

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоемкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

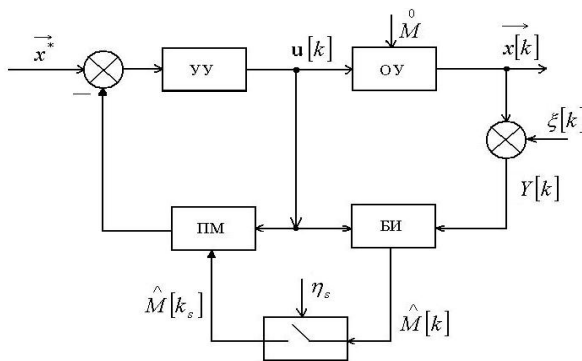


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(R)$, где $R: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

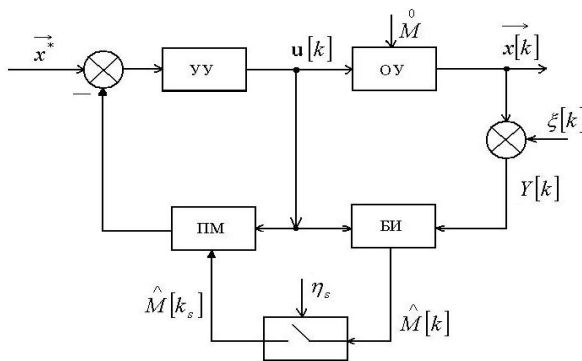


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

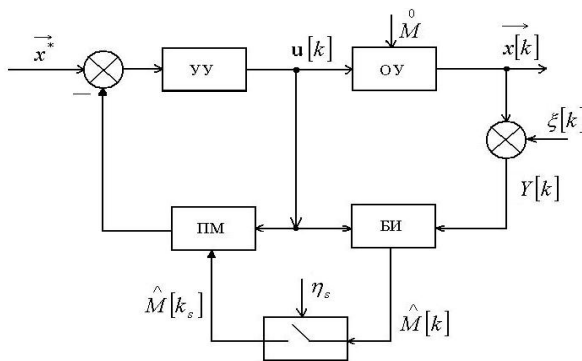


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоемкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

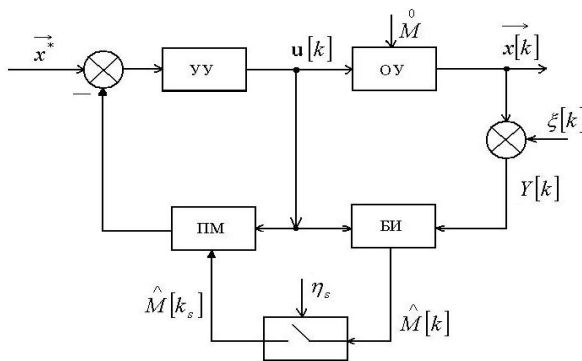


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

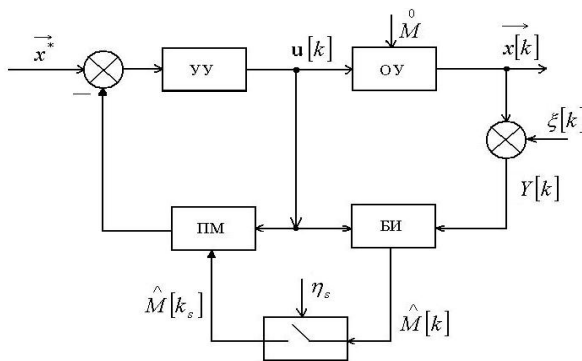


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

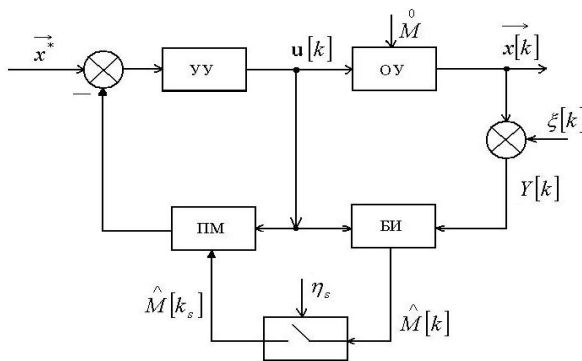


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

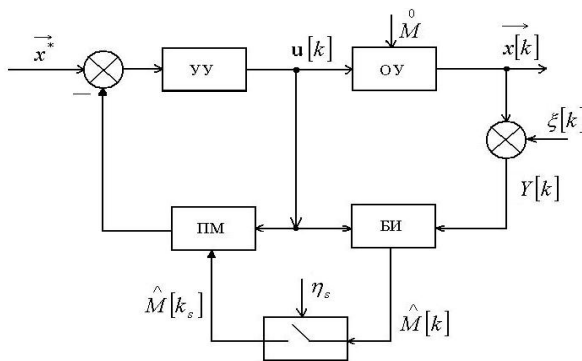


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

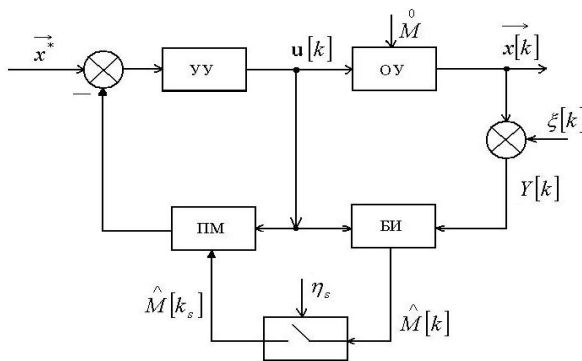


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

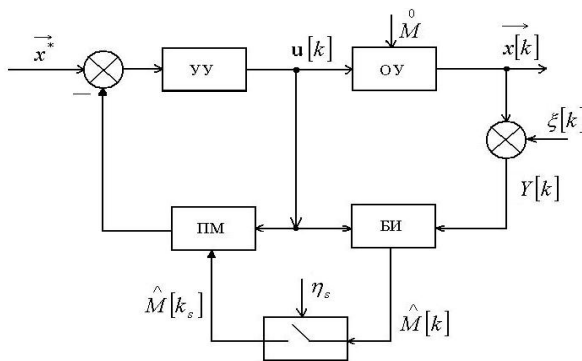


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

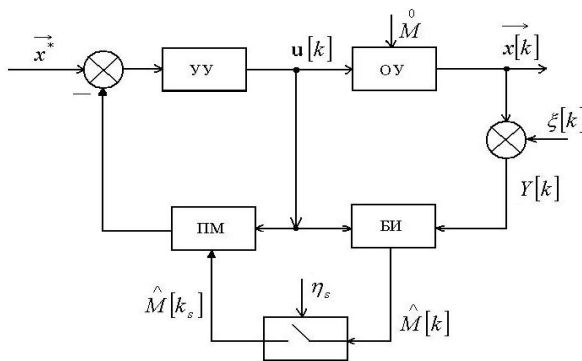


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(R)$, где $R: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоемкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

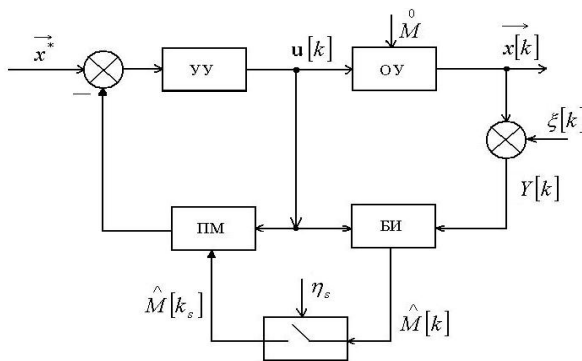


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

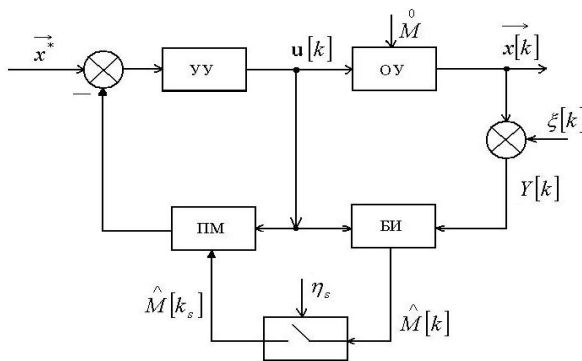


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

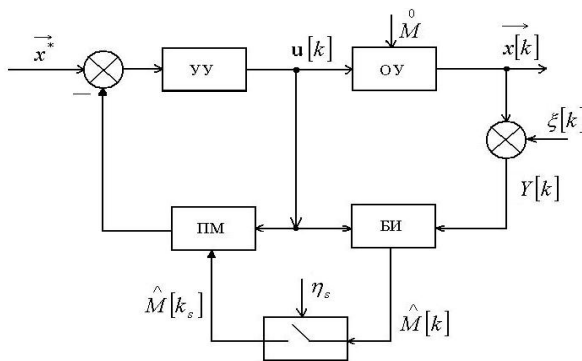


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

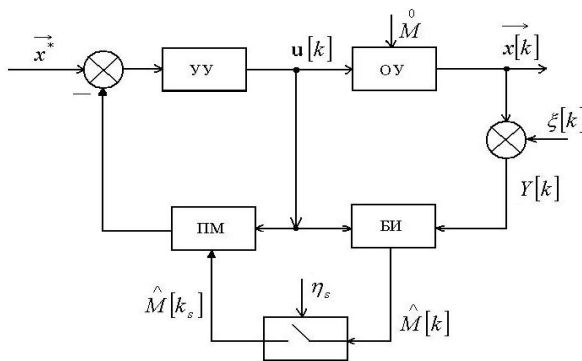


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

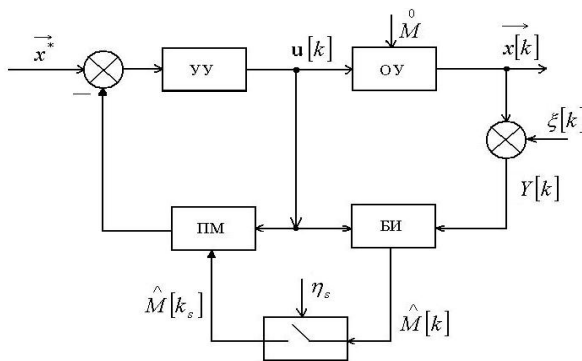


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

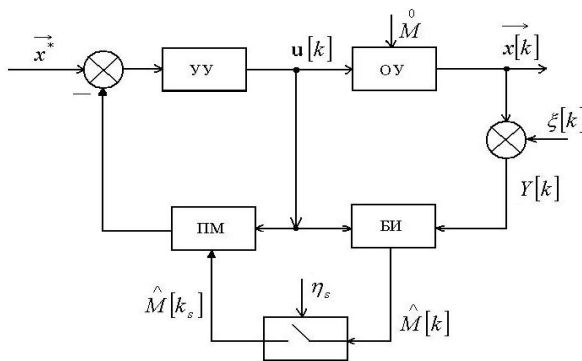


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(R)$, где $R: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

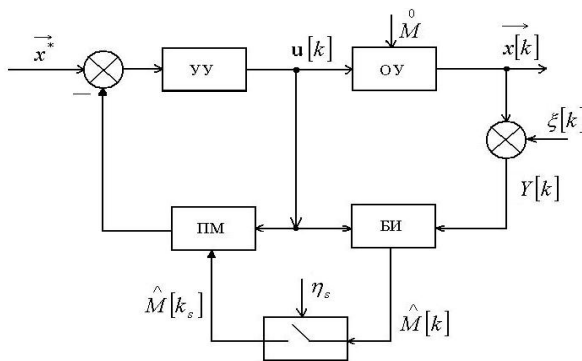


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

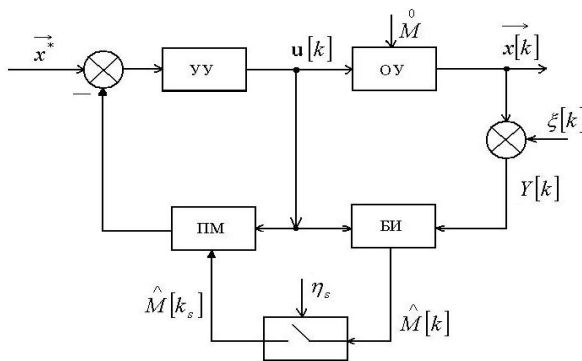


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

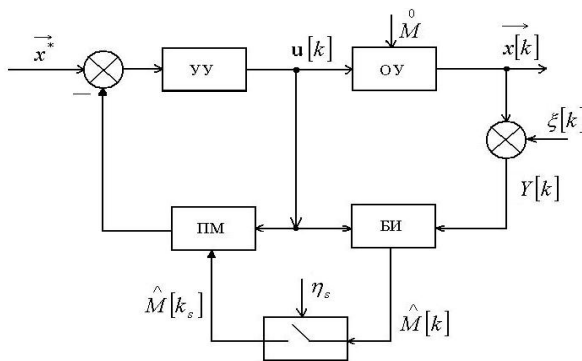


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

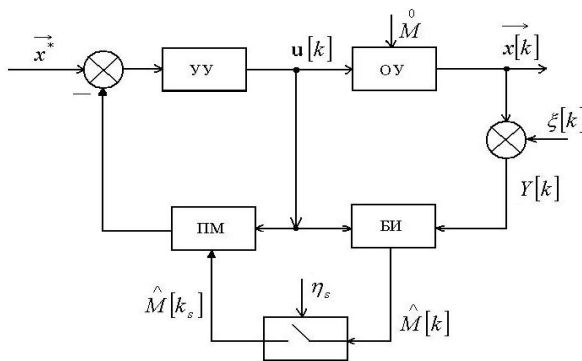


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(R)$, где $R: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

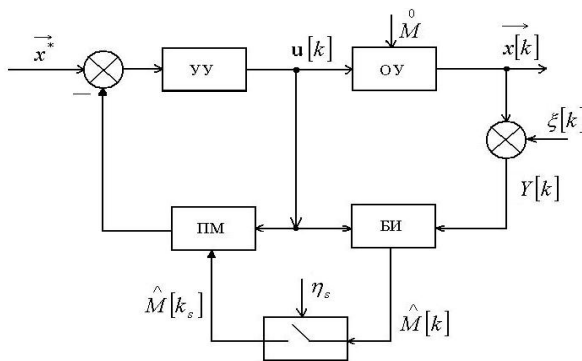


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

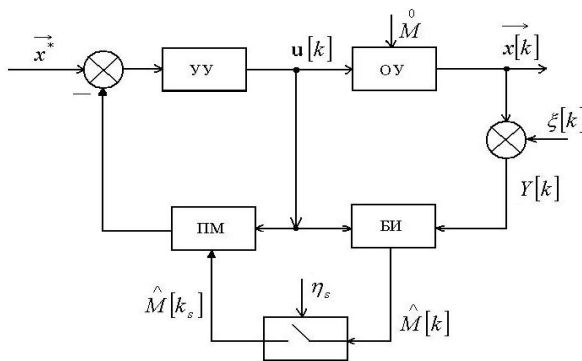


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

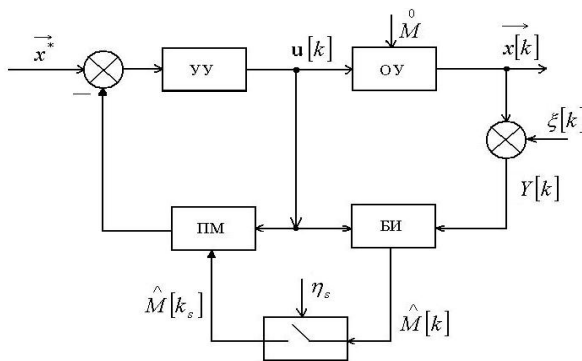


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоемкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

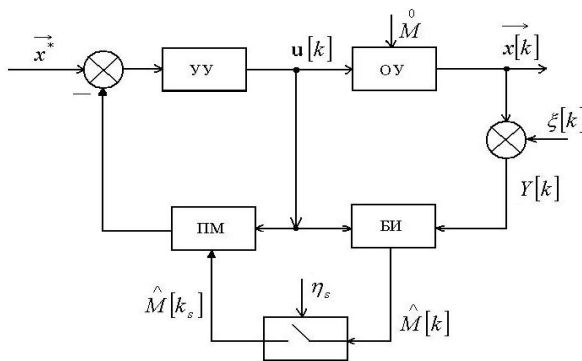


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоемкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

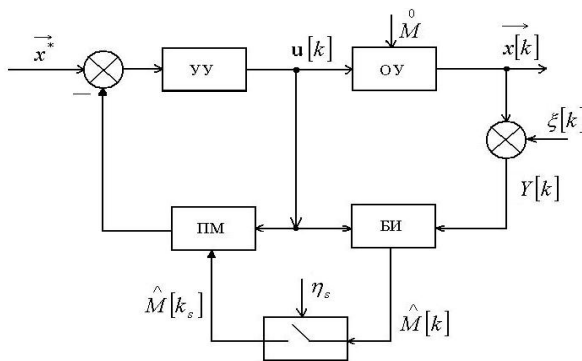


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

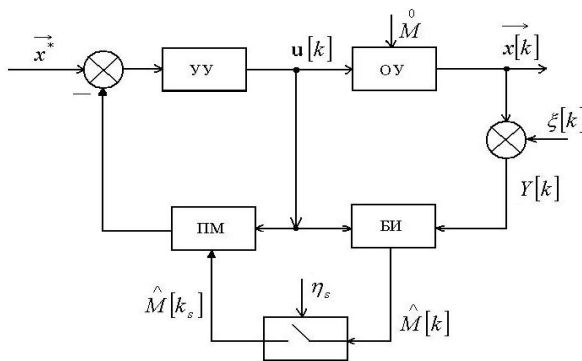


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

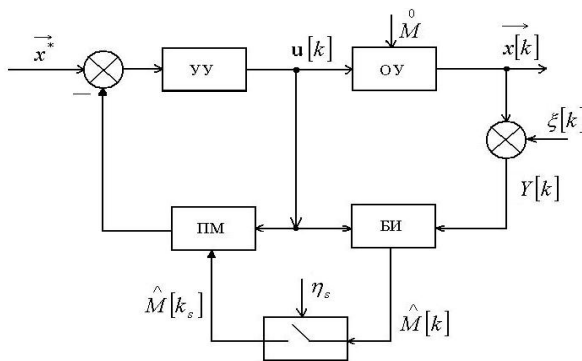


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(R)$, где $R: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

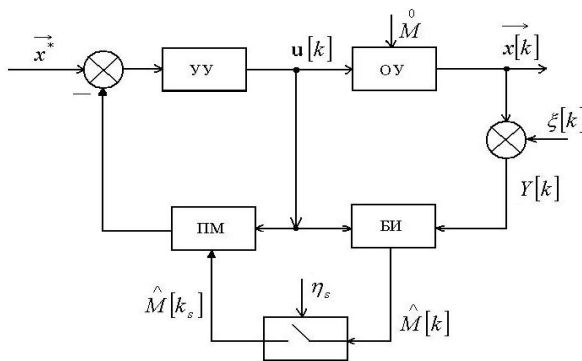


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j -й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

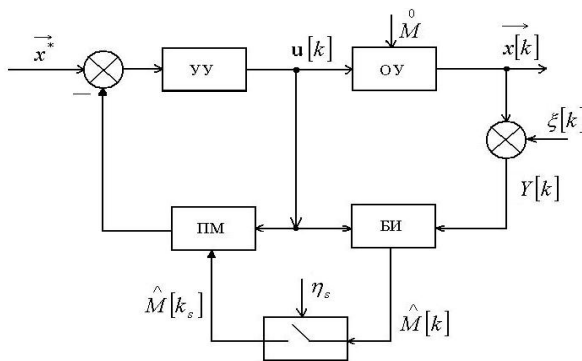


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.– СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

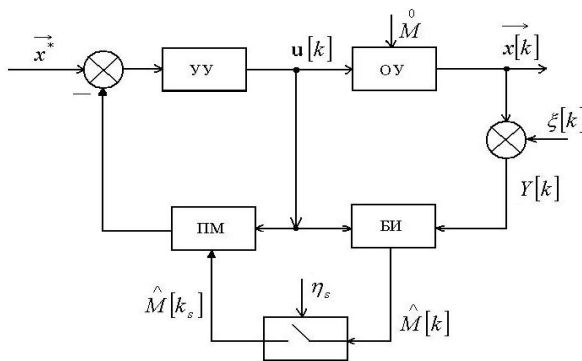


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

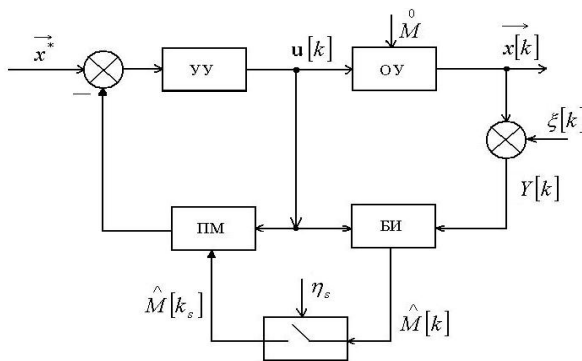


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменным x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \left\{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \right\} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

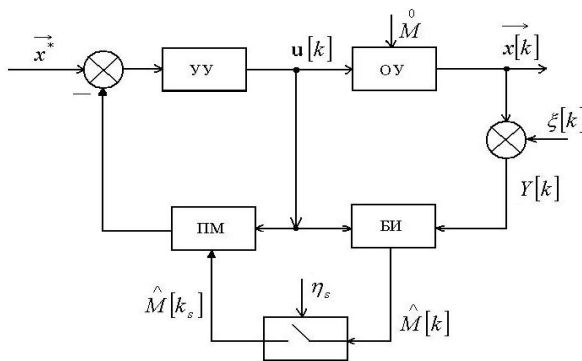


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(R)$, где $R: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. *Афанасьева О.В.* Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.

УДК 338.242

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-57-97

Аннотация – приведена методика моделирования адаптивных технологических процессов как дискретных динамических объектов управления с использованием статических моделей энергосбережения.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологический комплекс, математическая модель, устойчивость, рекуррентные алгоритмы, вектор ограничений, начальные условия.

Постановка проблемы. Анализ динамических параметров и структурно-алгоритмической гибкости систем управления кормоприготовлением показывает, что они реализуют процессы управления на основе адаптивного принципа. Технология кормоприготовления представляется в форме дискрет во времени, где решается задача управления установившимися состояниями многомерного дискретного управления с использованием модели объекта.

Анализ последних исследований. Для адаптации параметров модели, определяющих установившиеся значения ее выхода, используются рекуррентные алгоритмы эллипсоидальных оценок. В данной области выполнен целый ряд исследований [1, 2], однако во главу угла здесь ставились лишь общие показатели автоматизации без учета параметров энерго- и ресурсосбережения.

Целью исследований является разработка методики моделирования адаптивных автоматизированных технологических процессов с использованием статических моделей энергосбережения.

Основная часть. Линеаризованный технологический комплекс кормоприготовления, как дискретный динамический объект управления (ОУ), характеризуется в дискретные моменты времени $k=0, 1, 2 \dots$ векторами входов (управлений) по каналам $\vec{u}[k] = (u_1[k], \dots, u_n[k])^T$ и выходов $\vec{x}[k] = (x_1[k], \dots, x_n[k])^T$. В качестве компоненты $x_i[k]$ принимается

соответствующий энергетический поток. С каждой компонентой $x_i[k]$ вектора $X[x]$ связаны системы уравнений:

$$W_i[k+1] = A_i W_i[k] - (I - A_i) E^{-q_i} u[k], \quad x_i[k+1] = m_i^0 W_i[k], \quad (1)$$

определяющие динамические и статические свойства объекта по отношению к данному выходу. В уравнении (1) $\bar{W}_i[k] = (w_{i1}[k], \dots, w_{in}[k])^T$ - вектор фазовых координат; $A_i = \text{diag}\{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ - диагональная матрица параметров динамики; $I - (n \times n)$ - единичная матрица; $m_i^0 = (m_{i1}^0, \dots, m_{in}^0)^T$ - вектор коэффициентов усиления; $E^{-q_i} = \text{diag}\{\xi^{-q_{i1}}, \dots, \xi^{-q_{in}}\}$ - матрица операторов сдвига $\xi^{-q_{ij}} u_j[k] = u_j[k - q_{ij}]$; $q_{ij} \geq 0$ - число тактов, на которое запаздывает j - й входной сигнал; T - оператор транспонирования матрицы.

На основании исследования динамики контуров [3] рассматриваемый ОУ является устойчивым $|a_{ij}| < 1, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}$. Матрица

$M = \left\{ m_{ij}^0 \right\}_1^n$ - не вырожденная, т.е.

$$\det M \neq 0. \quad (2)$$

Начальные условия $W_i(0)$ в (1) и параметры объекта a_{ij}, q_{ij}, m_{ij}^0 имеют вероятностный характер в заданном диапазоне

$$w_{ij}^- \leq w_{ij}[0] \leq w_{ij}^+; a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij} \leq q_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0 \leq m_{ij}^+,$$

где параметры $w_{ij}^- \leq w_{ij}^+; m_{ij}^- \leq m_{ij}^0; a_{ij}^- \leq a_{ij}^+; q_{ij}^- \leq q_{ij}^+; i, j = \overline{1, n}$ задаются на основе директивных документов.

В соответствии с (2) условия качественного динамического функционирования (устойчивости объекта и времени запаздывания) необходимо выполнение условия:

$$a^* = \max_{i,j} \{ |a_{ij}^-|, |a_{ij}^+| \} < 1; q_{ij}^- \geq 0; \forall i, j, \quad (3)$$

где в этом случае уравнение контроля (измерения) параметров будет иметь вид

$$\bar{Y}[k] = \bar{X}[k] + \bar{\xi}[k], \quad (4)$$

где $\bar{Y}[k] = (y_1[k], \dots, y_n[k])^T$ - вектор измеренных значений компонент $x_i[k], i = \overline{1, n}$, вектора выходов $\bar{X}[k]; \bar{\xi}[k] = (\xi_1[k], \dots, \xi_n[k])^T$ - вектор помех в каналах измерения, которые ограничены по величине

$$|\xi_i[k]| \leq c_i, \forall k. \quad (5)$$

Константы заданы, в том смысле, что для любой последовательности $\{\xi_i[k]\}$ выполняются условия:

$$\lim_{k \leftarrow -\infty} \xi_i[k] = -\lim_{k \rightarrow \infty} \xi_i[k] = c_i. \quad (6)$$

Задан вектор $\bar{X}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)^T$ - вектор ограничений, как директивные значения энергоёмкости технологических процессов и продукции с/х производства. На основании указанных факторов строится структура модели, основные структурные составляющие которой показаны на рис. 1.

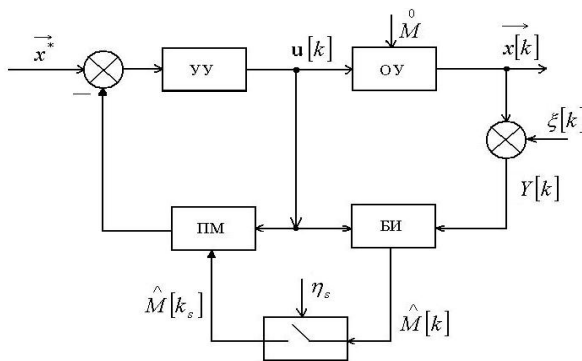


Рис.1. Структура адаптивной модели управления.

Данная модель является базой разработки алгоритма адаптации. В свою очередь, каждая модель САУ однозначно определяется набором признаков модели $P_m = \{P_m^j\}_{j=1}^k$, описывающих основные характеристики модели САУ, например: тип управления модели, составляющие подмодели и др. Выбор модели статического типа проводится путем построения набора признаков модели в соответствии с

некоторым функционально-логическим правилом отображения множества признаков $P_m = G(P_0); G(\bullet)$ - на основе гомоморфного оператора проектирования модели. Структура модели САУ определяется следующим образом $\Sigma = f(\mathcal{E}, \text{ОГ}, \text{КР})$. Здесь \mathcal{E} - эволюционное соотношение модели, характеризующее динамику управления; ОГ - ограничения модели; КР - критерий оптимизации модели. Составляющие ОГ и КР могут быть получены из набора признаков P_0 модели управления. Функционал адекватности модели принимают вид

$$AD(m, P_0) = (AD_\pi, AD_\mathcal{E}), \quad (7)$$

где $(AD_\pi, AD_\mathcal{E})$ - функционалы адекватности параметров и эволюционного соотношения модели соответственно.

Как указано в [3], параметры подобных систем представляются в виде рядов Фурье, откуда становится возможным провести оценку динамической точности системы в режиме реального времени (при условии управления режимом работы кормоприготовительного агрегата). Параметры системы, в соответствии с [2], вычислялись в предположении кратности рядов Фурье, откуда динамическая оценка качества системы для 2π -периодической функции $f(x, y)$ (в общем случае) выполнялась как для систем класса $L(\mathbb{R})$, где $\mathbb{R}: [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$. Коэффициенты такого разложения по Фату равны:

$$a_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \cos mx \cdot \cos ny \, dx dy; \quad b_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{\mathbb{R}} f(x, y) \sin mx \cdot \cos ny \, dx dy;$$

$$d_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \sin mx \cdot \sin ny \, dx dy; \quad c_{mn} = \frac{1}{\pi^2} \iint_R f(x, y) \cos mx \cdot \sin ny \, dx dy. \quad (8)$$

Уравнения системы (8) и определяют динамику системы, откуда следуют равномерные оценки точности (как интегралы Фурье-Лебега) по переменных x и y .

Вывод. изложенная методика синтеза микропроцессорной адаптивной системы позволяет эффективно определить структуру управляющего средства, закон регулирования, определить качество динамического функционирования системы.

Литература

1. Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / М.Г. Зотов.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.
2. Афанасьева О.В. Теория и практика моделирования сложных систем: учеб. пособие/ О.В. Афанасьева, Е.С. Голик, Д.А. Первухин.- СПб: СЗТУ, 2005.-132с.
3. Диордиев В.Т. Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством / В.Т. Диордиев // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь, 2010. - Вип. 10, т. 8. – С. 14-21.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ

Диордиев В.Т.

Анотація - наведено методику моделювання адаптуюся-них технологічних процесів як дискретних динамічних об'єктів управління з використанням статичних моделей енергозбереження.

THE SIMULATION FOR AN ADAPTIVE CONTROL PROCESSES

V. Diordiev

Summary

The simulation technique are given for the adaptive technological processes as a discrete dynamic objects of control with the energy conservation static model usage.