

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБНОВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Д.Ю. Муромцев, А.А. Кабанов, А.И. Козлов

*Кафедра "Конструирование радиоэлектронных
и микропроцессорных систем", ТГТУ*

Представлена членом редколлегии профессором Ю.Л. Муромцевым

Ключевые слова и фразы: автоматизация; информационные технологии; качество продукции; реинжиниринг; системы управления; энергосбережение.

Аннотация: Рассматриваются информационные технологии для автоматизированного решения задач реинжиниринга производственного процесса, разработки и последующего сопровождения алгоритмического и программного обеспечения систем оптимального управления.

Для повышения качества в настоящее время многие предприятия проводят реинжиниринг, включающий в себя ряд последовательных действий по реконструкции и усовершенствованию бизнес-процессов [1]. Мировой опыт показывает, что наиболее эффективны данные преобразования для автоматизации оборудования (76 %) и производственных потоков на заводе (87 %) [2]. Задачи реинжиниринга напрямую взаимосвязаны с качеством продукции [3], однако вопросы энергосбережения пока не получили достаточного освещения в литературе по обновлению процессов и всеобщему управлению качеством [1, 4].

Практическое выполнение начальных этапов реинжиниринга на промышленных предприятиях, использующих тепловые аппараты (печи, сушилки, теплообменники и т.п.) и установки с электроприводами, показало эффективность комплексного решения задач повышения качества и энергосбережения. На решение этих задач ориентирована интегрированная информационная технология «Энергосбережение и повышение качества» (ТЭПК). ТЭПК включает следующие программные комплексы: экспертная система "Энергосберегающее управление динамическими объектами" [5]; пакеты программ "Идентификация"; "Метод диаграмм рассеяния", "Принятие решений" и система "ТРЕЙС МОУД" [6].

ТЭПК обеспечивает выполнение в автоматизированном режиме следующих работ:

- анализ результатов гибридного эксперимента, выполненного по методике случайного баланса в сочетании с пассивным экспериментом для неуправляемых входных переменных (состав сырья, параметры окружающей среды и т.д.);
- выделение групп факторов, оказывающих существенное влияние на качество продукции и энергозатраты;
- определение квазиоптимальных режимов работы при векторном критерии качества;
- прогнозирование улучшения качества и снижение энергозатрат при использовании квазиоптимальных режимов;

- разработка алгоритмического и программного обеспечения систем автоматического регулирования и энергосберегающего управления;
- проверка робастности алгоритмического обеспечения;
- принятие обоснованных решений в условиях неопределенности, в т.ч. методами экспертных оценок.

Методика использования ТЭПК предполагает выполнение следующих работ.

1. Обследование технологических процессов на предмет составления перечня и выявления режимных параметров, а также других входных переменных, которые могут иметь влияние на качество продукции и затраты энергии.

2. Планирование и проведение эксперимента с целью определения входных переменных (факторов), которые оказывают существенное влияние на выходные показатели.

3. Анализ экспериментальных данных, в ходе которого выделяются группы факторов, существенно влияющие на качество и ресурсозатраты, и определяются квазиоптимальные режимы ведения процесса.

4. Разработка алгоритмов управления и оценка эффекта энергосбережения.

5. Проектирование и внедрение систем автоматического управления.

Наиболее трудоемкими и ответственными видами работ при реинжиниринге являются: выделение групп факторов для автоматического управления, определение квазиоптимальных режимов ведения процесса, разработка алгоритмического и программного обеспечения для управляющих устройств, а также принятие решений при рассмотрении альтернативных вариантов в ходе перепроектирования процесса.

1 Классификация факторов

Эффективность обновления процесса во многом зависит от правильной классификации факторов. Одни режимные параметры больше влияют на показатели качества продукции, другие на энергозатраты и т.д. В простейшем случае при одном показателе качества и необходимости экономии электроэнергии и топлива выделяются следующие четыре класса факторов: K_1 – факторы, влияющие на качество и не связанные со значительными энергозатратами (к-факторы); K_2 – факторы, не влияющие на качество, но связанные с большими энергозатратами (э-факторы); K_3 – факторы, влияющие на качество и энергозатраты (кэ-факторы); K_4 – факторы, влияние которых по данным эксперимента на качество и энергозатраты не выявлено (s-факторы). Степень влияния факторов на выходной показатель оценивается величиной вклада и числом выделившихся точек. Основным показателем при выделении э-факторов является доля энергозатрат на операцию, к которой относится соответствующий режимный параметр.

Алгоритмическое обеспечение управляющего устройства выбирается исходя из типа фактора: так для к-факторов основная цель управления – точное поддержание заданного значения регулируемой величины при любых изменениях возмущающих воздействий; э-факторов – оптимизация затрат энергии; кэ-факторов – минимизация рассогласования управляющего воздействия на объект с заданным значением режимного параметра и затрат энергии при соответствующих весовых коэффициентах. Для управления s-факторами могут использоваться простейшие системы регулирования.

Информационная технология, обеспечивающая автоматизированное решение задачи классификации, дает возможность визуализации результатов гибридного эксперимента (рис. 1), построение диаграмм рассеяния, определение величин вкладов факторов и чисел выделившихся точек, выделение классов к-факторов и э-факторов. Для прогнозирования улучшения качества за счет изменения заданий режимных параметров используются гистограммы выходных значений (рис. 2).

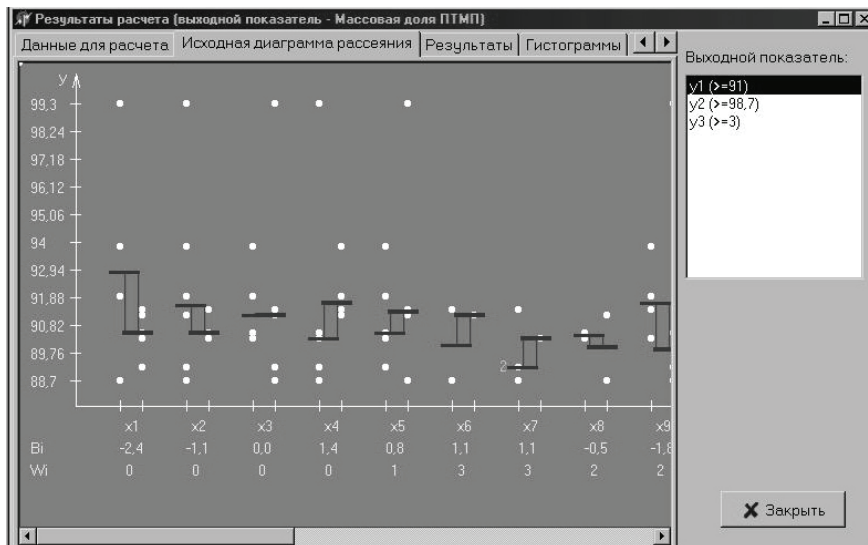


Рис. 1 Окно "Результаты расчета" закладка – "Исходная диаграмма рассеяния"



Рис. 2 Окно "Результаты расчета" закладка – "Гистограммы"

2 Определение квазиоптимальных режимов

Задача определения квазиоптимальных режимов формулируется применительно к векторному показателю качества продукции Y . Необходимость ее решения объясняется тем, что в большинстве случаев для реальных процессов в ре-

зультате проведения эксперимента отдельные составляющие вектора Y лучше в одних опытах, другие – в остальных. В основе этого обычно лежит то обстоятельство, что определенное изменение, например, в сторону увеличения, какого-либо фактора приводит к улучшению одних показателей качества и ухудшению других.

Для определения квазиоптимального режима сначала формируется подмножество Парето-оптимальных режимов. При этом используется модифицированный алгоритм, в основе которого лежит формирование "ядра" подмножества из режимов с наилучшими значениями отдельных компонентов вектора Y . Остальные компоненты сравниваются с режимами "ядра" и теми, которые эквивалентны им. Предусмотрена визуализация Парето-оптимальных режимов.

Наибольшим приоритетом при выборке одного квазиоптимального режима из числа Парето-оптимальных является "энергетический показатель", т.е. предпочтение отдается режимам с меньшими температурами, малыми выдержками при высоких температурах и т.д.

Основным результатом работ данного этапа является определение заданных значений регулируемых величин, а также программ выхода на требуемые значения режимных параметров.

3 Идентификация моделей динамики

Для разработки алгоритмического обеспечения проектируемых АСУТП необходимы сведения о моделях динамики объектов управления на множестве состояний функционирования (МСФ). Модель динамики на МСФ записывается в виде:

$$\dot{z} = f_h(z, u, t, \gamma_h), \quad y(t) = \vartheta_h z(t), \quad h \in H, \quad (1)$$

где z – n -вектор фазовых координат; u – m -вектор управления; y – регулируемая величина; t – время; h – переменная состояния функционирования; H – множество значений h ; γ_h – массив параметров модели в состоянии h ; $f_h : R^n \times R^m \times R \rightarrow R^n$; $\vartheta_h : R^n \times R \rightarrow R$ [7].

К модели предъявляются следующие требования: пригодность для решения задач оптимального управления (ЗОУ) в реальном времени; возможность "быстрой" идентификации модели при совмещенном синтезе оптимального управления (ОУ); требуемая точность. Основные трудности при идентификации модели обусловлены нелинейностью и нестационарностью объекта, наличием ошибок измерения и невозможностью получить всю необходимую информацию.

В основе алгоритмов идентификации модели лежат следующие предположения: 1) структура модели отражает реальные процессы в объекте управления; 2) данные процессы описываются известными зависимостями, например, балансо-кинетическими уравнениями тепломассопереноса и т.п.; 3) в ходе направленного изменения вектора z процессы протекают с разной интенсивностью, это позволяет выделить зоны или состояния функционирования, в которых отдельными процессами можно пренебречь; 4) границы зон можно определить по характерным точкам (экстремумы, нули) траекторий $z_i(\circ)$ фазовых координат и их производных; 5) между фазовыми координатами составных частей системы существуют уравнения связи, позволяющие понижать размерность вектора z .

Учитывая выше сказанное, модель (1) может быть представлена как много-стадийная и записана в виде дифференциальных уравнений с разрывной правой частью:

$$z = \begin{cases} A_1 \cdot z(t) + B_1 \cdot u(t), & h = h_1, \\ \dots & \\ A_k \cdot z(t) + B_k \cdot u(t), & h = h_k, \end{cases} \quad (2)$$

где A_j, B_j – матрицы параметров.

Например, для теплового аппарата, в котором происходит электронагрев жидкости, 4-х стадийная модель (2) последовательно отражает следующие процессы: 1) разогрев электронагревателя и ближайшего к нему объема жидкости; 2) естественная конвекция; 3) образование пузырьков пара (температура стенок аппарата начинает превышать температуру окружающей среды); 4) турбулентность и существенный теплообмен с внешней средой.

Подобные многостадийные модели пригодны для решения задач автоматического управления в широком диапазоне изменения фазовых координат и обеспечивают требуемую точность.

4 Синтез алгоритмов управления

Разработка алгоритмического обеспечения для управляющих устройств является наиболее ответственным и трудоемким этапом проектирования систем управления. Здесь требуется не только синтезировать алгоритм управления, что само по себе представляет сложную задачу, особенно для систем энергосберегающего управления многостадийными процессами, но и проверить практическую устойчивость системы и оценить ее робастность на МСФ. Наибольший эффект от автоматизации будет получен, если задача синтеза решается как оптимизационная. При этом варьируется вид автоматической системы (линейный или оптимальный регулятор), стратегии реализации управления (программная или позиционная), наличие оптимальной фильтрации и т.д.

Совместное использование экспертной системы "Энергосберегающее управление динамическими объектами" и системы ТРЕЙС МОУД позволяет успешно решать подобные задачи. База данных систем обладает широким спектром алгоритмов управления: от простых линейных (П, ПИ, ПИД), до энергосберегающих для многостадийных процессов, использующих комбинацию принципа максимума, динамического программирования и метода синтезирующих переменных.

Система ТРЕЙС МОУД дает возможность имитировать и сопоставлять показатели качества управления различных алгоритмов. На рис. 3 для ПИД и энергосберегающего регуляторов представлены графики зависимостей конечного времени регулирования t_k и значения фазовой координаты $z(t_k)$ при t_k от неточностей параметров модели: постоянной времени T_0 (номинальное значение $T_0 = 10$) – рис. 3, а, б и коэффициента усиления k_0 (номинальное значение $k_0 = 2$) – рис. 3, в, г.

Сравнение показателей времени переходного процесса t_k , значения регулируемой величины $y_k = z(t = T_k)$ и энергозатрат I , показывает, что в широком диапазоне изменения T_0 и k_0 энергосберегающий регулятор менее чувствителен к отклонениям параметров объекта от номинальных, которые заложены в алгоритм управления.

Важное значение имеет также проверка практической устойчивости системы на множестве состояний функционирования [9]. Пусть управляющее устройство реализует синтезирующую функцию $S(z(t), t_k - t)$, получающуюся в результате решения задачи оптимального управления при закрепленных концах траектории изменения фазовых координат z , фиксированном временном интервале $[t_0, t_k]$, ограничении на скалярное управление и минимизируемом функционале I , затраты энергии.

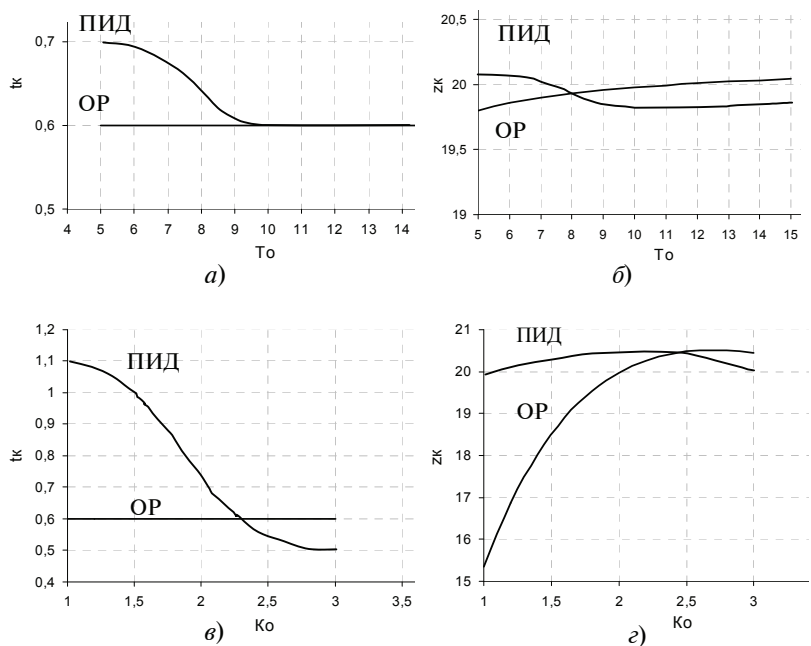


Рис. 3 Результаты исследования робастности оптимального и ПИД-регулятора

Тогда в состоянии функционирования h задача может быть записана в следующем виде:

$$\dot{z} = A_h z(t) + B_h u(t), \quad t \in [t_0, t_{kh}], \quad z(t_0) = z_{0h}, \quad z(t_k) = z_{kh},$$

$$\forall t \in [t_0, t_{kh}] : u(t) \in [u_{nh}, u_{vh}], \quad I_{\mathcal{U}} = \int_{t_0}^{t_{kh}} u^2(t) dt,$$

$$u^*(t) = S_h(z(t), \tau), \quad \tau = t_{kh} - t,$$

где z_{0h}, z_{kh} – начальное и конечное значение траектории вектора z ; u_{nh}, u_{vh} – нижняя и верхняя границы управления; A_h, B_h – матрицы параметров модели объекта.

Существование решения ЗОУ, вид и параметры синтезирующей функции при $t = t_0$ определяются начальным значением массива (вектора) исходных данных

$$R_{0h} = (A_h, B_h, u_{nh}, u_{vh}, z_{0h}, z_{kh}, t_0, t_{kh}),$$

а в текущий момент времени $t \in [t_0, t_{kh}]$ значением R_h .

Замкнутая система оптимального управления (СОУ) считается устойчивой в состоянии h при данных R_{0h} (и отсутствии внешних возмущающих воздействий), если для любого $\varepsilon > 0$ найдется такое $\delta > 0$, зависящее от R_{0h} , что из условия $\|\Delta R_{0h}\| < \delta$ следует $\|\hat{z}(t_{kh}) - z_h^k\| < \varepsilon$, здесь $\|\Delta R_{0h}\|$ – норма вектора отклонений задаваемого R_{0h} от реального; $\hat{z}(t_{kh})$ – фактическое значение вектора z в конечный момент времени.

В простейшем случае СОУ устойчива на множестве состояний функционирования H , если она устойчива на $\forall h \in H$. Под изменением h предполагается изменение любого из компонентов массива R (за исключением значения $z(t)$).

Экспертная система позволяет проверять практическую устойчивость СОУ с использованием вектора синтезирующих переменных L , который как и массив R дает информацию о существовании решения задачи, однозначно определяет вид и параметры функции оптимального управления, имеет минимальную размерность и функционально связан с компонентами массива R . На рис. 4 показаны изменения вектора L для устойчивой и неустойчивой СОУ.

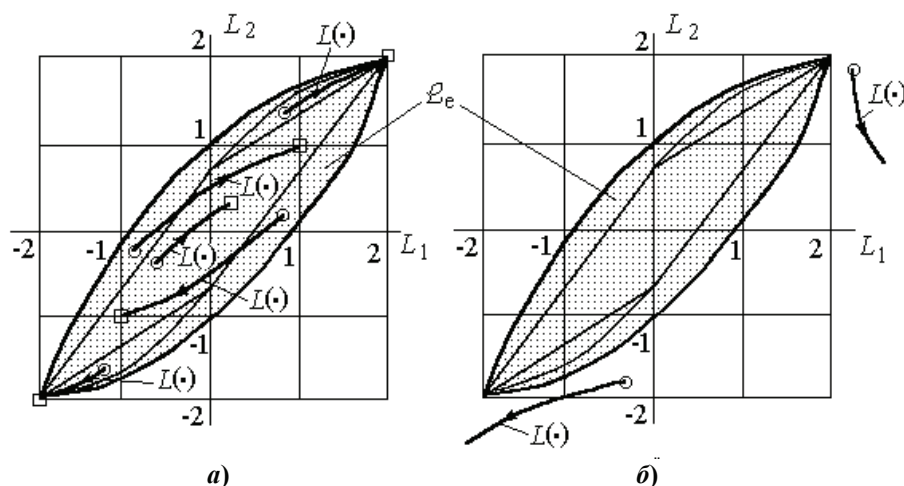


Рис. 4 Траектории изменения вектора синтезирующих переменных L для устойчивой (а) и неустойчивой (б) систем оптимального управления первого класса

Экспертная система и ТРЕЙС МОУД составляют основу АРМ проектировщика алгоритмического обеспечения. Использование метода синтезирующих переменных позволяет визуализировать процесс разработки алгоритмов СОУ. Получение программного оптимального управления или синтезирующей функции для заданного массива R выполняется за секунды. При этом может учитываться в существующих условиях ограничение на лимит энергии или запас топлива.

Для проектирования алгоритмического обеспечения в рамках многопрофильных коллективов, участники которых находятся в различных городах или фирмах, создана сетевая версия программных модулей экспертной системы "Энергосберегающее управление динамическими объектами", которая доступна по адресу в Интернет: <http://crems.web.tstu.ru>. Удаленный доступ упрощает сопровождение созданного алгоритмического обеспечения в процессе эксплуатации, корректировку его при изменении технологического процесса, т.е. позволяет внедрить основные составляющие CALS-технологии.

Следует также отметить, что последнее время прослеживается тенденция удешевления комплектующих для микропроцессорных управляющих устройств. Появились достаточно дешевые микросхемы, на основе которых можно создавать недорогие малогабаритные бортовые контроллеры. При этом доля затрат на разработку алгоритмического обеспечения для микропроцессорных управляющих устройств несколько возрастает по сравнению с аппаратными средствами. Созданные информационные технологии обеспечивают автоматизированную оперативную разработку для таких контроллеров алгоритмического и программного

обеспечения. Выбор аппаратных средств, реализующих полученные алгоритмы, осуществляется при помощи программы "Принятие решений в условиях неопределенности".

Выводы

Приведенные в статье информационные технологии позволяют оперативно, в автоматическом режиме решать задачи реинжиниринга процессов, в т.ч. выявлять компоненты для обновления бизнес процессов; выбирать для внедрения наиболее целесообразные системы автоматического управления; проектировать алгоритмическое и программное обеспечение; выполнять обоснованный выбор аппаратных средств; осуществлять сопровождение системы управления в процессе эксплуатации. При помощи информационных технологий можно оценивать качественные показатели проектируемых систем управления на множестве состояний функционирования, такие как практическая устойчивость, робастность алгоритмов при работе с неточно заданными параметрами модели объекта, выбирать для внедрения наиболее целесообразные алгоритмы управления.

Список литературы

1. Чейз Р.Б., Эквилайн Н.Дж., Якобс Р.Ф. Производственный и операционный менеджмент. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2001. – 704 с.
2. Grant Thornton Survey of American Manufacturers Annual Report. – Grant Thornton, 1993, p. 23.
3. Thomas H. Davenport Need Radical Innovation and Continuous Improvement Integrate Process Reengineering and TQM. – Planning Review, May-June 1993. – Pp. 6–12.
4. Глудкин О.П., Горбунов Н.М., Гуров А.И., Зорин Ю.В. Всеобщее управление качеством. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.
5. Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П., Капитонов И.Е. Экспертная система "Энергосберегающее управление динамическими объектами". Общие сведения // Вестник ТГТУ. – 1995. – Т. 1, №3-4. – С. 221–226.
6. ТРЕЙС МОУД. Графическая инструментальная система для разработки АСУ. Версия 5.0: Руководство пользователя. – AdAstra Research Group, Ltd – 1998. – 771 с.
7. Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П., Муромцев Д.Ю. Идентификация моделей, учитывающих изменение состояний функционирования // Обработка сигналов и полей. – 2000. – № 3. – С. 45–48.
8. Муромцев Д.Ю. Алгоритм энергосберегающего управления, использующий комбинацию принципа максимума и динамического программирования // Компьютерная хроника. – № 5. – 2001. – С. 53-58.
9. Муромцев Ю.Л., Муромцев Д.Ю., Орлов В.В. Практическая устойчивость систем оптимального управления // Вестник ТГТУ. – 2000. – Т.6, № 3. – С. 387–392.

Information technologies of updating of processes at the enterprise

D.Yu. Muromtsev, A.A. Kabanov, A.I. Kozlov

Department "Designing of radioelectronic and microprocessor systems", TSTU

Keywords and phrases: automation, information technologies, control system, updating of process, savings of energy, quality of production.

Abstract: The information technologies for the automatized decision of problems of updating of production are considered; development both subsequent support algorithmic and software of systems of optimum control.

Zusammenfassung: Es werden die informativen Technologien für den automatisierten Beschluß der Aufgaben der Erneuerung des Produktionsprozesses betrachtet; die Erarbeitungen und der nachfolgenden Begleitung Algorithmen- und der Software der Systeme der optimalen Verwaltung.

Résumé: On examine les télématiques pour la décision automatisée des objectifs de la rénovation de la production, les élaborations, l'accompagnement suivant algorithmique et le logiciel des systèmes du contrôle optimum.
