РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.85

Анатолий Косолап, Алена Довгополая

ОПТИМИЗАЦИЯ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСАХ НА ИХ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Анатолій Косолап, Альона Довгопола

ОПТИМІЗАЦІЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСАХ НА ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Anatoliy Kosolap, Alona Dovgopola

OPTIMIZATION OF RELIABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS WITH LIMITED RESOURCES FOR THEIR SERVICE

Рассмотрена задача оптимизации надежности сложных технических систем при ограниченных ресурсах на их обслуживание. Приведена новая оптимизационная постановка задачи, которая является многоекстремальной. Мы предлагаем метод точной квадратичной регуляризации для решения оптимизационной задачи. Множество численных примеров показывают более высокую эффективность методом квадратичной регуляризации.

***Ключевые слова:** метод точной квадратичной регуляризации, многоэкстремальные задачи, оптимизация, надежность сложных систем.*

Табл.: 1. Библ.: 5.

Розглянуто задачу оптимізації надійності складних технічних систем при обмежених ресурсах на їх обслуговування. Наведено нову оптимізаційну постановку задачі, яка є багатоекстремальною. Ми пропонуємо метод точної квадратичної регуляризації для розв'язання оптимізаційної задачі. Безліч численних прикладів показують більш високу ефективність методу точної квадратичної регуляризації.

***Ключові слова:** метод точної квадратичної регуляризації, багатоекстремальні задачі, оптимізація, надійність складних систем.*

Табл.: 1. Бібл.: 5.

In paper we consider a problem of optimization of reliability of complex technical systems with limited resources for their service. We offer a method exact quadratic regularization for the solution of this optimizing problem. Many computational examples are provided to show the effectiveness of the proposed method.

***Key words:** exact quadratic regularization methods, multiextremal problems, optimization, reliability of complex systems.*

Fig.: 1. Bibl.: 5.

Введение. Проектирование сложных систем предъявляет значительные требования к их надежности. Особенно роль надежности возросла в последние годы из-за создания сложных технических систем, которая зависит от надежности большого количества взаимосвязанных компонентов. Создание дорогостоящих систем, в первую очередь автоматизированных систем управления различными объектами народного хозяйства, выполняющими ответственейшие функции, непременно предполагает тщательную проработку вопросов надежности на всех этапах, начиная от проектирования и производства и кончая испытаниями и эксплуатацией различных систем [1]. Построение множества современных сложных систем привело к необходимости разработки новых специфических математических методов оптимизации надежности таких систем.

В качестве примера рассмотрим процедуру задания требований по надежности для системы, которая функционирует в течение заданного времени и характеризуется периодами работы и ее восстановления. Количественное задание требований или предварительное определение норм надежности как для изделий вновь создаваемых, так и для изделий уже выпускаемых промышленностью составляет одну из важнейших частей при выработке технических требований [2]. Повышение надежности систем, как и улучшение прочих технических характеристик, связано с тем или иным образом с увеличением затрат на производство этих систем. Таким образом, обоснованное задание требований по надежности подразумевает оптимальное распределение средств между компонентами сложной системы.

С точки зрения обоснования требований по надежности технические системы можно разбить на два основных класса [3]. К первому классу относятся все системы, у которых и полезный эффект, и убытки из-за отказов могут быть непосредственно измерены в стоимостных единицах. Для таких систем строго обоснованное задание требований по надежности возможно.

Ко второму классу следует отнести системы, использование которых не приводит непосредственно или даже косвенно к получению материальных выигрышей (например, системы безопасности движения пассажирского транспорта, системы вооружения, медицинская аппаратура и пр.) или, во всяком случае, отказ которых приводит не только к материальным убыткам, а ущербу иной природы. Для этих систем построение математических моделей представляет сложную проблему. В работе будет рассмотрен первый класс технических систем

Постановка задачи и метод ее решения. Рассмотрим систему, которая характеризуется средним временем безотказной работы Т и средним временем восстановления (ремонт, замена частей, наладка и пр.) τ. Предположим, что за единицу полезного времени система приносит доход $\tilde{n}_{\grave{O}}$, а единица времени простоя обходится в $\tilde{n}_{\tau}$. Пусть система функционирует в течение периода времени V (такое ограничение всегда существует в силу физического или морального старения техники). Тогда в течение времени использования системы V доход от ее функционирования составит величину:

$$C = \frac{V}{T+\tau}\left(c_T T - c_\tau \tau\right),$$

где $V/(\grave{O}+\tau)$ − среднее число циклов «работа-простой» в течении всего периода эксплуатации изделия, а выражение в скобках – средний доход от системы минус затраты на ремонт в течении одного цикла. Доход от функционирования системы можно увеличить, если вложить средства в уменьшение величин Т и τ.

Предположим теперь, что нам известны функции $\mathrm{T}(c_1)$ и $\tau(c_2)$, показывающие, как увеличивается среднее время безотказной работы и как уменьшается среднее время простоя системы в зависимости от средств, вкладываемых на повышение надежности. Тогда для системы следует выбрать такие значения Т и τ, которые максимизировали бы результирующий доход от ее эксплуатации, т.е.

$$\max\left\{\frac{V}{\mathrm{T}(c_1)+\tau(c_2)}\left[c_\mathrm{T}\mathrm{T}(c_1) - c_\tau\tau(c_2)\right] - c_1 - c_2 \mid c_1 + c_2 \le c_0, c_1 \ge 0, c_2 \ge 0\right\},$$

где необходимо найти c_1 − затраты на увеличение Т и c_2 − затраты на уменьшение τ, c_0 – допустимые затраты. В дальнейшем заменим величину

$$\frac{V}{T(c_1)+\tau(c_2)},$$

которая может не целым числом, фиксированным количеством периодов «работа-простой».

На практике имеют дело с множеством изделий, образующих сложную техническую систему с несколькими подсистемами. Тогда задача сводится к нахождению условного оптимума вида

$$\max\sum_{i=1}^{n}\left\{\sum_{j=1}^{p}\left[c_{\mathrm{T}ij}\mathrm{T}_i\left(c_{1ij}\right) - c_{\tau ij}\tau_i\left(c_{2ij}\right)\right] - c_{1ij} - c_{2ij}\right\} \tag{1}$$

при ограничении

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\left(c_{1ij}+c_{2ij}\right)\le c_0, \tag{2}$$

где p – число периодов «работа-простой»; n – общее количество типов изделий.

Вычислительная сложность решения этой задачи обуславливается тем, что n обычно является большим. Целевая функция (1) является невыпуклой, так как зависит от разности двух монотонных функций, а это порождает многоэкстремальность в задаче (1) – (2). Будем предполагать, что все функции $T_i(c_{1ij})$ и $\tau_i(c_{2ij})$ определены. В частности, среднее время безотказной работы i-го изделия можно однозначно определить, вычислив его вероятность безотказной работы. Для этого необходимо решить последовательность задач

$$\max\{R_i(c_i)\,|\,c_i\le c\},$$

где R_i – вероятность безотказной работы, c_i – ресурс, затрачиваемый на обеспечение надежности i-го изделия, который не должен превосходить величину c.

Определим функции $T_i(c_{1ij})$ и $\tau_i(c_{2ij})$ в виде

$$T_{ij}\left(c_{1ij}\right)=a_{ij}\ln\left(c_{1ij}+2\right);$$

$$\tau_{ij}\left(c_{2ij}\right)=b_{ij}\ln\left(c_{2ij}+2\right),$$

тогда целевая функция (1) примет вид

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}(\left[c_{T_i}a_{ij}\ln(c_{1ij}+2)-c_{\tau_i}b_{ij}\ln\left(c_{2ij}+2\right)\right]-c_{1ij}-c_{2ij}), \tag{3}$$

где n – количество подсистем; p – число периодов «работа-простой»; c_{T_i} – доход i-й подсистемы; T_{ij} – время безотказной работы i-й подсистемы в j-м периоде; c_{1ij} – затраты на увеличение T_{ij}; c_{τ_i} – затраты i-й подсистемы; τ_{ij} – время на ремонт i-й подсистемы в j-м периоде; c_{2ij} – затраты на уменьшение времени на ремонт τ_{ij}.

Для решения задачи (2)-(3) используем метод точной квадратичной регуляризации, с помощью которого задача (2) − (3) преобразуется к виду [4]:

$$\max\{\|c\|^2\,|-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\left[\left(c_{\mathrm{T}i}\mathrm{T}_{ij}\left(c_{1ij}\right)-c_{\tau i}\tau_{ij}\left(c_{2ij}\right)\right)-c_{1ij}-c_{2ij}\right]+s+(r-1)\|c\|^2\le d,$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\left(c_{1ij}+c_{2ij}\right)\le c_0, c_{1ij}\ge 0, c_{2ij}\ge 0, \forall ij\}, \tag{4}$$

где s – фиксированный параметр, а значение r > 0 выбирается таким, чтобы допустимая область задачи (4) была выпуклой. Компонентами вектора c являются затраты на увеличения времени безотказной работы каждого изделия системы и стоимости восстановления каждого изделия, а также вспомогательной переменной $c=(c_{11},...,c_{1n},c_{21},...,c_{2n},c_{2\cdot n+1})=(\overline{c},c_{2\cdot n+1})$. Оптимальные значения компонент этого вектора необходимо определить. В задаче (4) необходимо найти минимальное значение переменной d > 0, для которой выполняется условие

$$r\,\|\,c\,\|^2=d, \tag{5}$$

где ||c|| − означает евклидовую норму вектора c. Значение d находим методом дихотомии. При каждом фиксированном значении d, задача (4) решалась прямо-двойственным методом внутренней точки [5]. При увеличении переменной d значение левой части равенства (5) растет. Поэтому на каждой итерации увеличиваем значение d=d+h и решаем задачу (4). Затем определяем разность $r\,\|\,c\,\|^2-d$, если она меньше нуля, то снова увеличиваем d, если больше нуля, то уменьшаем значение d. Чем меньше эта разность, тем меньше шаг изменения h переменной d. Фиксированный параметр s должен удовлетворять условию

$$s \geq \| \overline{c}^* \|^2 - f(\overline{c}^*), \qquad (6)$$

где $f(\overline{c}^*)$ – целевая функция (3), $c^* = (\overline{c}^*, c^*_{2\cdot n+1})$ – решение задачи (4). Параметр s корректируем на каждой итерации, если он не удовлетворяет условию (6).

Рассмотренная методика решения позволяет решать задачи вида (2) − (3) большой размерности, так как метод точной квадратичной регуляризации использует только локальный поиск и метод дихотомии.

Для решения задач (2)−(3) было разработано программное обеспечение метода точной квадратичной регуляризации и проведены многочисленные эксперименты, которые подтвердили эффективность используемого метода при решении данного класса задач.

Вычисления. Рассмотренный метод точной квадратичной регуляризации реализован в виде компьютерной программы. Были проведены многочисленные эксперименты для системы, состоящей из трех подсистем и работающей в 10 циклах «работа-простой». Некоторые результаты расчетов приведены ниже в табл. 1, где c_0 – допустимые затраты на эксплуатацию системы; c_{T1} – доход от функционирования 1-й подсистемы; c_{T2} – доход от 2-й подсистемы; c_{T3} – доход от 3-й подсистемы; $c_{\tau 1}$ – затраты на восстановление 1-й подсистемы; $c_{\tau 2}$ – затраты на восстановление 2-й подсистемы; $c_{\tau 3}$ – затраты на восстановление 3-й подсистемы; $c_{\max}$ – максимальный результирующий доход от эксплуатации каждой подсистемы (табл.).

Таблица

Результаты расчетов

c_0	c_{T1}	c_{T2}	c_{T3}	$c_{\tau 1}$	$c_{\tau 2}$	$c_{\tau 3}$	$c_{\max}$
2000	40	50	60	10	15	20	1868,9
							3317,7
							3241
2500	50	60	70	15	20	25	2697,7
							4429,3
							4251,2
3500	80	90	100	25	40	50	5565,5
							8259,4
							7658,8

Результаты расчетов показывают, что средства необходимо вкладывать в первую очередь в увеличение срока безотказной работы. Оптимальное вложение средств в увеличение времени безотказной работы зависит от периода эксплуатации. Причем, среднеквадратическое отклонение от среднего было в пределах 10 единиц.

Выводы. В работе приведена новая постановка задачи для нахождения оптимального суммарного дохода от эксплуатации сложной системы посредством вложение средств в увеличение надежности ее подсистем. Построена математическая модель данной задачи. Для решения полученной оптимизационной задачи используется метод точной квадратичной регуляризации, эффективность которого подтверждена многочисленными экспериментами.

Список использованных источников

1. *Ушаков И. А.* Построение высоконадежных систем / И. А. Ушаков. – М. : Знание, 1974. – 64 с.
2. *Базовский И.* Надежность. Теория и практика / И. Базовский. − М. : Мир, 1965. – 373 с.
3. *Козлов Б. А.* Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. − М. : Советское радио, 1975. – 472 с.
4. *Косолап А. И.* Глобальная оптимизация. Метод точной квадратичной регуляризации / А. И. Косолап. – Днепропетровск : ПГАСА, 2015 – 164 с.
5. *Nocedal J.* Numerical optimization / J. Nocedal, S.J. Wright. – Springer, 2006. – 685 p.

References

1. Ushakov, I. A. (1974). *Postroenie vysokonadezhnykh sistem [Building a highly reliable systems].* Moscow: Znanie, 64 p. (in Russian).
2. Bazovskii, I. (1965). *Nadezhnost Teoriia i praktika [Reliability. Theory and practice].* Moscow: Mir, 373 p. (in Russian).
3. Kozlov, B. A., Ushakov, I. A. (1975). *Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki [Handbook on the calculation of the reliability of electronics and automation equipment].* Moscow: Sovetskoe radio, 472 p. (in Russian).
4. Kosolap, A. I. (2015). *Globalnaia optimizatsiia Metod tochnoi kvadratichnoi reguliarizatsii [Global optimization. The method of exact quadratic regularization].* Dnepropetrovsk: PGASA, 164 p. (in Russian).
5. Nocedal, J. (2006). *Numerical optimization*, S.J. Wright. – Springer, 685 p.

Косолап Анатолий Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой специализированных компьютерных систем, Украинский государственный химико-технологический университет (проспект Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина).
Косолап Анатолій Іванович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри спеціалізованих комп’ютерних систем, Український державний хіміко-технологічний університет (проспект Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).
Kosolap Anatoliy – Doctor of Physical and Mathematical Science, Professor, Head of Specialized Computer System Department, Ukrainian State University of Chemical Technology (8 Gagarin Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).
E-mail:anivkos@ua.fm

Довгополая Алена Александровна – аспирант, ассистент кафедры специализированных компьютерных систем, Украинский государственный химико-технологический университет (проспект Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина).
Довгопола Альона Олександрівна – аспірант, асистент кафедри спеціалізованих комп’ютерних систем, Український державний хіміко-технологічний університет (проспект Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).
Dovgopola Alona – PhD student, assistant of Specialized Computer System Department, Ukrainian State University of Chemical Technology (8 Gagarin Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).
E-mail: dovgopolaya09@mail.ru

УДК 004.9

Андрій Акименко, Тарас Бивойно

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕЙТИНГУВАННЯ ВИКЛАДАЧІВ ЧЕРНІГІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Андрей Акименко, Тарас Бивойно

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕЙТИНГОВАНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ЧЕРНИГОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Andrii Akymenko, Taras Bivoyno

AUTOMATED SYSTEM FOR TEACHERS’ RATING IN CHERNIHIVNATIONALUNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Розглянуто автоматизовану систему звітування та оцінювання науково-педагогічного персоналу Чернігівського національного технологічного університету (ЧНТУ). Запропоновано використання рейтингового підходу до оцінювання діяльності викладачів. Враховуючи наявні обмеження, накладені на апаратно-програмне забезпечення, запропоновано використання стандартної архітектури типу «клієнт-сервер» для системи рейтингування викладачів. Висвітлено механізми збору та збереження інформації про діяльність науково-педагогічних працівників, процес формування рейтингової оцінки діяльності викладача, описано архітектуру системи. Досліджено особливості реалізації функцій системи рейтингування, що забезпечують її ефективне супровід.

Ключові слова: *рейтинг, викладач, система рейтингування, оцінювання діяльності, звітування, оцінювання.*
Рис.: 1. Табл.: 1. Бібл.: 3.

Рассмотрена автоматизированная система отчетности и оценки научно-педагогического персонала Черниговского национального технологического университета (ЧНТУ). Предложено использование рейтингового подхода к оценке деятельности преподавателей. Учитывая существующие ограничения, наложены на аппаратно-программное обеспечение, предложено использование стандартной архитектуры типа «клиент-сервер» для системы рейтингования преподавателей. Освещены механизмы сбора и хранения информации о деятельности научно-педагогических работников, процесс формирования рейтинговой оценки деятельности преподавателя, описано архитектуру системы. Исследованы особенности реализации функций системы рейтингования, обеспечивающих ее эффективное сопровождение.

Ключевые слова: *рейтинг, преподаватель, система рейтингования, оценка деятельности, отчетность, оценивание.*
Рис.: 1. Табл.: 1. Библ.: 3.

In the article the automated system for reporting and evaluating scientific-pedagogical personnel Chernihiv National University of Technology (CHNTU). The use of the rating approach to the evaluation of teachers. Due to restrictions imposed on hardware and software architecture offered the use of a standard type of "client-server" system for rating teachers. Deals with mechanisms for collection and preservation of information on the activities of teaching staff, the formation of the rating of the teacher, described the system architecture. The article deals with the peculiarities of function rating system to ensure its effective support.