

Оптимизация выбора оборудования АСУ ТП по комплексу технико-экономических критериев (часть II)

Б.Н. ФЕШИН, д.т.н., профессор,
К.М. СУЛЕЙМЕНОВ, магистрант 2-го курса,
Н.С. СУЛЕЙМЕНОВ, магистрант 2-го курса,
 Карагандинский государственный технический университет, кафедра АПП,
А.Л.Ю. ДЕНИСОВ, студент 3-го курса физико-технического факультета
 Томского государственного университета

Ключевые слова: администрирование, параллельные процессы, кластер, параллельное вычисление, кластерные системы, управление распределением, коммуникация данных.

В [1] исследование объекта контроля и управления (ОКУ) завершилось обоснованным выбором td – периода (интервала) дискретности оценки элементов векторов X , U , f , Z математической моделей на верхнем уровне управления АСУ ТП. Продолжим процесс формирования алгоритмов выбора оборудования АСУ ТП в направлении формирования параметров моделей ОКУ универсальной системы автоматического контроля САК_7 [1].

Реальной информацией для решения множества задач САК, САР и САУ является вектор $Z(t)$, на который накладываются помехи, связанные с характеристиками каналов передачи информации, и ошибки измерения. Предположим, что уравнение выхода САУ (САК и/или САР) имеет вид

$$Z(t) = C \cdot X(t) + H_v \cdot v(t), \quad (1)$$

где $v(t)$ – вектор помех и ошибок измерения, являющийся аддитивным сочетанием детерминированных измерительных и случайных составляющих, обусловленных помехами в каналах передачи информации и ошибками измерительной системы; H_v – числовая матрица [2].

С учетом (1), непрерывные математические модели САУ (САК и/или САР) будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \dot{X}(t) &= AX(t) + B\mu(t) + Ff(t), \\ Z(t) &= CX(t) + H_v v(t), \\ X(t_0) &= X(0). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Интервал дискретности td позволяет приступить к формированию дискретных аналогов моделей (1) и (2) в виде

$$\left. \begin{aligned} X[k+1] &= AD \cdot X[k] + BD \cdot \mu[k] + FD \cdot f[k], \\ Z[k+1] &= CD \cdot X[k+1] + H_v \cdot v[k+1], \\ X[k] &= X_0 \text{ при } k=0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Матрицы модели (3) вычисляются по формулам [2,3]

$$AD = \Phi(t, t_0) = \Phi(td) = \exp(A \cdot td) \text{ при } k=0, \quad (4)$$

$$BD = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \Phi(t-\tau) B d\tau = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \Phi(k+1, td-\tau) B d\tau =$$

$$= \left[\exp(Atd) \int_0^{td} \exp(A(-\tau)) d\tau \right] \cdot B,$$

$$FD = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \Phi(t-\tau) F d\tau = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \Phi(k+1, td-\tau) F d\tau = \quad (5)$$

$$= \left[\exp(Atd) \int_0^{td} \exp(A(-\tau)) d\tau \right] F,$$

$$CD = C, \quad HD_v = H_v, \quad k=0, 1, 2, 3, \dots, \quad (6)$$

где $\Phi(t, t_0)$ – переходная матрица, являющаяся решением линейаризованного однородного матричного уравнения

$$\dot{\Phi}(t, t_0) = A \cdot \Phi(t, t_0), \quad \Phi(t_0, t_0) = E, \quad (7)$$

составленного из фундаментальной матрицы $\Phi(t, \tau) = \Phi(t, t_0)$ решений однородного уравнения соответствующего (2) при $\mu(t) = 0$, $f(t) = 0$ и начальных условиях, заданных единичной матрицей E .

Известно, что для стационарной модели (2) $\Phi(t, \tau) = \text{EXP}(A \cdot t)$ – матричная экспонента, раскладываемая в абсолютно сходящийся, для любой квадратной матрицы A при любых значениях t , матричный степенной ряд [2, 3]

$$\text{EXP}(At) = E + At + \dots + \frac{At^2}{2!} + \dots + \frac{At^i}{i!} + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A \cdot t^n}{n!}. \quad (8)$$

Очевидно, что аналитическое вычисление параметров дискретных моделей (2)-(5) по (8) представляет определенные трудности, но не является необходимым с учетом допустимой погрешности решения инженерных задач, равной 10-15%. В этом случае применяются различные численные методы приближенного вычисления $\text{EXP}(A \cdot t)$. Соответствующий алгоритм предлагается в [2, 3].

Последующие задачи, связанные с характеристиками, свойствами и ограничениями ОКУ, могут быть решены в рамках исследования математических моделей (1), (2), (3) на устойчивость, управляемость, наблюдаемость и чувствительность. С учетом наличия алгоритмов, решающих эти задачи в [2, 3], перейдем к следующим критериям (множествам K) и ограничениям (множествам O) выбора оборудования АСУ ТП:

– оценка диапазонов изменения реально измеряемых сигналов ОКУ, физических и конструктивных особенностей возможных средств и систем измерения этих сигналов (K_2);

- функциональное назначение средства измерения (K3);
- характеристика места установки (K4);
- характеристика среды в местах передачи сигнала (K5);
- требования к процессу хранения и отображения сигнала (K6);
- требования к функциональности оборудования САК (K7);
- ограничения по надежности и ремонтпригодности оборудования САК (O1);
- ограничения по метрологическим характеристикам оборудования САК (O2);
- ограничения по стоимости оборудования САК (O3).

Примечание. Множество K1 составляют параметры, определяющие выбор интервала td [1].

Для функциональной схемы АСУ ТП, изображенной в [1], энерго-химическая направленность подobjектов АСУ ТП определяет список возможных измеряемых сигналов, имеющих непосредственное отношение к потокам жидкости, в составе: температуры; давления; химического состава; уровня; расхода. К этому списку следует добавить параметры и сигналы электроприводов (например, с частотным управлением) исполнительных механизмов: амплитуд и частот напряжений, токов, активной и реактивной мощности асинхронных электродвигателей; процентного перемещения регулирующих органов; грубости (чувствительность и/или зону нечувствительности) исполнительных механизмов.

Множество K2

Оценка диапазонов изменения реально измеряемых сигналов ОКУ во многом определяет физические и конструктивные характеристики средств и систем измерения этих сигналов, а также все последующие решения по построению САК (а также САР и САУ). Для рассматриваемых подobjектов измеряемые температуры жидкости в различных точках технологического процесса могут меняться от 20 до 100 градусов Цельсия. Тогда САК этого канала измерения будет конструироваться на базе термометров сопротивления или термоэлектрических термометров (термопар). Обычно решение не может быть принято однозначно сразу и процесс становится итерационным. Возможно, есть смысл рассматривать одновременно несколько вариантов построения САК с проведением сравнительных оценок и принятием решений, определяющих последующие действия. В варианте с термометром сопротивления напрашивается использование медных термометров, имеющих линейную статическую характеристику, параметрическую зависимость выходного токового сигнала от температуры, практически неограниченное количество устройств преобразования и передачи этого аналогового сигнала в цифровую форму. На стадии принятия решения о типе измерительного устройства нет каких-либо преимуществ и у термоэлектрических термометров, обладающих также линейной статической характеристикой, потенциальным выходным сигналом в виде термо- э.д.с. и также большим количеством разнообразных вариантов аналого-цифрового преобразования сигнала. Поэтому

рекомендуется по каналу температуры остановить выбор на упомянутых вариантах и перейти к анализу следующих критериев.

Приведем некоторые замечания по другим каналам измеряемых сигналов, например, расходу жидкости. Здесь есть смысл говорить о прогрессе, существующем в средствах и методах измерения физических величин. Отработанные и отлаженные методы измерения дифференциальными манометрами успешно заменяются устройствами, использующими методы частотно-звукового зондирования («Акустрыны»), при этом существенно меняются подходы, конструкция, статические и динамические свойства каналов измерения и САК в целом.

Множество K3

Функциональное назначение средства измерения определяется отношением к предложенной в [1] классификации возможных вариантов САК. Вероятность отказа от традиционных САК_1, САК_2 по месту установки («измерил – отобразил», «измерил – передал – отобразил») существует в высокотехнологичных процессах (робототехнических, медицинских...). В технологических процессах, подобных рассматриваемым в настоящей статье, простейшие САК_1, САК_2 были, есть и будут. Функциональные особенности САК_3, ..., САК_7 определяют их конструктивную сложность и стоимость. Очевидно и здесь есть возможность выбрать для каждой САК несколько вариантов, которые есть смысл анализировать в дальнейшем. Рассмотрим подходы к построению САК_3, ..., САК_7 отдельной физической величины, например температуры.

Вариант САК_3 («измерил – преобразовал – передал – преобразовал – отобразил») предполагает преобразование аналогового сигнала (тока при использовании термометров сопротивления и напряжения, при использовании термопар) в цифровую форму, с последующей передачей в точку отображения сигнала с предварительным выбором устройства отображения – или цифрового индикатора, или монитора компьютера. В первом случае наиболее вероятным является прямое цифровое отображение сигнала индикатором, во втором – требующим наличие компьютера, специальных аппаратных и программных средств, обязательно присутствует как аппаратное, так программное преобразование сигнала. Очевидно, что техническая сложность и стоимость последнего варианта несоизмерима с первым, но в то же время последний является основой для конструирования САК_4, ..., САК_7: «измерил – преобразовал – передал – преобразовал – положил в базу данных – по требованию отобразил» (САК_4); «измерил – преобразовал – передал – преобразовал – положил в базу данных – сравнил с эталоном – принял решение – положил в базу данных и/или – по требованию отобразил» (САК_5); «измерил – преобразовал – сравнил с эталоном – принял решение – положил в базу данных и/или – передал – преобразовал – отобразил» (САК_6); интегрированный объект, включающий любой из вариантов, упомянутых выше, а также математическую модель, позволяющую восстанавливать и прогнозировать ненаблюдаемые сигналы (САК_7).

Множество K4

Определяет наличие условий, отличных от нормальных в месте установки датчика. Понятие «нормальные условия» определены и соответствуют стандартным характеристикам окружающей датчик среды: температуры, влажности, давления, отсутствия агрессивных химических компонентов, вибрации. Противоположная ситуация, то есть несовпадение условий с нормальными, должна приводить к итерационному процессу корректировки конструкции защитных оболочек датчиков и устройств, обеспечивающих его функционирование (например, источников питания). Здесь, как и ранее, есть смысл генерировать несколько возможных вариантов конструктивной защиты чувствительных элементов.

Множество K5

Характеристики среды в местах передачи сигнала определяют вектор помех и ошибок измерения $v(t)$ (см. (1)), а свойства последнего – способы и средства подавления этих помех. Здесь нужна оценка конкретной ситуации, связанной с типом информационного сигнала (электрического, пневматического, гидравлического), а также с географией и топографией трассы проводного и/или беспроводного канала передачи информации. Возможно, что оценка уровня помех потребует специальных методов и средств борьбы с ними. Например – экранирование проводного канала передачи сигналов. Очевидно, требуется многовариантный подход с оценкой как уровня помех, так и материально-финансовых затрат на создание эффективного канала передачи информации.

Множества K6 и K7

Существенные требования к процессу хранения, отображения сигнала возникают в вариантах САК, использующих электронные средства хранения данных измерений. Обычно нет необходимости хранить ординаты измеренных сигналов для всего множества $\{T = \Delta t \cdot i, i = 0, \dots, n\}$, где $T, \Delta t, i, n$ – соответственно период измерения, интервал измерения в соответствии с теоремой Котельникова [5, 6, 7], номер измерения и количество измерений. Очевидно, что применение SCADA-систем, OPC-технологии, локальных (Intranet) и глобальных (Internet) сетей позволяет покрыть все возможные и необходимые варианты реализации САК_3, ..., САК_7 и развивать их функциональные возможности практически неограниченно, в том числе включая варианты с адаптивными контурами, восстанавливающими и прогнозирующими ненаблюдаемые сигналы (в САК_7). Объем обрабатываемой информации в САК и динамические характеристики объекта измерения будут определять технические характеристики оборудования (ЭВМ, модемов...).

Ограничения по надежности и ремонтпригодности САК (O1), по метрологическим характеристикам САК (O2), по стоимости оборудования САК (O3) не являются критическими, так как аппаратные средства, приобретаемые у известных дилеров на рынке средств

и систем автоматизации технологических процессов [8, 9], изготавливаются по нормативам и стандартам МЭК [10], а стоимостные параметры аппаратуры и программного обеспечения САК варьируются в широких пределах в функции от размерности проектируемой системы и необходимой функциональности.

Составим обобщенный алгоритм выбора технических средств САК, ориентируясь на [1] и приведенные выше результаты, в виде этапов, процедур и действий, приближающих решение задачи.

1. Оценка компоненты технологического процесса как объекта автоматического контроля (ОК).

2. Анализ ОК с позиций требований к режимам и качеству функционирования. Формализация списков измеряемых сигналов ОК, влияющих и не влияющих параметров, внешних возмущений и помех.

3. Анализ прошлого опыта работы ОК (с учетом наличия систем контроля и управления).

4. Выбор типа САК из множества САК_1, ..., САК_7.

5. Оценка свойств ОК, вычисление параметров моделей ОК и td [1].

6. Исследования математических моделей (1), (2), (3) на устойчивость, управляемость, наблюдаемость и чувствительность.

7. Оценка диапазонов изменения реально измеряемых сигналов ОК.

8. Принятие решения по необходимой функциональности САК ОК.

9. Формирование (конструирование) вариантов конструктивной защиты чувствительных элементов.

10. Формирование (конструирование) вариантов канала передачи измеренной информации.

11. Принятие вариантов решений по процессу хранения и отображения, измеренных сигналов.

12. Принятие вариантов решений по программной функциональности САК ОК.

13. Оценка объемов (потоков) обрабатываемой информации в САК.

14. Определение технических характеристик оборудования (ЭВМ, модемов...) в различных вариантах САК.

15. Оценка надежности и ремонтпригодности различных вариантов САК.

16. Оценка метрологических характеристик различных вариантов САК (O2).

17. Оценка затрат на проектирование, монтаж, отладку, внедрение и эксплуатацию различных вариантов САК.

18. Сравнительный анализ вариантов САК последовательно по критериям $K1, \dots, K7$ и ограничениям $O1, O2, O3$.

19. Принятие решения по оптимальному варианту САК или по исключению отдельных вариантов САК. В последнем случае происходит переход к предшествующим этапам (с пп. 9 и далее).

20. Техническая реализация САК ОК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фешин Б.Н., Сулейменов К. М., Сулейменов Н.С. Оптимизация выбора оборудования АСУ ТП по комплексу технико-экономических критериев (часть I) // Жур. «Тр. ун-та»; КарГТУ. Караганда. 2011. № 2. С. 99-104.

2. Фешин Б.Н. Супервизорные многосвязные системы управления электротехническими комплексами горных предприятий. Алматы: Гига Трейд, 2011. 232 с.
3. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. М.: Наука. 1-й ред. физ.-мат. лит., 1987. 712 с.
4. Фешин Б.Н., Огурцов Г.Е., Парфенов С.А. Исследование многосвязной системы автоматического регулирования давления, расхода, уровня и температуры процессорной станции FESTO // Жур. «Гр. ун-та». 2009. № 2.
5. Евланов Л. Г. Контроль динамических систем. М.: Наука, 1972. 424 с.
6. Фельдбаум А.А. и др. Теоретические основы связи и управление. М.: Физматгиз, 1963. 932 с.
7. Турбович И.Г. Некоторые обобщения теоремы Котельникова // Радиотехника. 1956. 11. №4.
8. Деменков Н.П. SCADA-системы как инструмент проектирования АСУ ТП: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 328 с.
9. Андреев Е. Б., Куцевич Н. А., Синенко О.В. SCADA- системы взгляд изнутри. М.: Ртсофт, 2004. 176 с.
10. Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский Диалект, 2001. 557 с.

УДК 621.34:62.505:669.046.4

Экспериментальные исследования натяжения полосы в электромеханической системе печи термохимической обработки

О.А. ЮЩЕНКО, магистр автоматизации и управления,
Карагандинский государственный индустриальный университет

Ключевые слова: эксперимент исследование полоса, жесть, натяжение, отжиг, агрегат, тепловая обработка.

Электромеханическая система линии непрерывного горячего цинкования (ЛНГЦ) представляет собой взаимосвязанный через полосу многодвигательный электропривод. Основной технологической частью агрегата является печь термохимической обработки (ТХО), где происходит отжиг и химическая очистка металлической полосы.

Печь ТХО представляет собой сложный технологический агрегат с различными функциями отдельных камер, с большим числом возмущающих и регулирующих воздействий. Печь ТХО вертикального типа с башенным охладителем состоит из следующих основных участков: нагревательная печь с открытым пламенем, участок обработки полосы в трубчатой радиационной печи, участок струйного охлаждения, натяжная станция, участок глубокого охлаждения.

Термообработка начинается в печи с изолирующих роликов входного участка с открытым пламенем и завершается на последнем открытом участке охлаждения. При остановке головной части агрегата для замены рулона металлической полосы во время сварки концов полосы средняя технологическая часть агрегата продолжает движение на рабочей скорости, за счет выбора полосы из вертикального петлевого устройства. После запуска головной части начинается заполнение металлической полосой петлевого устройства, при этом возникают динамические процессы, приводящие к возникновению продольных колебаний в обрабатываемой полосе. В результате в обрабатываемой полосе возникают, так называемые, «складки» во время обработки в печи ТХО под действием высокой температуры, а это ведет к браку.

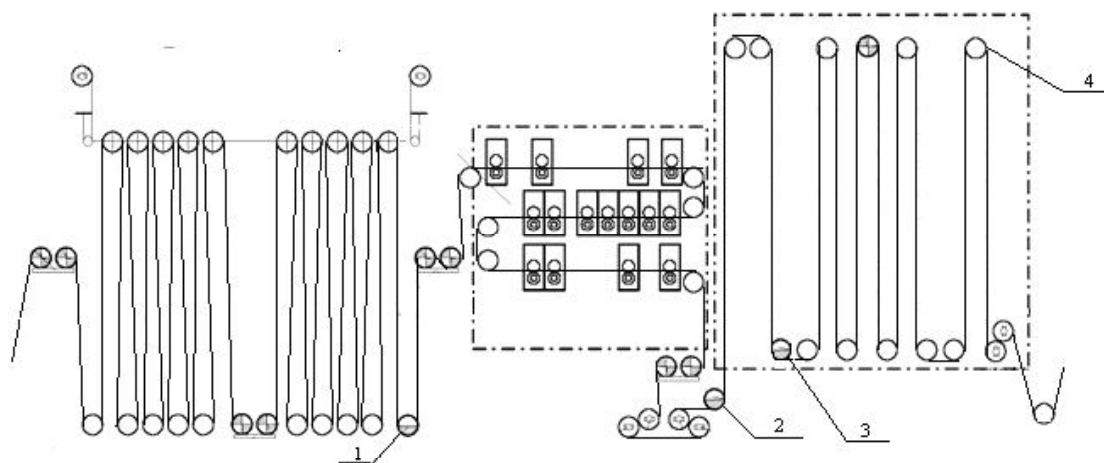


Рисунок 1 – Технологическая схема средней части ЛНГЦ