

Разработка метода робастной оптимизации технологических машин при совместном синтезе параметров и допусков на них

О.В. Аникеева

Юго-Западный государственный университет, Курск

Аннотация: В работе представлено развитие подхода к многокритериальной робастной оптимизации путем разработки метода робастной оптимизации технологических машин при совместном синтезе параметров и допусков на них. Преимуществом предложенного метода является возможность поиска оптимальных решений при отсутствии функциональных зависимостей для единичных показателей качества от входных параметров, имеющих экстремальный характер, но при наличии интуитивных представлений об их наилучших средних значениях.

Ключевые слова: допуск, параметр, синтез, робастная оптимизация, технологическая машина, область оптимальных значений.

Введение

Поиск оптимальных решений при реализации этапов создания и реализации жизненного цикла технологических машин, является основой повышения их качества и конкурентоспособности отечественных отраслей экономики, поэтому является актуальным [1-3].

Рассматривая процессы проектирования, изготовления и эксплуатации технологического оборудования Г. Тагути выделил три основных этапа [4]:

- 1) структурный (функциональный) синтез;
- 2) параметрический синтез;
- 3) синтез допусков;

хотя нашло применение и объединение первых двух этапов – структурно-параметрический синтез.

По количеству публикаций и практическому применению (разработанности этапов) являются математические модели и методы: параметрической оптимизации; структурной оптимизации и оптимизации допусков на параметры. Развитие идей Г. Тагути по выбору режимов эксплуатации технологического оборудования, снижающих разброс

показателей качества выпускаемой на нем продукции, вызвало повышенный интерес к оптимизации допусков при проектировании самих машин [5-7].

Задачи по структурному синтезу, за некоторым исключением [8], используют эвристические и поисковые алгоритмы.

Метод робастной оптимизации технологических машин

Классическая постановка задачи многокритериальной параметрической оптимизации имеет вид [9]:

$$f_i(x) \rightarrow \min_x, x \in D, i \in [1 : k];$$
$$D = \{x \in R^n | g_i(x) \leq 0, i \in [1 : m]; g_i(x) = 0, i \in [m + 1 : s]; a_j \leq x_j \leq b_j, j \in [1 : q]\}, \quad (1)$$

где $f_i(x)$ – множество целевых функций; D – множество допустимых решений (подмножество элементов n -мерного евклидова пространства R^n); $g_i(x)$ – функциональные ограничения; a_j и b_j – нижнее и верхнее ограничения, задающие область допустимых значений параметра x_j .

При развитии подходов к робастной оптимизации в [10] предложена новая математическая постановка задачи для синтеза допусков:

$$\Delta x_l \rightarrow \max_x, x \in D, l \in [1 : h];$$
$$D = \{x \in R^n | Q_i(x) \geq Q_{i,\min}(x), \Delta Q_i(x) \leq [\Delta Q_i(x)], i \in [1 : k];$$
$$g_i(x) \leq 0, i \in [k + 1 : m]; g_i(x) = 0, i \in [m + 1 : s];$$
$$a_j \leq x_j \leq b_j, j \in [1 : n]\}, \quad (2)$$

где Δx_l – система целевых функций, представляющих собой интервалы изменения независимых параметров x_j ; $Q_{i,\min}(x)$ – минимально допустимые значения единичных показателей качества (ЕПК); $[\Delta Q_i(x)]$ – допускаемые отклонения единичных показателей качества.

На основе (2) был разработан метод многокритериальной робастной оптимизации допусков при проектировании изделий машиностроения, который был успешно применен в различных отраслях машиностроения.

В данной работе предлагается совмещение этапов синтеза параметров и допусков на них на основе следующей постановки задачи:

$$\begin{aligned} & \{\Delta x_l \rightarrow \max_x, \bar{x}_l \rightarrow \text{extr}_x\}, x \in D, l \in [1 : h]; \\ D = & \{x \in R \mid Q_i(x) \geq Q_{i, \min}(x), \Delta Q_i(x) \leq [\Delta Q_i(x)], i \in [1 : k]; \\ & g_i(x) \leq 0, i \in [k + 1 : m]; g_i(x) = 0, i \in [m + 1 : s]; \\ & a_j \leq x_j \leq b_j, j \in [1 : n]\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где \bar{x}_l – средние значения независимых параметров.

Предложенная здесь постановка задачи оптимизации (3) отличается от постановки (2) тем, что в систему целевых функций включен поиск экстремумов средних значений независимых параметров (см. рис. 1).

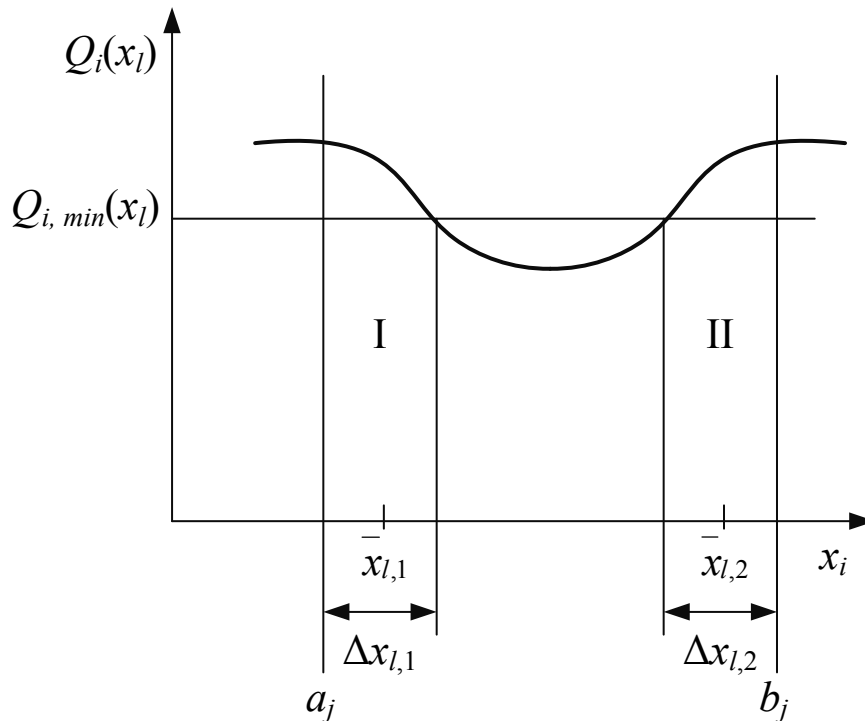


Рис. 1 – Области (I и II) оптимальных значений параметров и допусков на них

На рис. 1 пояснена целесообразность такого расширения системы целевых функций. Зонам I и II соответствуют интервалы изменения независимого параметра x_l равной ширины, т.е. $\Delta x_{l,1} = \Delta x_{l,2}$, с идентичными значениями единичного показателя качества $Q_i(x_l)$, но с различными средними значениями параметра $x_l - \bar{x}_{l,1} \neq \bar{x}_{l,2}$. Тогда, если по содержательной

постановке задачи, отыскивается минимальное среднее значение x_l , то оптимальное решение будет располагаться в зоне I, а его максимальному значению будет соответствовать зона II.

На основе такой постановки задачи оптимизации предложен метод робастной оптимизации технологических машин при совместном синтезе параметров и допусков на них, включающий следующие этапы (без обратных связей):

- 1) Определение областей допустимых значений входных параметров.
- 2) Вычисление значений ЕПК в области, определенной в п.1 - $\{U_1\}$.
- 3) Выделение множеств, соответствующих функциональным ограничениям ПК и определение их пересечения в пространствах входных и выходных переменных - $\{U_2\}$.
- 4) Выделение подмножеств в U_2 , соответствующих условиям робастности ЕПК - $\{U_3\}$.
- 5) Определение значений величин допусков и средних значений независимых параметров.
- 6) Верификация значений величин допусков и средних значений независимых параметров.

Заключение

Отметим, что здесь, как и в [10], под независимыми (входными) параметрами понимаются параметры размерных связей и связей свойств материалов, входящие в функциональные зависимости ЕПК – $Q = Q(x_1, x_2, \dots, x_l)$. Основным преимуществом постановки задачи на основе (3) является возможность поиска оптимальных решений при отсутствии функциональных зависимостей для ЕПК от входных параметров, имеющих экстремальный характер, но при наличии интуитивных представлений об их наилучших средних значениях. Возможны и упрощения постановки задачи (3) путем

сведения системы критериев к одному критерию на основе взвешенной свертки системы целевых функций известными способами [9].

Таким образом, в данной работе дана новая постановка задачи робастной оптимизации, на основе которой разработан метод робастной оптимизации технологических машин при совместном синтезе параметров и допусков на них.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60049.

Литература

1. Казаков Д.В., Шведова А.С. Оптимизация технологических процессов отделочно-упрочняющей центробежно-ротационной обработки с учетом их надежности // Инженерный вестник Дона, 2015. №2, ч.2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3056.
2. Дружинин И.В. Технологический подход к управлению конкурентоспособностью машин // Инженерный вестник Дона, 2007. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2007/2.
3. Чижик М.А., Волков В.Я. Графические оптимизационные модели многопараметрических технологических процессов легкой промышленности // Инженерный вестник Дона, 2012. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/901.
4. Taguchi Genichi, Subir Chowdhury, Yuiin Wu. Taguchi's Quality Engineering Handbook. Wiley-Interscience, 2004. 1696 p.
5. Karl A., Brad Farris, Leemon Brown, Nick Metzger. Robust design and optimization. Key methods and applications // URL: web.stanford.edu/group/uq/events/optimization/2011/3-rollsroyce.pdf.

6. Patent N0: US 6,910,192 B2. Method of robust technology design using rational robust optimization. Inventor: Trent Lorne McConaghy. URL: google.com.ar/patents/US6910192.

7. Tohid Erfani, Sergei V. Utyuzhnikov. Control of robust design in multiobjective optimization under uncertainties. URL: personalpages.manchester.ac.uk/staff/S.Utyuzhnikov/Papers/SMO_EU2012.pdf.

8. Ивахненко, А.Г. Концептуальное проектирование металлорежущих систем. Структурный синтез: монография. – Хабаровск, Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998. – 124 с.

9. Аникеева О.В., Ивахненко А.Г., Сторублев М.Л. Методы оптимизации и принятия решений в управлении качеством: учеб. пособие // Юго-Зап. гос. ун-т., ЗАО «Университетская книга», Курск, 2015. – 216 с.

10. Ивахненко, А.А. Синтез допусков показателей качества при проектировании и эксплуатации продукции машиностроения: Автореферат дисс. ... к.т.н., спец. 05.02.23. – Курск, 2015. 18 с.

References

1. Kazakov D.V., Shvedova A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015. №2, ch.2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3056.

2. Druzhinin I.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2007. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2007/2.

3. Chizhik M.A., Volkov V.Ja. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/901.

4. Taguchi Genichi, Subir Chowdhury, Yuin Wu. Taguchi's Quality Engineering Handbook. Wiley-Interscience, 2004. 1696 p.

5. Karl A., Brad Farris, Leemon Brown, Nick Metzger. Robust design and optimization. Key methods and applications. URL: web.stanford.edu/group/uq/events/optimization/2011/3-rollsroyce.pdf.



6. Patent N0: US 6,910,192 B2. Method of robust technology design using rational robust optimization. Inventor: Trent Lorne McConaghy. URL: google.com.ar/patents/US6910192.

7. Tohid Erfani, Sergei V. Utyuzhnikov. Control of robust design in multiobjective optimization under uncertainties. URL: personalpages.manchester.ac.uk/staff/S.Utyuzhnikov/Papers/SMO_EU2012.pdf.

8. Ivakhnenko, A.G. Konceptual'noe proektirovanie metallovezhushhih sistem. Strukturnyj sintez [Conceptual design of metal-cutting systems. Structural synthesis]: monograf. Habarovsk: HSTU, 1998. 124 p.

9. Anikeeva O.V., Ivakhnenko A.G., Storublev M.L. Metody optimizacii i prinjatija reshenij v upravlenii kachestvom [Methods of optimization and decision-making in quality management]: tutorial. SWSU, ZAO «Universitetskaja kniga», Kursk, 2015. 216 p.

10. Ivakhnenko, A.A. Sintez dopuskov pokazatelej kachestva pri proektirovanii i jekspluatacii produkcii mashinostroenija [The synthesis of tolerances indicators of quality in the design and operation of engineering products]: Avtoreferat diss. ... k.t.n., spec. 05.02.23. Kursk, 2015. 18 p.