

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В MATLAB

Е.В. Никульчев (МГАПИ)

Рассматривается среда научных и инженерных расчетов MATLAB как средство моделирования и проектирования систем управления сложными техническими системами.

Введение

Математическое описание сложных технических объектов, включающих процессы, описываемые моделями с распределенными параметрами, состоит из сложных уравнений в частных производных. Использование динамических (эволюционных) уравнений позволяет решать задачи управления промышленными системами, но здесь встает проблема идентификации.

Один из первых этапов, основных применяемых в инженерной практике методик идентификации, является фильтрация шумов. Базовый принцип рассма-

триваемого подхода состоит в том, что не все колебания, наблюдаемые в системе, следует рассматривать как шум и отфильтровывать. Значительная часть флуктуаций несет информацию о сложности самой системы, о ее физической природе.

Вместе с тем, возможность локальной линеаризации сложной нелинейной системы позволяет строить вычислительно-надежные регулярные модели, т.е. модели, которые являются регулярными, но находятся на границе устойчивости. При этом в модель заложены заранее запрограммированные возмущения, приводящие систему к периодической орбите с желаемыми свойствами, моделируя, тем самым, нерегулярное поведение.

Предмет исследования

В качестве объекта исследования рассматривается процесс нагрева шоколада на кондитерской фабрике. Исходными данными являются только показания датчиков в переходных и нормальных режимах функционирования.

Система состоит из бесконтактного теплообменника, на вход которого в качестве теплоносителя подается пар. Измеряемыми параметрами являются: давление пара (теплоносителя) и выходная температура нагретого продукта. Воздействие на процесс осуществляется управляемым клапаном. Необходимо регулировать значения давления и температуры выходного продукта при заданных ограничениях на скорость роста давления пара и максимально допустимое значение температуры продукта. Разработана схема управления, представленная на рис. 1.

Сложность задачи заключается в нелинейности процесса теплообмена, и, как следствие, динамически-сложном поведении системы. Это проявляется в том, что при постоянном значении управления возникают колебания выходных параметров. На рис. 2 показано изменение состояния давления (рис. 2, а), температуры продукта (рис. 2, б) во времени. Показания аналоговых датчиков промасштабированы для регистров промышленного контроллера в диапазоне 0...4000. Значения давления пара изменяются в пределах 1...10 бар (на графике: реальное значение×4000/10); температуры: 0...150 °С (на графике: реальное значение×4000/150).

Установка в системе дополнительного клапана и еще одного, связанного с ним контура регулирования, желаемого качества управления не дали.

Таким образом, задача может быть сформулирована следующим образом: необходимо идентифицировать систему с учетом динамически-сложного поведения системы теплообмена.

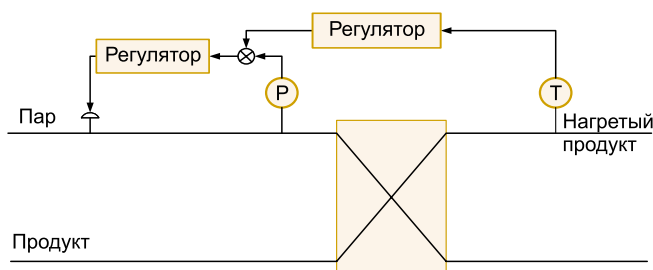


Рис. 1. Схема регулирования теплообменником

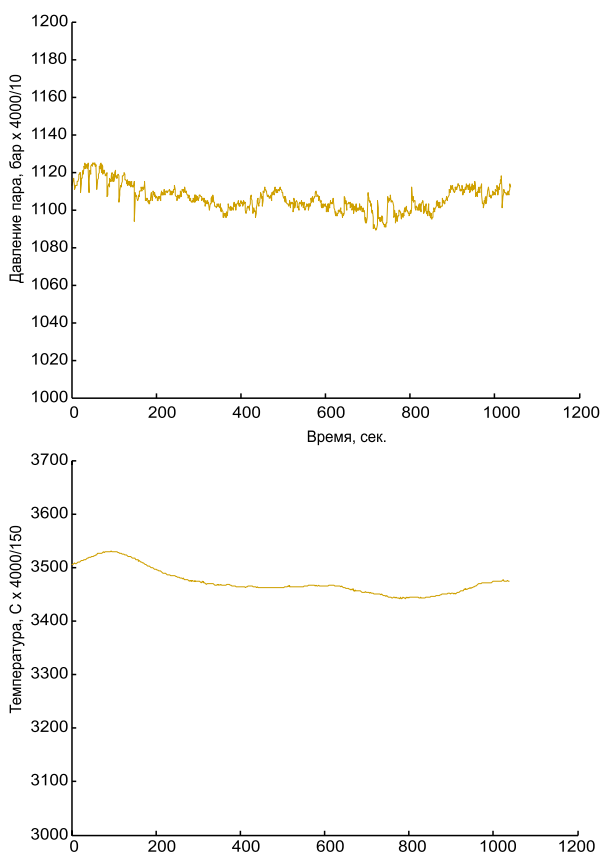


Рис. 2. Динамическое поведение системы теплообмена в установившемся режиме

Реконструкция фазового портрета

Предположим, что на основании анализа процессов можно построить дискретную динамическую автономную модель вида, которая может быть локально, в определенном смысле адекватно, описана линеаризованным уравнением вдоль периодического, возможно неустойчивого решения:

$$\Delta x(t+1) = A\Delta x(t) + B\Delta w(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ – n -мерное состояние системы; w – r -мерный вектор параметров; t – дискретное время; A – матрица Якоби, определяющая свойство устойчивости; B – матрица, определяющая линейный отклик системы на возмущения системных параметров.

Дискретные эволюционные уравнения (1) могут быть получены в результате реконструкции фазового портрета непрерывной системы, когда неизвестны динамические уравнения: $\dot{q}(t) = \hat{\Phi}(q(t), w)$.

Здесь $q(t) \in Q \subset R^S$, и $\hat{\Phi}$ – неизвестная вектор-функция в пространстве состояний. Вообще, такая реконструкция возможна тогда, когда измерение выходных процессов $y(t)$, являющихся функцией $q(t)$, доступно, и система является наблюдаемой.

Метод, позволяющий восстанавливать пространство состояний системы хаотических диссипативных систем в автономном режиме по единственному измеряемому процессу $y(t)$, был предложен Н. Паккардом и др. [1] и обоснован Ф. Такенсом [2]. При этом скалярный выходной сигнал является функцией неизвестного вектора внутренних состояний $s(t)$ системы $y(t) = H(s(t))$, и состоит в последовательном измерении $y(t)$, т. е. система может быть восстановлена на основании измерения датчиками только одного параметра технического устройства. Для ряда систем это оказалось возможным. Реконструкция состояний системы со скалярного выходного сигнала происходит с использованием временных задержек. Результатами применения этого метода, кроме построенного аттрактора, являются якобианы линеаризованного уравнения, найденные для каждой точки фазового пространства. Но такие модели не подходят для исследования методами и средствами теории управления. Известны работы по идентификации на основании нейронно-сетевых технологий и спектральному оцениванию.

Проведенные исследования показали, что в структурно-сложные технические системы допускают группы симметрий. В частности, периодические колебания в хаотических системах могут быть описаны группой симметрии сдвига с группой операций сдвига по оси времени. Ж. Кинг и И. Стеварт [3] доказали обобщение теоремы о вложениях, в которой требуется, чтобы для систем, допускающих симметрии, наблюдаемый выход был векторной, а не скалярной функцией состояния системы $q(t)$: $y(t) = G(q(t))$, отображая пространство состояний идентифицируемой системы в m -мерное евклидово пространство. Состояние системы затем может аналогично представлено координатным вектором задержки

$$x(t) = [y(t+T_1), \dots, y(t+T_1)]^T.$$

В основном этот результат проигнорирован в исследованиях по нелинейной динамике.

Разработан и обоснован математический аппарат [4], позволяющий применять параметрические методы идентификации. Так как вид уравнений эволюции неизвестен, то можно получить ответ на вопрос о возможности построения функции G на основании свойств симметрии системы, которые часто легко установить на базе основных преобразований – групп сдвига. Для систем, допускающих симметрии, можно восстанавливать динамику около неизменяемого во времени состояния \bar{q} при условии, что число измеренных скалярных выходных сигналов m равнялось числу параметров r .

Методика идентификации промышленных объектов

Автором применялся аппарат к различным моделям и реальным техническим устройствам, при этом адекватность модели функционированию системы с хаотической динамикой в квазистационарном режиме соответствовала в среднем 70...80%.

Разработана технология моделирования, состоящая из двух шагов. На первом – реконструируется и анализируется фазовое пространство; строится аттрактор и определяется размерность вложения. На втором шаге используется средство параметрической идентификации – пакет Systems Identification Toolbox среды MATLAB, с учетом найденной размерности и набором параметров $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ (которые на основании симметрии сдвига можно считать заданными линейными функциями времени $w_i = (\alpha_i t + \beta_i)$). В результате получаются уравнения:

$$x(t+1) = Ax(t) + B \cdot t; y(t) = Cx(t). \quad (2)$$

Идентификация (2) промышленных систем в режиме нормального функционирования может быть сведена к известным методам параметрической идентификации, например, разработанных Л. Льюнгом [5]. Льюнгом реализован пакет System Identification Toolbox, входящий в среду проектирования научных и инженерных приложений MATLAB. На основе полученных нестационарных моделей можно получить переходные, частотные характеристики в той же среде MATLAB [6].

Моделирование системы теплообмена

Для рассматриваемой системы реконструирован фазовый портрет (рис. 3); размерность пространства состояний $n = 3$.

Применение System Identification Toolbox с набором параметров $w = (w_1, w_2)^T$, которые в соответствии с [4] считались линейными функциями времени $w_i = t$, дает уравнения (2) с соответствующими матрицами:

$$A = \begin{pmatrix} 0.998 & 0.006 & -0.009 & 0.007 & -0.001 & -0.007 \\ 0.008 & 0.913 & 0.238 & 0.142 & 0.091 & -0.215 \\ 0.006 & 0.132 & 0.091 & -0.928 & -0.459 & -0.038 \\ -8.12 \cdot 10^{-5} & 0.008 & -0.177 & 0.356 & -0.956 & 0.097 \\ -0.001 & -0.06 & 0.803 & 0.203 & -0.145 & 0.139 \\ 0.002 & -0.006 & 0.006 & -0.003 & 0.010 & 0.661 \end{pmatrix};$$

$$B = \begin{pmatrix} -7,24 \cdot 10^{-4} \\ -0,087 \\ 0,209 \\ -0,074 \\ -0,440 \\ -0,061 \end{pmatrix};$$

$$C = \begin{pmatrix} 129,8 & -144,2 & 18,43 & -23,21 & -3,233 & -4,911 \\ 582,1 & 4,995 & 2,230 & 1,596 & -2,587 & 4,100 \end{pmatrix}.$$

Сравнение моделируемого выходного процесса с реальными данными показано на рис. 4. Видно, что модель демонстрирует сложное динамическое поведение, адекватное рассматриваемому теплообменному процессу.

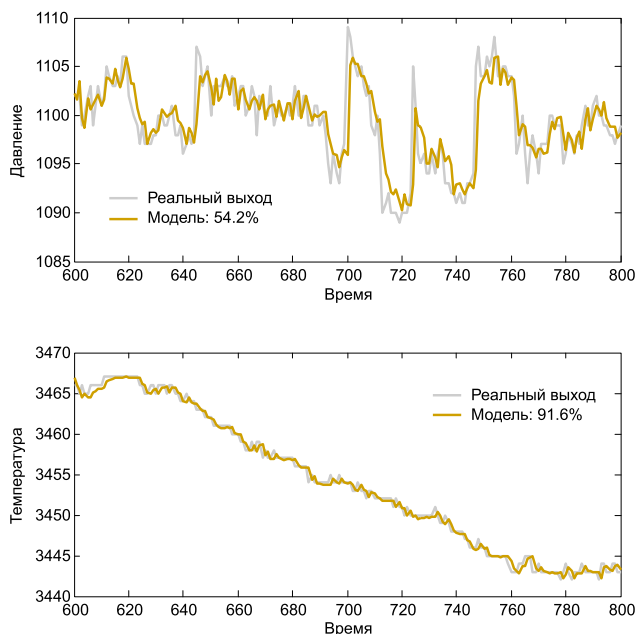


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования с реальными данными

Никุลчев Евгений Витальевич — канд. техн. наук, доцент кафедры управления и моделирования систем Московской государственной академии приборостроения и информатики (МГАПИ).

Контактный телефон (095) 268-37-75.

E-mail: nikulchev@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ЭКСПЕРТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ ИМИ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

А.С. Мандель (ИПУ РАН)

Рассматриваются возможности моделирования действий экспертов в процессе принятия ими прогностических решений. Эксперты работают при поддержке экспертно-статистической системы прогнозирования по методу аналогов ЭКСПАМ.

Введение

При решении проблемы управления предприятием важнейшую роль играет удовлетворительное по точности решение задач прогнозирования в подсистемах логистики, управления финансовыми потоками и сбытом и других организационных подсистемах предприятия. От качества решения этих задач может зависеть итоговый результат работы предприятия на конкурентном рынке — процветать, жить

дальше или разоряться. Опыт двух последних десятилетий убедительно свидетельствует о том, что полностью перепоручить решение соответствующих вопросов автоматической системе управления пока не удастся, поскольку конечный результат деятельности предприятия направлен на удовлетворение случайно меняющихся потребностей рынка, да еще в условиях его — рынка — заметной нестабильности. К тому же выборки данных, которыми располагают

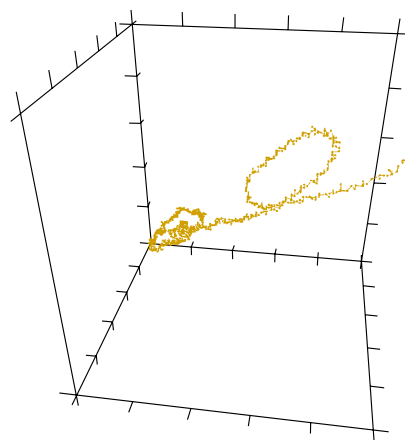


Рис. 3. Реконструированный фазовый портрет

В результате применения метода к системе теплообмена получены регулярные модели, имеющие адекватное реальному процессу поведение.

Список литературы

1. Packard N.H., Crutchfield J.P., Farmer J.D., Shaw R.S. Geometry from a time series // Phys. Rev. Lett. 1980. V. 45. P. 712-716.
2. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence // Dynamical Systems and Turbulence / Eds. D. A. Rand, L.-S. Young. Berlin, Springer, 1981. P.366-381.
3. King G.P., Steward I. Phase space reconstruction for symmetric dynamical systems // Physica D: Nonlinear Phenomena. 1992. V. 58. P. 216-228.
4. Никулчев Е.В. Использование групп симметрий для идентификации сложных систем // Вычислительные технологии. 2004. Т.9. №3.
5. Ljung L. System Identification — Theory for the User. 2nd edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, N.J., 1999.
6. Никулчев Е.В. Simulink как средство исследования дифференциальных моделей // Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2004. №1(5).