6) для объекта, имеющего оборудование трех наименований, каждое из которых имеет три группы однотипных элементов.

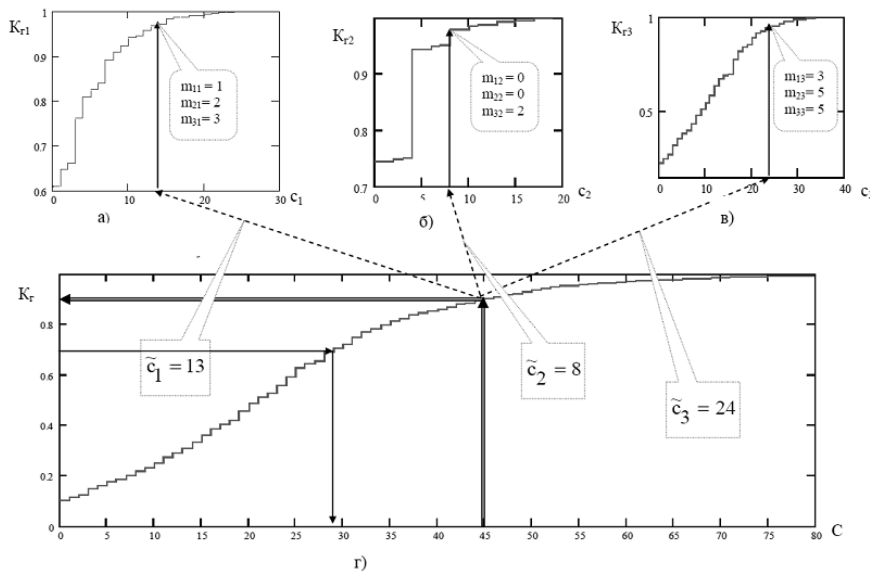


Рис. 1

В заключение отметим полезные особенности предложенной методики, выгодно отличающие его от других методов расчета ЗИП.

Во-первых, возможность получения спектра решений позволяет обосновать необходимую стоимость комплекта ЗИП. Во-вторых, комплект ЗИП формируется в интересах получения оптимального значения стоимости всего комплекта ЗИП СТО. В-третьих, методика гарантирует нахождение абсолютного, а не локального экстремума, если задача многоэкстремальна и, кроме того, позволяет найти все множество решений задачи, при которых имеет место один и тот же экстремум. И в четвертых, возможно распараллеливание вычислений, что может оказаться чрезвычайно полезным при решении крупномасштабных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования: пер. с англ. / Под ред. А.А. Первозванского. – М.: Изд-во "Наука", 1965.

Лысенко Игорь Васильевич

Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН.

E-mail: ilys@ias.spb.su.

199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39.

Тел.: 88123283257; факс: 88123284450.

Птушкин Анатолий Иванович

E-mail: a.ptushkin@yandex.ru.

Соколов Борис Владимирович

E-mail: sokol@ias.spb.su.

Lysenko Igor Vasilievich

Institution of the Russian Academy of Sciences St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS (SPIIRAS).

E-mail: ilys@ias.spb.su.

14-th Line, 39, Saint-Petersburg, 199178, Russia.

Phone: 88123283257; fax: 88123284450.

Ptushkin Anatoly Ivanovich

E-mail: a.ptushkin@yandex.ru.

Sokolov Boris Vladimirovich

E-mail: sokol@ias.spb.su.

УДК 621.865.8-182.3

В.Х. Пшихопов, С.Я. Суконкин, Д.Ш. Нагучев, В.В.Стракович,

М.Ю. Медведев, Б.В. Гуренко, В.А. Костюков, Ю.П. Волощенко

**АВТОНОМНЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ «СКАТ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАИЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

В данной работе рассматривается проект автономного подводного аппарата для задач поиска и обнаружения заиленных объектов. В качестве носителя используется подводный аппарат торпедообразной формы с одним движителем. Предлагается система управления, включающая векторный регулятор и нелинейный наблюдатель. Для отработки систем управления предлагается программный комплекс моделирования движения подводных аппаратов. В качестве спецагрузки используется профилограф.

Автономный подводный аппарат.

V.Kh. Pshikhopov, S.J. Sukonkin, D.S. Naguchev, V.V. Strakovich,

M.Yu. Medvedev, B.V. Gurenko, V.A. Kostjukov, J.P. Voloshchenko

**AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE "SKAT" FOR SEARCH AND
DETECTION SILTY OBJECT TASKS**

In the given work the project of an autonomous underwater vehicle for search and detection silty object tasks is considered. As the carrier the underwater vehicle torpedo-like forms with one propeller is used. The control system including a vector regulator and the nonlinear observer is offered. To check of efficiency of control systems the program for modelling of movement of underwater vehicles is used. In quality work load the profilograph is used.

An autonomous underwater vehicle

Введение. Современные подводные аппараты способны выполнять широкий круг задач, в который входят экологический и климатический мониторинг, океа-