$$N_{\text{вых}}^{\text{ном}}(\alpha,t) = N_{\text{РП1}}^{\text{ном}}(\alpha,t)\overline{d(\alpha)} + N_{\text{РП2}}^{\text{ном}}(\alpha,t)d(\alpha).$$

Числовой массив значений инструментальной погрешности Δ_N найдем как

$$\Delta_N(\alpha,t) = N_{\text{вых}}^{\text{р}}\alpha,t) - N_{\text{вых}}^{\text{ном}}(\alpha,t),$$

где $N_{\text{вых}}^{\text{р}}(\alpha,t) = N_{\text{РП1}}^{\text{р}}(\alpha,t)\overline{d(\alpha)} + N_{\text{РП2}}^{\text{р}}(\alpha,t)d(\alpha)$ – реальное значение сигнала на выходе преобразователя, учитывающее отклонения параметров его элементов от номинальных значений.

Таким образом, полученная математическая модель позволяет исследовать комплекс метрологических характеристик оптических ЦАП с учетом отклонений конструктивных параметров преобразователя от номинальных значений в соответствии с методиками, изложенными в [5].

Литература

1. Гречишников В. М., Конюхов Н. Е. Оптоэлектронные цифровые датчики перемещений со встроенными волоконно-оптическими линиями связи. М.: Энергоатомиздат, 1992.

2. Домрачев В. Г., Мейко Б. С. Цифровые преобразователи угла - принципы построения, теория точности, методы контроля. М.: Энергоатомиздат, 1984.

3. Гречишников В. М., Теряева О. В. Оптоэлектронные цифровые преобразователи угла с весовым уплотнением каналов // Труды межд. симпозиума «Надежность и качество». Пенза: ПГУ. 2015. Т. 2. С. 46–50.

4. Пат. 2550553 РФ. Преобразователь угол–код / В. М. Гречишников, О. В. Теряева // Изобретения. Полезные модели. 2014. Бюл. № 13.

5. Гречишников В. М., Гречишников С. В. Обобщенная математическая модель цифровых преобразователей перемещений и методы ее анализа // Вестн. СамГТУ Сер. Физико-математические науки. 1998. № 6. С. 111–119.

6. Гречишников В. М. Юдин А. А. Получение функции модуляции излучения в оптоэлектронном цифровом преобразователе угла с использованием преобразования Радона // Измерительная техника. 2012. № 1. С. 34–39.

А.В. Докучаев, А.А. Котенко

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СОГЛАСОВАНИЯ ЦЕН НЕСКОЛЬКИХ ПОСТАВЩИКОВ

(Самарский государственный технический университет)

Рассматривается задача формирования критериев согласования цен поставки однородного товара несколькими поставщиками. Случай линейной зависимости цен от объёма поставок приводит к графическому решению, известному в теории матричных игр нескольких лиц с фиксированной суммой. [1, 2]

Используя обозначения цен, а также чистых и смешанных стратегий работы [1] рассмотрим квадратичную модель парных согласований цен применительно к случаю трёх поставщиков. Как и в линейной модели предположим известными все чистые цены для всех поставщиков.

Кроме чистых цен, отражающих монополизацию рынка, будем считать заданными смешанные цены, отражающие захват рынка парой поставщиков.

Так для i-го поставщика будут известны по две смешанные цены $q_{ij}(d_{ij})$, i=1,2,3; j=1,2,3; $i \neq j$, описывающие зависимость цены q от объёма поставки d в условиях, когда два поставщика полностью покрывают потребности потребителя.

Таким образом, для каждого поставщика будут заданы известны 5 цен, определяющих 5 точек пространства R^3. Следовательно, в ценовой функции должно быть пять неизвестных параметров. Среди выпуклых ценовых функций возьмём квадратичную зависимость

$$z_i = B_{i1}x_1^2 + B_{i2}x_2^2 + B_{i3}x_1 + B_{i4}x_2 + C_i.$$

Определим неизвестные параметры, подставив в уравнения ценовых функций координаты точек с известными ценами.

Для первого поставщика известны [1, 2] пять цен: a_{11}, a_{12}, a_{13}, $q_{12}(d_{12})$, $q_{13}(d_{13})$. Подставив их координаты в уравнение его ценовой функции, получим линейную систему уравнений

$$\begin{cases} B_{11} + B_{13} + C_1 = a_{11}, \\ B_{12} + B_{14} + C_1 = a_{12}, \\ C_1 = a_{13}, \\ B_{11}d_{12}^2 + B_{12}(1-d_{12})^2 + B_{13}d_{12} + B_{14}(1-d_{12}) + C_1 = q_{12}(d_{12}), \\ B_{11}d_{13}^2 + B_{13}d_{13} + C_1 = q_{13}(d_{13}). \end{cases}$$

Разрешив её, определим ценовую функцию для первого поставщика.

Аналогично для 2-го и 3-го поставщиков получим линейные системы

$$\begin{cases} B_{22} + B_{24} + C_2 = a_{22}, \\ B_{21} + B_{23} + C_2 = a_{21}, \\ C_2 = a_{23}, \\ B_{21}(1-d_{21})^2 + B_{22}d_{21}^2 + B_{23}(1-d_{21}) + B_{24}d_{21} + C_2 = q_{21}(d_{21}), \\ B_{22}d_{23}^2 + B_{24}d_{23} + C_2 = q_{23}(d_{23}). \end{cases}$$

$$\begin{cases} B_{31} + B_{33} + C_3 = a_{31}, \\ B_{32} + B_{34} + C_3 = a_{32}, \\ C_3 = a_{33}, \\ B_{31}(1-d_{31})^2 + B_{33}(1-d_{31}) + C_3 = q_{31}(d_{31}), \\ B_{32}(1-d_{32})^2 + B_{34}(1-d_{32}) + C_3 = q_{32}(d_{32}). \end{cases}$$

Разрешив их, найдём соответствующие ценовые функции.

Теперь для решения задачи об оптимальной цене суммарной поставки необходимо найти максимум функции $w(x_1,x_2)$ двух независимых переменных. Это можно сделать по известным ценовым функциям всех поставщиков.

Для этого разобьём область D прямоугольной решёткой с шагом h и вычислим в узлах решётки значения всех ценовых функций. Значением искомой функции *w* в узле решётки будет максимум из значений ценовых функций в этом же узле.

После того, как значения функции *w* найдены, оптимальное значение согласованной цены будет находиться в точке минимума этой функции. Благодаря выпуклости парных ценовых функций точка минимума функции *w* будет точкой пересечения всех ценовых функций.

Следовательно, при оптимальном плане покупки товара, которому будет соответствовать точка минимума функции *w*, цены единицы товара всех поставщиков будут совпадать. Этот план будет оптимальным, при нём цена единицы товара будет равна координате *z* этой точки.

Вывод. Ценовые функции поставщиков не всегда являются линейными. Неправильный выбор вида ценовых функций может привести к появлению перекупщиков в цепочке между поставщиком и финальным потребителем.

Более точное (нежели линейное или квадратичное) описание парных ценовых функций потребует более подробной информации о зависимости цены единицы товара от объёма поставки. Наиболее простое описание такой зависимости получается для ситуации пары поставщиков.

Если для каждого поставщика известны его чистые цены и две смешанные парные цены, то в качестве ценовой функции принять квадратичную. Хотя аналитическое определение точки с оптимальной ценой возможно, но оно настолько громоздко, что не представляет практического интереса.

В этом случае задача решается численно с любой необходимой точностью.

Литература

1. Котенко А.П., Докучаев А.В. Графоаналитический метод определения поставок [Текст] / Вестник СамГТУ. Серия «Физ.-мат. науки». – 2009. – №2(19). – С. 277-279.

2. Котенко А.П., Докучаев А.В. Формирование оптимальной цены при случайном поведении характеристик у нескольких поставщиков / «Высшее образование, бизнес, предпринимательство»: Сб. научных трудов. – Самара: СамГТУ, Поволжский ин-т бизнеса, 2015. – С. 26-29.

Ч.Дон[1], Ю.М.Заболотнов[1], Ч.Ван[2]

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВЕРТЫВАЕМОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМОЙ С АТМОСФЕРНЫМ ЗОНДОМ

([1]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, [2]Северо-западный политехнический университет, г.Сиань, КНР)

Анализируется процесс управления развертываемой космической тросовой системой (КТС) с атмосферным зондом (АЗ). Показано, что построение номинальной программы развертывания тросовой системы с учетом аэродинамических сил позволяет в несколько раз уменьшить ошибки приведения системы

в заданное конечное состояние. Приводятся численные расчеты, подтверждающие проведенные исследования и сформулированные выводы.

Тросовая система состоит из базового космического аппарата (КА), троса и АЗ. Атмосферный зонд это тело надувной или складной конструкции, имеющее увеличенный баллистический коэффициент. Атмосферные зонды могут использоваться, например, для мониторинга верхних слоев атмосферы.

Для построения номинальной траектории развертывания КТС в положение, близкое к вертикальному, используется обычно модель движения в подвижной орбитальной системе координат [1]

$$\ddot{L} = L[(\dot{\theta}+\dot{u})^2 - \dot{u}^2(1-3\cos^2\theta)] + \frac{Q_L - T_n}{M_e}, \quad (1)$$

$$\ddot{\theta} = -2\frac{\dot{L}}{L}(\dot{\theta}+\dot{u}) - \frac{3}{2}\dot{u}^2\sin 2\theta + \frac{Q_\theta}{M_e L^2}, \quad (2)$$

где L и θ - длина троса и угол его отклонения троса от вертикали, u - аргумент широты орбиты центра масс системы, $M_e = m_1 m_2 / M$, m_1 и m_2 - массы КА и зонда, $M = m_1 + m_2$, T_n - сила натяжения троса, Q_L и Q_θ - обобщенные аэродинамические силы. При выводе уравнений (1-2) предполагается, что орбита центра масс системы за время развертывания системы не изменяется и близка к круговой орбите.

Программа развертывания КТС в вертикальное положение имеет вид

$$T_n = M_e \dot{u}^2 [a(L - L_k) + b\dot{L} / \dot{u} + 3L_k], \quad (3)$$

где a, b - параметры закона управления, L_k - конечная длина троса. Если орбита центра масс круговая, то $\dot{u} = const$.

Обобщенные аэродинамические силы определяются из выражений $Q_L = \delta A_L / \delta L$, $Q_\theta = \delta A_\theta / \delta\theta$, где δA_L и δA_θ - работы на возможных перемещениях δL, $\delta\theta$. Поэтому

$$Q_{\theta 1} = -C_1 S_1 \rho_1 V_{r1} \cdot \Delta L_1 \cdot (V_{o1} \cdot \cos(\theta - \varphi_1) + V_{\theta 1}) / 2 \quad (4)$$

$$Q_{L1} = -C_1 S_1 \rho_1 V_{r1} \cdot m_2 \cdot (V_{o1} \cdot \sin(\theta - \varphi_1) + V_{L1}) / 2M \quad (5)$$

$$Q_{\theta 2} = C_2 S_2 \rho_2 V_{r2} \cdot \Delta L_2 \cdot (V_{o2} \cdot \cos(\theta + \varphi_2) - V_{\theta 2}) / 2 \quad (6)$$

$$Q_{L2} = C_2 S_2 \rho_2 V_{r2} \cdot m_1 \cdot (V_{o2} \cdot \sin(\theta + \varphi_2) - V_{L2}) / 2M \quad (7)$$

где $C_{1,2}$ - коэффициенты сил аэродинамического сопротивления, $S_{1,2}$ - характерные площади, $\rho_{1,2}$ - плотности атмосферы, $\Delta L_{1,2} = m_{2,1} L / M$, углы $\varphi_{1,2}$ и составляющие $V_{o1,2}$, $V_{L1,2}$, $V_{\theta 1,2}$ суммарных скоростей $V_{r1,2}$ КА и зонда определяются в соответствии с рис.1.

Обобщенные силы, входящие в систему (1-2), определяются суммированием соответствующих выражений из (4-7): $Q_\theta = Q_{\theta 1} + Q_{\theta 2}$, $Q_L = Q_{L1} + Q_{L2}$.