

Технико-экономическая оптимизация точности двухкомпонентной измерительной системы на основе алгоритмического языка Delphi

А. М. РОСТОВЦЕВ, Б. И. ХАСАНОВ

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия,
e-mail: amrostovtsev@yandex.ru; afti@yandex.ru

Рассмотрена задача оптимизации двухкомпонентного средства измерений, состоящего из датчика и нормирующего усилителя, каждый из этих компонентов может иметь нормальную и повышенную точность. Оптимизация проводится методом целочисленного математического программирования на языке Delphi с использованием двух взаимно противоречивых целевых функций. Предложенный метод применим для оптимизации практически любых двухкомпонентных систем, сопряжений и соединений.

Ключевые слова: целочисленное математическое программирование, алгоритмический язык Delphi.

The task of optimizing the two-component measuring instrument consisting of sensor and normalizing amplifier either of which may have the normal increased enhanced accuracy is considered. The optimization is performed by integer-valued mathematical programming method in the Delphi language with use of two mutually-contradictory target functions. The proposed method is applicable for optimization practically of any two-component systems, couplings and junctions.

Key words: integer-valued mathematical programming, Delphi algorithmic language.

В настоящее время в связи с широким развитием модульных, блочных и встраиваемых функционально взаимосвязанных компонентов измерительных приборов и систем (далее — ИС) возникает проблема выбора такого сочетания этих компонентов, поставляемых, порой, различными предприятиями, которое обеспечило бы максимально высокую точность ИС при минимально возможном уровне затрат. Последние включают затраты на приобретение ИС и эксплуатационное обслуживание данных компонентов. Означенная проблема требует совместного решения двух взаимосвязанных и взаимодополняющих задач математического программирования:

предельного снижения затрат при сохранении заданной точности ИС;

предельного повышения точности ИС в целом при соблюдении заданных технико-экономических ограничений.

Сущность такого совместного решения была рассмотрена в [1] для наиболее распространенной двухкомпонентной ИС (последовательно соединенных датчика и нормирующего преобразователя). За основу принят графоаналитический метод целочисленного линейного программирования. Однако при реализации этого метода необходимо последо-

вательно выполнять рутинные графические построения, что противоречит программным возможностям современной компьютерной техники. Кроме того, рассмотренный в [1] случай не учитывает влияние, возникающее при передаче измерительного сигнала. Для проводной связи компонентов ИС оно может быть обусловлено электромагнитными наводками на кабель, состоянием разъемов и т. п. В случае беспроводной связи дополнительные погрешности могут быть связаны с помехами, создаваемыми средой прохождения измерительного сигнала, а также взаимным перемещением, например, первичного и нормирующего преобразователей.

Согласно терминологии, принятой при решении задач дискретной оптимизации, управляющими переменными здесь служат погрешности выходного сигнала γ_1 , γ_2 последовательно соединенных первого и второго компонентов ИС, соответственно, так что

$$\xi_{01}^2 \gamma_1^2 + \xi_{02}^2 \gamma_2^2 = \gamma_0^2,$$

где ξ_{01} , ξ_{02} — коэффициенты влияния; γ_0^2 — дисперсия, характеризующая заданную точность ИС.

Исходные данные задачи оптимизации компоновки ИС

№ компонента	Уровень точности				Коэффициенты влияния		Затраты на приобретение и эксплуатационные расходы	
	наименование	класс точности по паспорту	погрешность, соответствующая классу точности, %	значение	обозначение	значение	обозначение	значение, руб
1	Повышенный	γ_{11}	0,1	0,01	ξ_{01}	1,1	S11	1863
	Нормальный	γ_{12}	0,2	0,04			S12	1188
2	Повышенный	γ_{21}	0,1	0,01	ξ_{02}	1,0	S21	2850
	Нормальный	γ_{22}	0,2	0,04			S22	1500

Каждому из показателей γ_1, γ_2 , присваивают два уровня точности: повышенный γ_{11}, γ_{21} и нормальный γ_{12}, γ_{22} , что обуславливает их целочисленность.

Рассмотрим пример решения задачи оптимизации компоновки ИС. Исходные данные примера, хотя и аналогичны приведенным в [1], но включают коэффициенты влияния ξ_{01}, ξ_{02} первого и второго компонента на результирующую точность ИС (таблица).

Так же, как и в [1], затраты на приобретение и эксплуатацию компонентов ИС не должны превышать $S_{ИС}^{пр} = 3700$ руб. Допускаемая основная погрешность выходного сигнала должна быть не более 0,26 %.

Исходными оптимизационными требованиями одновременно были снижение основной погрешности ИС и предельное снижение затрат, включая затраты на приобретение и поддержание работоспособности компонентов ИС, поэтому в задаче будут две взаимнопротиворечивые целевые функции при заданной точности γ_0 ИС в целом:

предельного повышения точности ИС при заданных технико-экономических ограничениях

$$T = \xi_{01}^2 \gamma_1^2 + \xi_{02}^2 \gamma_2^2 \rightarrow \min;$$

предельного снижения затрат на приобретение компонентов ИС и расходов на поддержание их работоспособности

$$S = C_1 \gamma_1^2 + C_2 \gamma_2^2 \rightarrow \max.$$

Здесь целесообразно воспользоваться каким-либо алгоритмическим языком программирования, например, Delphi [2]. На его основе была разработана программа Kalitero 2D, загрузочное окно которой с примером задачи представлено на рисунке. В левом верхнем углу расположены 2 элемента CheckBox для выбора требуемой задачи: PEOA (Problem of economic optimization of accuracy) — технико-экономической оптимизации точности и PLRA (Problem

of a Limiting Raise of Accuracy) — предельного повышения точности. Ниже расположены окна для ввода нормированных граничных значений управляющих переменных $X1, X2$, технико-экономических затрат на них $S1, S2$, коэффициентов влияния $Ksi1, Ksi2$, функционального T и технико-экономического R ограничений, при этом $Ksi1, Ksi2$ эквивалентны ξ_{01}, ξ_{02} . Справа находится область для графоаналитических построений. Ниже для удобства пользователя указана панель-подсказка Legend, под ней окно вывода оптимальных и функциональных точек.

В общем виде константы загрузочного окна берутся нормированными или представляют фиксированные значения экспериментальных данных, например затраты. Так как управляющими параметрами в этом случае являются постоянные дисперсии основной погрешности, поэтому вводим в окна $X1, X2, T$ соответствующие значения квадратов погрешностей.

Предельное технико-экономическое ограничение называется ренталью r , уравнение которой имеет вид

$$-C1X1 - C2X2 = S11 + S21 - R,$$

где $C1, C2$ — удельные затраты на точность;

$$C1 = (S11 - S12)/(X11 - X12); C2 = (S21 - S22)/(X21 - X22),$$

причем, как можно убедиться, $C1, C2 < 0$, так как расширение допусков способствует снижению затрат и повышению рентабельности производства.

Предельное функциональное ограничение называется функциональю f , ее уравнение имеет вид

$$Ksi1X1 + Ksi2X2 = T.$$

Целевая функция предельного снижения затрат (см. рисунок, положение в начальном плане; PEOA) задается выражением

$$-C1X1 - C2X2 \rightarrow \min,$$

а целевая функция предельного повышения точности (см. рисунок, положение в начальном плане; PLRA) — выражением

$$Ksi1X1 + Ksi2X2 \rightarrow \min.$$

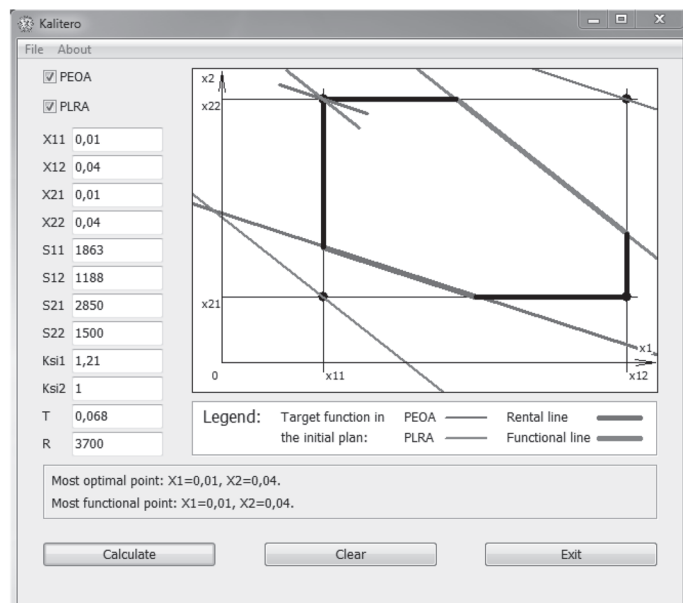
Программа выдала ответ, совпадающий с приведенным в [1, 2], — точку, в которой находится компромиссный оптимум. Процесс решения задачи значительно упростился в связи с ее автоматизированным графоаналитическим решением и свелся лишь к вводу значений параметров.

Программа Kalitero 2D также может быть использована для оптимизации точности:

сборки двух деталей, сопрягаемая поверхность одной из которых является охватывающей, а другой — охватываемой; изготовления деталей с двумя сопряженными фрагментами — звеньями поддетальной размерной цепи;

функционально-размерных поддетальных цепей (например, упругих и пьезоэлементов), моточных изделий (катушек индуктивности);

последовательного соединения или монтажа двух электро- или радиокомпонентов.



Загрузочное окно программы Kalitero 2D с примером решения задачи

Л и т е р а т у р а

1. **Ростовцев А. М.** Экстремальность при выборе и оптимизации средств измерений // Метрология. 2010. № 8. С. 8—16; **Rostovtsev A. M.** Extremality in the selection and optimization of measurement devices // Measurement Techniques. 2010. V. 53. N 9. P. 870—875.

2. **Ростовцев А. М., Хасанов Б. И.** Оптимизация точности двухкомпонентной измерительной системы на основе алгоритмического языка DELPHI // Состояние и перспективы измерений: Сборник материалов XII Всерос. науч.-техн. конф. МГТУ им. Н. Э. Баумана 4—6 февраля 2013. С. 94—97.

Дата принятия 20.05.2013 г.

539.3:624.04

Достоверность результатов динамических обследований зданий и сооружений

В. В. ПОДУВАЛЬЦЕВ*, М. С. ХЛЫСТУНОВ, Ж. Г. МОГИЛЮК****

* Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия, e-mail: vvpoduval@mail.ru

** Московский государственный строительный университет, Москва, Россия e-mail: mcsxmgusu@mail.ru

Проанализированы метрологическая и математическая корректность контроля динамической устойчивости и идентификации форм колебаний строительных конструкций. Рассмотрены нормативные документы, регламентирующие динамические обследования, и результаты их практического применения; дан анализ, подтверждающий низкую достоверность данных о формах колебаний зданий и сооружений.

Ключевые слова: динамические обследования, достоверность, строительные конструкции, устойчивость.

The analysis of the metrological and mathematical correctness of the control of dynamic stability and the building structures oscillations forms identification are presented. The normative documents regulating the dynamic surveys and the results of their practical application are considered. The analysis confirming the low reliability of data on buildings and structures oscillations forms is presented.

Key words: dynamic examinations, building structures, reliability, stability.

Проблема динамического обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений в современной научно-методической трактовке была сформулирована в проектах программ научно-технического сотрудничества некоторых ведомств [1, 2], а также в ряде научно-исследовательских работ, выполненных в МГСУ за 2005—2008 гг. в соответствии с решениями Московского конгресса по безопасности мегаполисов [3—5]. Важность аттестации и мониторинга динамических характеристик строительных объектов [6] нашла отражение и развитие в [7—9].

В соответствии с [7, п. 3.19] к динамическим параметрам зданий и сооружений следует относить периоды и декременты затухания собственных колебаний основного тона и обертонов, передаточные функции объектов, их частей и элементов и др. Согласно обязательным приложениям В, Д, М, Н, П в [7] в число динамических параметров объекта, подлежащих паспортизации при динамическом обследовании, входят периоды (резонансные частоты) и логарифмические декременты затухания основных тонов собственных колебаний вдоль продольной, поперечной, большой, малой и вертикальной осей. При этом в соответствии с общепринятой терминологией под периодами основного тона и обертонов следует понимать периоды основных резонансов и их гар-

моник относительно не очень строго определенных главных осей строительной конструкции, а под передаточными функциями — амплитудные (АЧХ) и фазовые (ФЧХ) частотные характеристики.

В [7] декларируется необходимость паспортизации, например, основного тона собственных колебаний вдоль вертикальной оси здания и сооружения. Однако вдоль этой оси могут быть возбуждены поплавокковые, баллистические, две продольные и две поперечные моды упругих колебаний (геодинамические и конструкционные) [10]. Не ясно, какая из них регламентируется в [7]? Аналогичные замечания можно сделать в отношении основных форм колебаний вдоль продольной и поперечной, большой и малой осей здания или сооружения.

Рассмотрим важный вопрос по практическому применению [7]. Для передаточной функции пространственной конструкции должны быть строго сформулированы требования к расположению источника динамического возбуждения и точки регистрации результирующих колебаний конструкции, так как таких пар точек может быть выбрано достаточно много. В отличие от АЧХ, которая является фурье-образом динамического портрета здания и может быть построена прямым способом, т. е. по наблюдению реакции объекта на