

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

THE USE OF GLOBAL OPTIMIZATION METHODS IN OPTIMAL CONTROL PROBLEMS

*И.Г. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ, М.Г. БАЛЫХИН, М.М. БЛАГОВЕЩЕНСКАЯ,
З.В. МАКАРОВСКАЯ, М.В. ЖИРОВ, П.М. ШКАПОВ*

*I.G. BLAGOVESCHENSKY, M.G. BALYKHIN, M.M. BLAGOVESCHENSKAYA,
Z.V. MAKAROVSKAYA, M.V. ZHIROV, P.M. SHKAPOV*

(Московский государственный университет пищевых производств,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)
(Moscow State University of Food Productions,
Moscow State Technical University named after N.E. Bauman)
E-mail: babin@mgupp.ru; mmb@mgupp.ru; igbladov@mgupp.ru

В статье рассматривается проблема повышения эффективности управления производственными процессами на предприятии, решение которой заключается в принятии управленческих решений на основе фактически выполненных работ и планируемых результатов, а также в прогнозе возможных отклонений.

Необходимым условием для принятия управленческих решений является выработка корректирующих воздействий на основе использования методов математического моделирования, что предполагает внедрение информатизации, методов глобальной оптимизации и компьютерных технологий.

The article deals with the problem of improving the efficiency of management of production processes in the enterprise, the decision of which is to make management decisions based on the actual work performed and the planned results, as well as the forecast of possible deviations.

A necessary condition for making management decisions is the development of corrective actions based on the use of mathematical modeling methods, which involves the introduction of information, global optimization methods and computer technologies.

Ключевые слова: производственные процессы, повышение эффективности управления, теория управления, многокритериальная задача оптимизации.

Keywords: production processes, increase of management efficiency, management theory, multicriteria optimization problem.

Важный аспект повышения эффективности управления производственными процессами состоит в принятии управленческих решений, основанных на анализе отклонения фактических результатов выполнения работ и достижения запланированных результатов в разнородных направлениях деятельности с выводом о прогнозе

последствий возникающих отклонений и выработкой корректирующих воздействий на основе имеющихся и разрабатываемых моделей производственных, технологических, финансовых, экономических и других процессов, а также оценки статистических данных. Такой анализ должен структурироваться по иерархическому признаку важ-

ности достижения отдельных результатов в движении к общей цели стабильности и роста основных показателей деятельности при выделении приоритетных целей близко-, средне- и долгосрочного характера. Необходимым условием качественной базы для принятия стратегических управленческих решений, например в производственном холдинге, является обеспечение единого методического подхода к разработке математических моделей с выработкой критериев и нормативов эффективности деятельности. Требуется согласование перечня критериев эффективности, оптимальности и их обобщенных интегральных значений, регламентов мониторинга предприятий и циклов работ, их периодичности, унификации и полноты представляемых данных и т.д. Для снижения трудоемкости такого анализа должны использоваться методы математического моделирования, специальные программные продукты и другие способы выделения оптимальных решений на основе обобщенных данных о реальном выполнении производственных планов, инвестиционных программ и других показателей эффективности управления. Решение этих задач предполагает широкое внедрение информатизации [1] и применение методов глобальной оптимизации и компьютерных технологий [2...4], как необходимых инструментов оптимального управления.

Применение методов оптимизации в теории управления ведется давно, и основные пути развития их определены во многих работах [5...8]. Однако в общем случае целевые функции могут иметь ряд особенностей, которые не позволяют применить уже имеющиеся алгоритмы решения оптимизационных задач, либо эти алгоритмы слишком затратны по времени реализации расчетов и чувствительны к исходным данным, необходимым для решения конкретных задач.

Значительное число задач теории управления может быть сформулировано в виде конечномерных оптимизационных задач. К ним, в частности, относятся задачи параметрической идентификации нелинейных детерминированных объектов, задачи иден-

тификации стохастических объектов, задачи синтеза адаптивных систем управления, задачи синтеза статистически оптимальных систем управления. Методы поиска экстремумов целевых функционалов, определенных в конечномерных векторных пространствах, формируют важный раздел алгоритмического обеспечения современной теории управления процессами и объектами различной физической природы. Рассматриваемые экстремальные задачи управления обладают рядом важных свойств, которые необходимо учитывать в процессе решения. К ним, в частности, относятся многоэкстремальность, недифференцируемость. На практике достаточно часто встречаются многокритериальные задачи управления. При наличии нескольких критериев целью оптимизации является поиск множества недоминируемых решений, образующих Парето-оптимальный фронт.

Одним из эффективных методов численного решения многокритериальных задач является векторный вариант метода линеаризации [6]. Следовательно, актуальной задачей является разработка гибридных алгоритмов эффективного решения задач векторной оптимизации с многоэкстремальными негладкими критериями. Постановка скалярной задачи оптимизации системы управления в общем случае предполагает задание: матричного дифференциального уравнения, описывающего поведение объекта управления; функционала, характеризующего качество управления; ограничений на управление, обусловленных лимитированными ресурсами управления; ограничениями на траекторию системы в фазовом пространстве; граничных условий; допустимого программного управления. Предполагается также, что критериальная функция является непрерывной и многоэкстремальной.

Задача оптимизации формулируется так: при заданных управлениях объекта, ограничениях и граничных условиях требуется найти такое программное управление из класса всех допустимых и фазовую траекторию, при которых критериальная функция на решениях уравнений, описывающих поведение объекта, принимает экстремаль-

ное значение. В такой постановке на практике часто встречаются, например, задачи построения оптимального программного управления по критерию минимальных затрат, максимального быстродействия, минимального расхода ресурсов, максимального выхода продукта и др. Также во многих практических случаях необходимо рассматривать одновременно несколько равнозначных критериев качества управления. Это приводит к формулировке многокритериальной задачи оптимизации, где требуется, в частности, одновременно минимизировать несколько критериальных функций. При этом численное решение задачи оптимизации векторного критерия связано с поиском аппроксимации фронта Парето в соответствующем критериальном пространстве. Разработка гибридных методов и алгоритмов, объединяющих стохастический и детерминированный подходы, позволяет эффективно находить приближенное решение многих практических задач глобальной оптимизации [7].

Для эффективного разрешения этих проблем можно применять семейство гибридных алгоритмов глобальной оптимизации, в которых сканирование пространства переменных проводится стохастическим методом, а при локальном поиске в перспективной на глобальный экстремум области используются детерминированные методы. При наличии нескольких критериев целью оптимизации является поиск множества недоминируемых решений, образующих Парето-оптимальный фронт. Высокую

эффективность показывают, например, новые гибридные алгоритмы решения рассматриваемой задачи векторной оптимизации, реализующие вариант метода линеаризации для задач многокритериальной оптимизации [8]. Для каждой функции, представляющей частный критерий или функцию ограничений, вводятся двухпараметрические сглаживающие аппроксимации. Программная реализация каждого алгоритма включает в себя модули ввода исходной информации; модуль, реализующий основной цикл алгоритма; модуль локального поиска методом редукции размерности; модуль вычисления текущего значения частного минимизируемого критерия; модуль формирования фронта Парето; модуль вывода результатов решения. Для определения параметров возмущения на соответствующих шагах алгоритмов используются стандартные встроенные генераторы случайных чисел. С целью получения оценки вычислительных затрат в программном обеспечении во всех случаях предусмотрены счетчики числа обращений к подпрограммам вычисления текущих значений критериальной функции.

Ниже приведены полученные с использованием гибридных алгоритмов результаты решения стандартных эталонных тестовых задач глобальной оптимизации, а также решение стандартной эталонной тестовой задачи векторной оптимизации при наличии многоэкстремальных критериальных функций [8].

Задача 1. Тестовая функция Леви-Монтальво:

$$f(x) = \frac{\pi}{n} \left\{ k \sin^2(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1} \left[(y_i - A)^2 (1 + k \sin^2(\pi y_{i+1})) \right] + (y_n - A)^2 \right\},$$

где $y_i = 1 + 0,25(x_i - 1)$, $-10 \leq x_i \leq 10$, $i = 1, 2, \dots, n$, $k = 10$, $A = 1$ имеет глобальный минимум $f(x) = 0$ при $x_i = 1$, $i = 1, 2, \dots, n$. На рис. 1 показан вид функции в ограниченной области ее определения для случая $n = 2$.

Получено приближенное решение $f(x) \approx 0,374366 \cdot 10^{-5}$ при $x_1 \approx 1,0000118$, $x_2 \approx 1,0015393$.

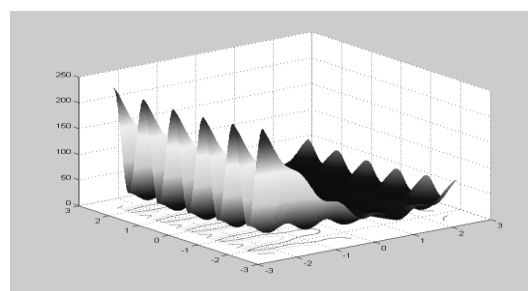


Рис. 1

Задача 2. Тестовая функция:

$$f(x_1, x_2) = (4 - 2,1x_1^2 + (x_1^4/3))x_1^2 + x_1x_2 + (-4 + 4x_2^2)x_2^2, \\ -3 \leq x_1 \leq 3, -2 \leq x_2 \leq 2$$

имеет два глобальных минимума, один из которых определен так: $f(x^*) = -1,03163$ при $x_1^* \approx -0,08983$, $x_2^* \approx 0,71265$. Ранее это решение получено с помощью детерминированного алгоритма TRUST: для стандартной стартовой точки $x_1^0 = 3$, $x_2^0 = 2$, $f(x^0) \approx 0,16290 \cdot 10^3$ потребовалось 109 вычислений текущих значений минимизируемой функции. Применение гибридного алгоритма позволило получить приближенное решение: $x_1^* \approx -0,08984201$, $x_2^* \approx 0,71265641$, $f(x^*) = -1,0316285$.

Изменение значений переменных с возрастанием числа обращений к подпрограмме вычисления значений функции показано на рис. 2.

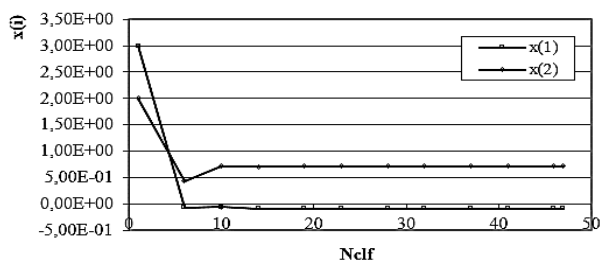


Рис. 2

ВЫВОДЫ

Полученные результаты являются важными составляющими в решении задач оптимального управления технологическими процессами различных производств на основе методов глобальной оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высшая школа, 2005.
2. Черноуцкий И.Г. Методы оптимизации. Компьютерные технологии. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011.
3. Благовещенская М.М., Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Методология разработки основ моделирования и диагностики гидромеханических систем пищевых

производств по их динамическим характеристикам // *Mat. XVII Mezhdunar. nauchn.-metod. konf.*, 11-12 февраля 2010 г., С.-Петербург: – Т.2. – Изд-во Политехн. ун-та, 2010. С.95...98.

4. Sacco W.F., Filho H.A., Henderson N., de Oliveira C.R.E. A Metropolis algorithm combined with Nelder-Mead Simplex applied to nuclear reactor core design // *Annals of Nuclear Energy*. – V. 35, №5, 2008. P. 861...867.

5. Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Глобальная минимизация многомерной целевой функции с использованием гибридного алгоритма PCALMS. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613754. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 июня 2010 г. – Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2010.

6. Gil C., Márques A., Vaños R., Montoya M.G., Gómez J. A hybrid method for solving multi-objective global optimization problems // *Journal of Global Optimization*. – V. 38, № 2, 2007. P. 265...281.

7. Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Минимизация векторной многоэкстремальной целевой функции с использованием гибридного алгоритма V-PCALMS. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616657. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25 августа 2011 г. – Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам, 2011.

8. Sulimov V.D., Shkapov P.M. Hybrid algorithms for multiobjective optimization of mechanical and hydromechanical systems // *Journal of Mechanics Engineering and Automation*. – V. 2, №3, 2012. P. 190...196.

REFERENCES

1. Blagoveshenskaya M.M., Zlobin L.A. Informacionnye tehnologii sistem upravleniya tehnologicheskimi processami. – M.: Vysshaya shkola, 2005.
2. Chernoruckij I.G. Metody optimizacii. Kompyuternye tehnologii. – SPb.: BHV-Peterburg, 2011.
3. Blagoveshenskaya M.M., Sulimov V.D., Shkapov P.M. Metodologiya razrabotki osnov modelirovaniya i diagnostiki gidromehaniческих систем пищевых производств по их динамическим характеристикам // *Mat. XVII Mezhdunar. nauchn.-metod. konf.*, 11-12 fevralya 2010 g., S.-Peterburg: – T.2. – Izd-vo Politehn. un-ta, 2010. S.95...98.
4. Sacco W.F., Filho H.A., Henderson N., de Oliveira C.R.E. A Metropolis algorithm combined with Nelder-Mead Simplex applied to nuclear reactor core design // *Annals of Nuclear Energy*. – V. 35, №5, 2008. P. 861...867.

5. Sulimov V.D., Shkapov P.M. Globalnaya minimizaciya mnogomernoj celevoj funkcii s ispolzovaniem gibridnogo algoritma PCALMS. Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2010613754. Zaregistrovano v Reestre programm dlya EVM 9 iyunya 2010 g. – Federalnaya sluzhba po intellektualnoj sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam, 2010.

6. Gil C., Marques A., Banos R., Montoya M.G., Gomez J. A hybrid method for solving multi-objective global optimization problems // Journal of Global Optimization. – V. 38, № 2, 2007. P. 265...281.

7. Sulimov V.D., Shkapov P.M. Minimizaciya vektornoj mnogoekstremalnoj celevoj funkcii s ispolzovaniem gibridnogo algoritma V-PCALMS. Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya

EVM № 2011616657. Zaregistrovano v Reestre programm dlya EVM 25 avgusta 2011 g. – Federalnaya sluzhba po intellektualnoj sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam, 2011.

8. Sulimov V.D., Shkapov P.M. Hybrid algorithms for multiobjective optimization of mechanical and hydromechanical systems // Journal of Mechanics Engineering and Automation. – V. 2, №3, 2012. P. 190...196.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами. Поступила 07.06.18.
