

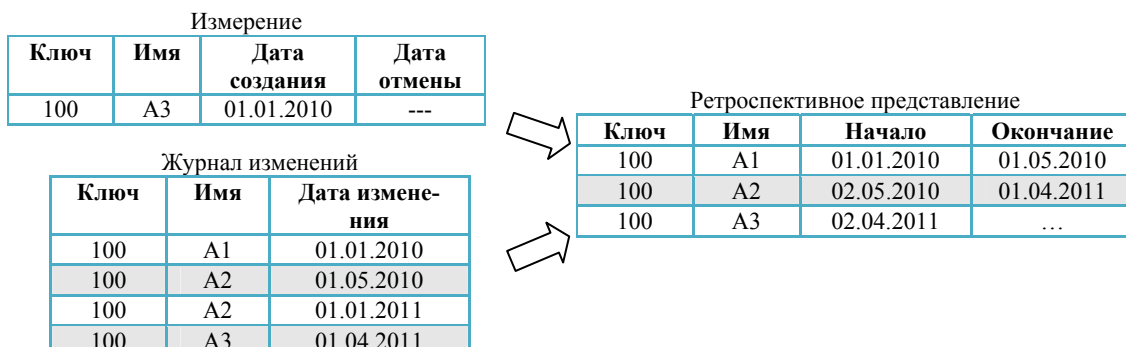


Рис. 2. Пример формирования ретроспективного представления

Таким образом, в результате проведенного исследования в аналитический OLAP-инструментарий добавлена возможность использовать данные о периоде действия записей для соединения данных таблиц фактов с соответствующими строками ретроспективного представления.

Плавность и прозрачность просмотра результатов анализа обеспечивается за счет использования информации о наследственных переходах между записями измерения.

Библиографические ссылки

1. Kimball R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling. 2nd ed. N. Y. : Wiley Computer Publishing, 2002.
2. Slowly Changing Dimension [Electronic resource]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Slowly_changing_dimension (date of visit: 30.10.2011).
3. Change Data Capture [Electronic resource]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Change_data_capture (date of visit: 30.10.2011).

D. V. Zhuchkov

REALIZATION OF INHERITANCE MECHANISMS FOR CONFIRMATION OF RETROSPECTIVE OLAP-ANALYSIS

The approach to confirmation of the retrospective OLAP-analysis by means of realization of mechanisms of inheritance in analytical dimensions of multidimensional OLAP-cubes is described. The suggested approach is based on the usage of fields of validity period, log tables and retrospective views.

Keywords: OLAP, retrospective analysis, dimension, inheritance, validity period.

© Жучков Д. В., 2011

УДК 625.084/085:625.855.3

В. И. Иванчура, А. П. Прокопьев

ОПТИМИЗАЦИЯ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Проведено исследование следящей системы автоматического управления. Рассмотрена динамическая система рабочего органа асфальтоукладчика с гидроприводом. Задача разработки имитационной модели системы автоматического управления рабочим органом укладчика решена с помощью программы Matlab&Simulink. Предложен метод моделирования адаптивных систем управления нелинейными динамическими объектами на примере следящей системы укладчика с учетом динамики процессов в приводе, в которых имеет место уменьшение ошибки регулирования.

Ключевые слова: автоматическое управление, следящая система, структурно-параметрическая оптимизация, устойчивость системы.

Создание эффективной системы автоматического управления (САУ), построенной на основе априорной информации о нелинейных динамических объектах управления, развитие следящих САУ на основе внедрения результатов теоретических и эксперименталь-

ных разработок, а также современных информационных технологий, с учетом динамики подсистем привода являются актуальными научными задачами.

Проведем исследование следящих систем автоматического управления на примере следящей

САУ рабочего органа асфальтоукладчика с гидроприводом.

Разработка имитационной модели управления движением рабочего органа укладчика. При перемещении укладчика по основанию, готовому для укладки на него дорожного покрытия, его ходовое оборудование (гусеничное или колесное) совершает неуправляемые случайные перемещения в вертикальном направлении под воздействием неровностей микрорельефа основания дороги. Эти перемещения передаются через раму укладчика и подвеску выглаживающей плиты на рабочее оборудование, вызывая в свою очередь неуправляемые перемещения выглаживающей плиты, которые влекут за собой случайное изменение толщины и угла поперечного уклона укладываемого слоя, тем самым ухудшая показатели качества покрытия.

Имитационная модель следящей системы гидропривода выглаживающей плиты асфальтоукладчика реализована в программе MATLAB&Simulink (рис. 1).

В состав схемы имитационной модели входят следующие элементы:

- гидроцилиндр двунаправленного действия;
- трехпозиционный гидрораспределитель;

- гидравлический насос;
- управляемый гидрозамок;
- идеальный гидравлический датчик давления;
- элемент «выглаживающая плита асфальтоукладчика»;
- сенсор, дающий информацию о перемещении и скорости штока гидроцилиндра (датчик обратной связи Sensor);
- идеальный сенсор силы;
- элемент «гидравлическая жидкость» (масло Oil-30W);
- пропорциональный сервоклапан гидропривода (электрогидравлический распределитель, преобразующий электрического сигнала в перемещение);
- элемент «вязкое трение»;
- идеальный источник силы;
- возмущающее воздействие «микрорельеф»;
- PS-конвертор;
- емкость для рабочей жидкости;
- возмущающее воздействие, обусловленное влиянием работы других элементов.

Результаты моделирования следящей системы в диапазоне заданного перемещения от 0,005 м до 0,25 м с шагом 0,05 приведены в таблице.

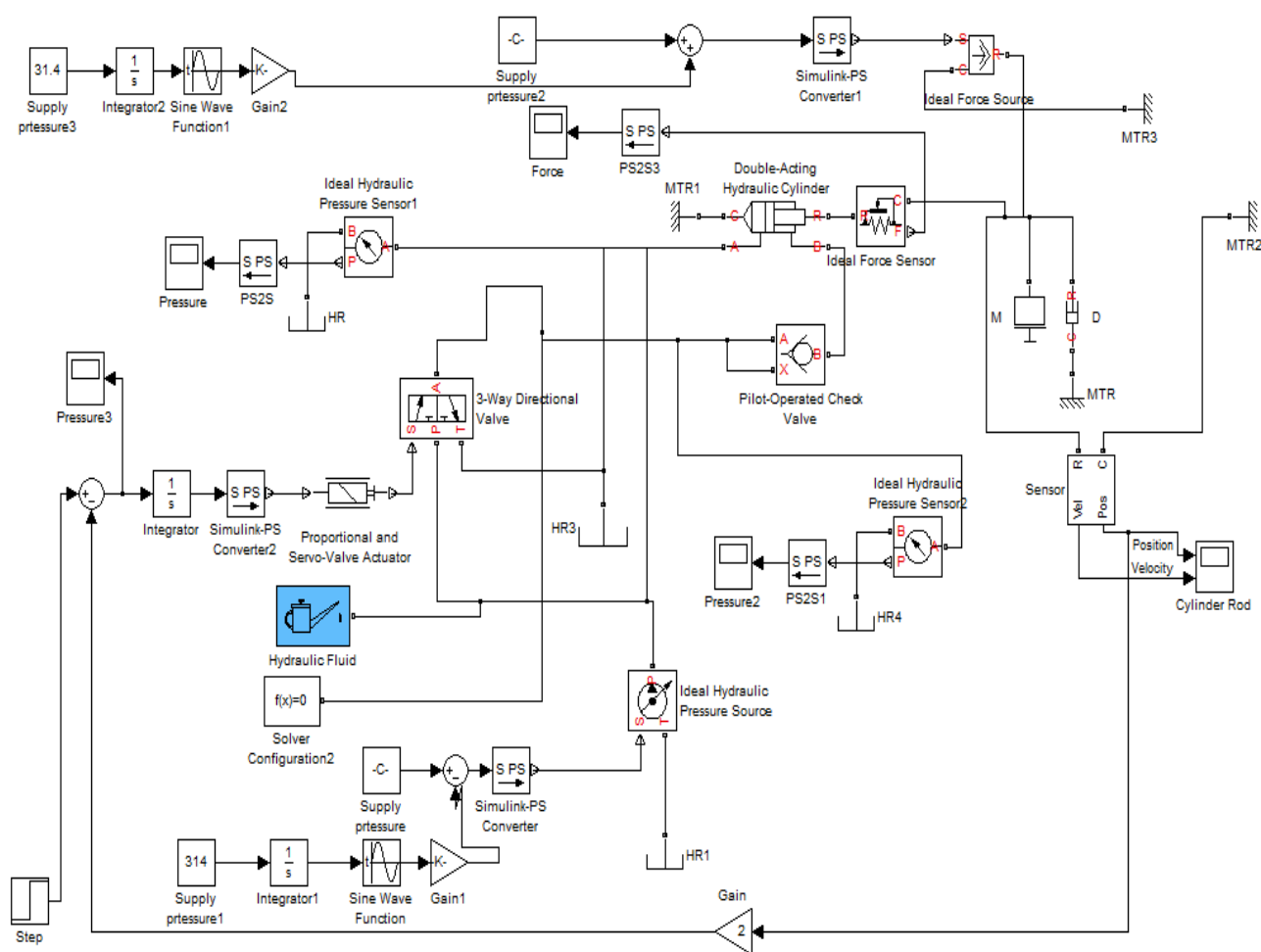


Рис. 1. Схема имитационной модели следящей системы гидропривода выглаживающей плиты укладчика, полученная в программе MATLAB&Simulink

Результаты моделирования

Заданное перемещение, м	Средняя скорость, м/с	Время отработки, с	Перерегулирование, %	Усилие на штоке, Н
0,005	0,022	0,38	14,00	$6,10 \cdot 10^4$
0,055	0,212	0,31	1,80	$6,12 \cdot 10^4$
0,10	0,22	0,48	0,67	$4,30 \cdot 10^4$
0,15	0,22	0,68	0,67	$5,80 \cdot 10^4$
0,20	0,22	0,95	0,75	$6,80 \cdot 10^4$
0,25	0,22	1,10	0,40	$8,00 \cdot 10^4$

Структурно-параметрическая оптимизация. Выбор регулятора. При проектировании систем управления объектами, не содержащими чистого запаздывания, наибольшее применение получили два критерия: модульный оптимум (МО) и симметричный оптимум. В данной статье используется критерий модульного оптимума.

Настройка системы по критерию МО обеспечивает малое перерегулирование и достаточно быстрое протекание переходного процесса.

Если пренебречь постоянными времени датчиков и упругостью, то уравнения динамики, характеризующие перемещение штока гидроцилиндра, могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{aligned} F(t) - F_c(t) &= m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt}, \\ \frac{F(t) - F_c(t)}{m} - \frac{b}{m} \frac{dx(t)}{dt} &= \frac{d^2 x(t)}{dt^2}, \\ \frac{1}{m} \cdot \left(F(t) - F_c(t) - b \cdot \frac{dx(t)}{dt} \right) &= \frac{d^2 x(t)}{dt^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $F(t)$ – воздействие, определяемое усилием на штоке цилиндра; $F_c(t)$ – воздействие, определяемое весом выглаживающей плиты укладчика; m – масса выглаживающей плиты укладчика, кг; b – параметр вязкого трения; x – перемещение, м.

По дифференциальным уравнениям (1) составим схему следящей системы гидропривода выглаживающей плиты укладчика (рис. 2) и получим передаточную функцию линейной части разомкнутой системы $W(p)$ (рис. 3):

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{k_v}{p \cdot (T \cdot p + 1)}, \\ k_v &= \frac{F_m}{b \cdot \Delta l}, \quad T = \frac{m}{b}, \end{aligned}$$

где k_v – добротность по скорости.

Для обеспечения устойчивости системы и астатизма второго порядка введем ПИ-регулятор. Тогда передаточная функция разомкнутой системы будет иметь следующий вид:

$$W(p) = \frac{k_e \cdot (T_p \cdot p + 1)}{p^2 \cdot (T \cdot p + 1)} = \frac{B(p)}{C(p)}, \quad (2)$$

где k_e – добротность по ускорению; постоянная времени T_p является неизвестной величиной.

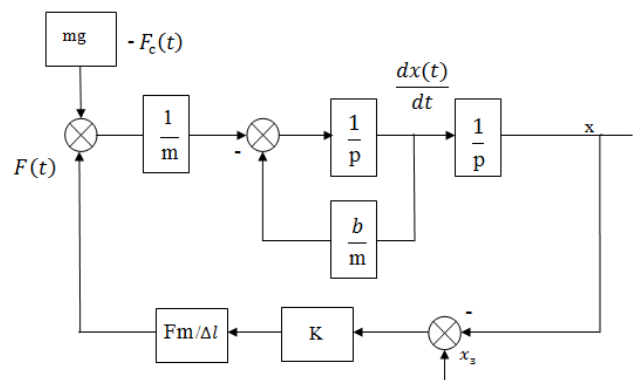


Рис. 2. Структурная схема следящей системы гидропривода выглаживающей плиты укладчика

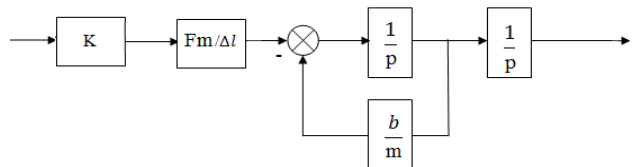


Рис. 3. Разомкнутая система гидропривода выглаживающей плиты укладчика

Этот параметр регулятора оптимизируем по критерию модульного оптимума, который требует, чтобы настраиваемая система по своим частотным и передаточным свойствам приближалась к идеальному фильтру низкой частоты [2]. Тогда при отсутствии помехи на входе система будет наилучшим образом воспроизводить задающее воздействие и подавлять возмущение.

Приведем характеристическое уравнение к нормированному виду, учитывая только знаменатель:

$$D(p) = T \cdot p^3 + p^2 + k_e \cdot T_p \cdot p + k_e = C(p) + B(p).$$

Разделим числитель и знаменатель передаточной функции ПИ-регулятора (2) на k_e :

$$K(p) = \frac{(T_p \cdot p + 1)}{\frac{T}{k_e} p^3 + \frac{1}{k_e} p^2 + T_p \cdot p + 1} = \frac{B(p)}{C(p) + B(p)} = D(p).$$

Определим масштабный множитель T_M :

$$T_M^3 = \frac{T}{k_\varepsilon}, \quad \bar{p} = T_M \cdot p,$$

где $\bar{p}$ – оператор Лапласа, соответствующий безразмерному (относительному) времени.

Перейдем к уравнению безразмерных p в знаменателе:

$$\begin{aligned} \bar{p}^3 + \frac{T_M \cdot \bar{p}^2}{T} + \frac{T_p}{T_M} \cdot \bar{p} + 1, \\ \bar{p}^3 + A_1 \cdot \bar{p}^2 + A_2 \cdot \bar{p} + 1, \\ \frac{T_M}{T} = A_1, \quad \frac{T_p}{T_M} = A_2, \end{aligned}$$

где A_1, A_2 – коэффициенты, которые соответствуют коэффициентам фильтра Баттерворта. Они обеспечивают желаемую форму амплитудной характеристики [1].

Определим следующие соотношения:

$$\frac{T_M}{T} = 2, \quad \frac{T_p}{T_M} = 2,$$

откуда

$$T_M = 2 \cdot T, \quad T_p = 2 \cdot T_M = 4 \cdot T.$$

В результате передаточная функция (2) примет следующий вид:

$$W(p) = \frac{k_\varepsilon \cdot (4 \cdot T \cdot p + 1)}{p^2 \cdot (T \cdot p + 1)}. \quad (3)$$

Реализуем модель следящего гидропривода в программе MATLAB&Simulink, используя параметры ПИ-регулятора (3) с добавлением нелинейного элемента (с нелинейностью типа ограничения), обусловленного работой гидрораспределителя, а также добавим в схему фильтр, предназначенный для уменьшения перерегулирования (рис. 4).

При задании перемещения системы равным 0,125 м в диапазоне 0,005...0,25 м получим следующие результаты (рис. 5): система обрабатывает заданное перемещение; время отработки составляет 15 с, что значительно больше времени отработки при моделировании гидравлической схемы (это объясняется тем, что гидравлическая схема имеет более сложные процессы и моделирует значения, близкие к реальным параметрам; перерегулирование системы – 4 %).

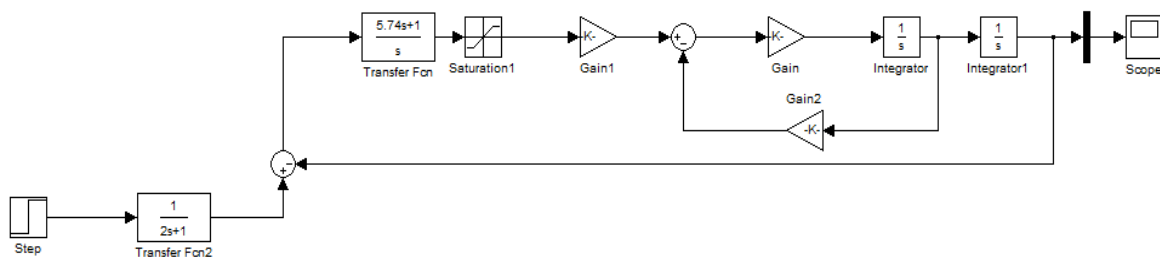


Рис. 4. Функциональная схема нелинейной следящей системы гидропривода выглаживающей плиты укладчика

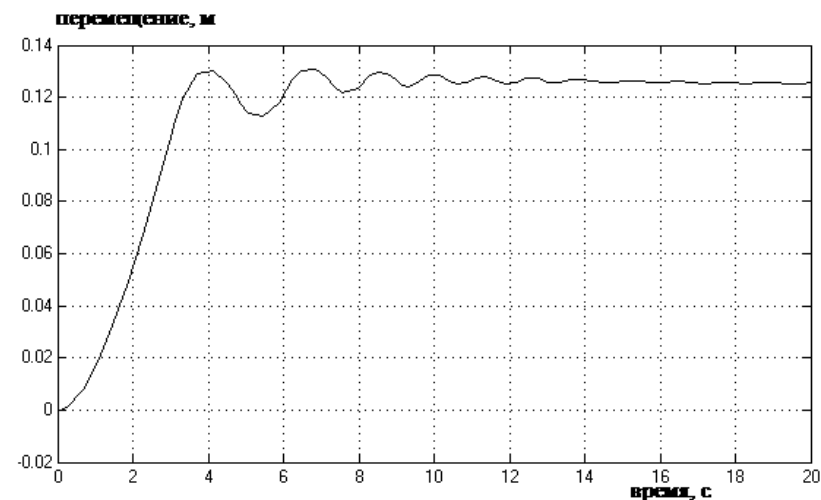


Рис. 5. Результат моделирования переходного процесса при задании перемещения системы 0,125 м

Исследование абсолютной устойчивости нелинейной системы с помощью критерия Попова. Абсолютной устойчивостью (равновесием) называется устойчивость системы при любых начальных отклонениях для любой формы нелинейной характеристики, принадлежащей к одному из определенных классов. Нелинейности считаются принадлежащими к одному классу, если их характеристики находятся в секторе $[0, k_n]$ между осью абсцисс и прямой с угловым коэффициентом k_n .

Критерий Попова относится к частотным методам определения абсолютной устойчивости нелинейных систем. Сформулируем этот критерий для нелинейной системы, которая состоит из линейной части с амплитудно-фазовой характеристикой $W_{\text{л}}(j\omega)$ и нелинейного элемента с характеристикой $f(x_n)$, расположенной в секторе $[0, k_n]$: для абсолютной устойчивости равновесия достаточно, чтобы модифицированная характеристика $W_{\text{л}}^*(j\omega)$ не охватывала точку $(-1/k_n, 0)$ и через эту точку можно было провести прямую, не пересекающую характеристику $W_{\text{л}}^*(j\omega)$ (последняя лежит справа от прямой).

Определим устойчивость системы с помощью критерия Попова. Для этого нам необходимо построить модифицированный годограф, выражение для которого имеет вид

$$W_{\text{л}}^*(j\omega) = U(\omega) + j\omega V(\omega).$$

Для обеспечения абсолютной устойчивости модифицированный годограф линейной части должен располагаться левее кривой Попова – прямой, проходящей через точку $(-1/K, 0)$ под любым углом, где K – класс нелинейности.

Получим аналитическое выражение для модифицированного годографа линейной части:

$$W_{\text{л}}^*(j\omega) = U(\omega) + j\omega V(\omega).$$

Выполним замену переменных:

$$p = j \cdot \omega,$$

$$W_{\text{л}}^*(j\omega) = \frac{7\,240(4,1,43 \cdot j \cdot \omega + 1)}{(j \cdot \omega)^2 \cdot (1,43 \cdot j \cdot \omega + 1)},$$

$$W_{\text{л}}^*(j\omega) = \frac{41\,412,8 \cdot j \cdot \omega + 7\,240}{-1,43 \cdot \omega^3 \cdot j - \omega^2}.$$

Умножим числитель и знаменатель на сопряженное знаменателю:

$$W_{\text{л}}^*(j\omega) = \frac{(41\,412,8 \cdot j \cdot \omega + 7240) \cdot (-1,43 \cdot \omega^3 \cdot j + \omega^2)}{(-1,43 \cdot \omega^3 \cdot j - \omega^2) \cdot (-1,43 \cdot \omega^3 \cdot j + \omega^2)},$$

$$W_{\text{л}}^*(j\omega) = U(\omega) + j\omega V(\omega),$$

$$W_{\text{л}}^*(j\omega) = \frac{-59\,220,304 \cdot \omega^4 + 31\,059,6 \cdot \omega^3 \cdot j + 7\,240 \cdot \omega^2}{-2,0449 \cdot \omega^6 - \omega^4},$$

$$U(\omega) = \frac{-59\,220,304 \cdot \omega^4 + 7\,240 \cdot \omega^2}{-2,0449 \cdot \omega^6 - \omega^4},$$

$$V(\omega) = \frac{31\,059,6 \cdot \omega^3}{-2,0449 \cdot \omega^6 - \omega^4},$$

$$W_{\text{л}}^*(j\omega) = \frac{-59\,220,304 \cdot \omega^4 + 7\,240 \cdot \omega^2}{-2,0449 \cdot \omega^6 - \omega^4} + \frac{31\,059,6 \cdot \omega^3}{-2,0449 \cdot \omega^6 - \omega^4} \cdot \omega.$$

В результате получим годограф Попова, представленный на рис. 6, где частота измеряется от 0,01 до 1 000.

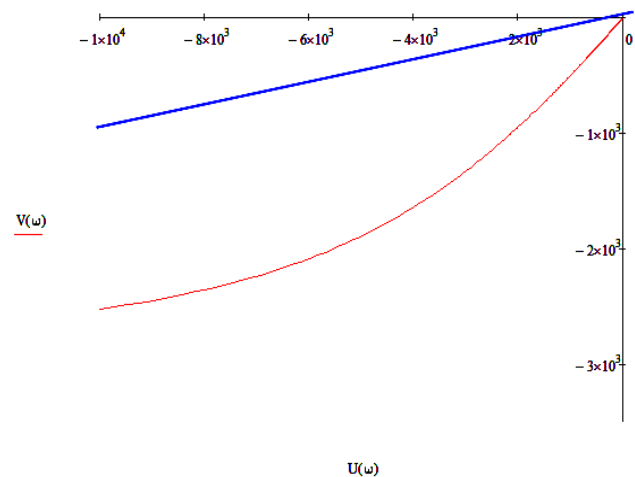


Рис. 6. Модифицированный годограф Попова

Следовательно, прямая Попова может быть проведена для любого положительного значения коэффициента передачи $k = 1$ нелинейного элемента так, что вся характеристика $W_{\text{л}}^*(j\omega)$ будет лежать справа от этой прямой.

Таким образом, исследуемая нелинейная система абсолютно устойчива при $k > 0$ [2].

Представленный в данной статье метод исследования и построения систем управления нелинейными динамическими объектами, рассмотренный на примере следящей системы автоматического управления, с учетом динамики процессов в гидроприводе, позволяет построить высококачественные системы автоматического управления, в которых имеет место уменьшение ошибки регулирования.

Библиографические ссылки

1. Иванчура В. И., Прокопьев А. П. Имитационное моделирование автоматической системы управления рабочим органом асфальтоукладчика // Передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях : тр. Междунард. науч.-практ. конф. / Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова Рос. акад. наук. М., 2011.
2. Лукас В. А. Теория автоматического управления. М. : Недра, 1990.
3. Тюкин В. Н. Теория управления. Ч. 2. Особые линейные и нелинейные системы / Вологод. гос. техн. ун-т. Вологда, 2000.

V. I. Ivanchura, A. P. Prokopiev

OPTIMIZATION OF A TRACKER SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL

The paper is devoted to theoretical and practical problems of a servo system of automatic control. The dynamical system of the working body with hydraulic stacker is considered. The task of development of a simulation model of automatic control system of the working body of the Stacker is considered with the use of Matlab & Simulink program. The results of the study are presented. The proposed method of modeling of adaptive systems of control of nonlinear dynamic objects, on the example of the tracker system of a stacker, with the account of dynamics of processes in the drive, in which the operating deviations decrease.

Keywords: automatic control, sensor system, structural and parametric optimization, system stability.

© Иванчура В. И., Прокопьев А. П., 2011

УДК 004.6

А. В. Коробко, Т. Г. Пенькова

АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ OLAP-МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ*

Описаны алгоритмы формирования интегральной OLAP-модели на основе поиска кубов-концептов по формальному контексту и построения концептуальной решетки OLAP-кубов. С применением разработанных алгоритмов построена интегральная OLAP-модель научной деятельности организации.

Ключевые слова: интегральная OLAP-модель, оперативная аналитическая обработка данных, формальный концептуальный анализ.

Эффективность оперативной аналитической обработки данных на основе технологии OLAP (On-Line Analytical Processing) во многом определяется адекватностью модели предметной области [1]. Как правило, для оперативной аналитической обработки данных создается набор локальных OLAP-моделей, представляющий собой фрагментарную аналитическую модель предметной области [2–4]. С точки зрения теории и практики интересно построение интегральной аналитической модели, объединяющей множество частных OLAP-моделей, позволяющей манипулировать всеми аспектами и характеристиками анализируемого процесса и охватывающей максимальное число решаемых аналитических задач.

Для построения интегральной аналитической модели предметной области предложен метод концептуального OLAP-моделирования на основе анализа формальных концептов, позволяющий строить интегральную OLAP-модель предметной области в виде формальной решетки многомерных кубов [5]. Реализация предложенного метода требует разработки алгоритмов поиска кубов-концептов на основе контекста предметной области и построения концептуальной решетки OLAP-кубов.

Существующие на сегодняшний день алгоритмы генерации формальных концептов подробно рассмотрены в работах [6–9]. Как правило, эти алгоритмы

разработаны без учета требований быстродействия и не ориентированы на обработку объектов OLAP-анализа.

В данной работе предлагаются алгоритм поиска кубов-концептов и алгоритм построения концептуальной решетки кубов, позволяющие формировать интегральную OLAP-модель предметной области на множестве всех объектов анализа. Свойства концептуальной решетки дают возможность оперировать всеми объектами анализа и выявлять аналитические зависимости, что повышает эффективность оперативной аналитической обработки данных.

Метод концептуального OLAP-моделирования предметной области. Метод концептуального OLAP-моделирования основан на интеграции технологии оперативной аналитической обработки многомерных данных и анализа формальных концептов [5; 10; 11].

Согласно предложенному методу, интегральная OLAP-модель предметной области представляет собой концептуальную решетку многомерных кубов. Основу интегральной модели составляет множество объектов оперативной аналитической обработки данных: множество показателей $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ и множество измерений $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$. Количественные характеристики анализируемого процесса образуют множество показателей, аспекты анализа предметной области образуют множество измерений.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (ГК № 02.740.11.0621 от 29 марта 2010 г.).