

Общероссийский математический портал

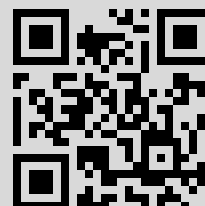
М. И. Нечепуренко, В. В. Окольнишников, Б. Н. Пицик, Моделирование сложных технологических объектов управления, *Сиб. журн. вычисл. матем.*, 2007, том 10, номер 3, 299–305

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 217.148.218.218

10 июля 2017 г., 10:18:50



Моделирование сложных технологических объектов управления

М.И. Нечепуренко, В.В. Окольнішников, Б.Н. Пищик

УДК 519.896.5

Нечепуренко М.И., Окольнішников В.В., Пищик Б.Н. Моделирование сложных технологических объектов управления // Сиб. журн. вычисл. математики / РАН. Сиб. отд.-ние. — Новосибирск, 2007. — Т. 10, № 3. — С. 299–305.

В статье рассматриваются сложные технические системы, являющиеся объектами автоматизации. Предложена структура, состав моделей, функции среды моделирования для определения оптимальной стратегии управления такими системами.

Ключевые слова: *техническая система, автоматизированная система управления технологическими процессами, имитационное моделирование, среда моделирования.*

Nechepurenko M.I., Okol'nishnikov V.V., Pishchik B.N. Simulation of complex engineering systems // Siberian J. Num. Math. / Sib. Branch of Russ. Acad. of Sci. — Novosibirsk, 2007. — Vol. 10, № 3. — P. 299–305.

In this paper, complex technical systems that are objects of automation are considered. A structure, a set of models, and functions of the simulation environment to determine an optimal strategy for the control of such systems are proposed.

Key words: *engineering system, process control system, simulation, simulator.*

Введение

В данной статье рассматриваются сложные технические системы определенного класса, являющиеся фактическими или потенциальными технологическими объектами управления для автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

АСУ ТП выполняют многие функции, одной из которых является регулирование значений некоторых контролируемых АСУ ТП параметров технической системы. Регулирование параметров можно условно разделить на непрерывное и дискретное регулирование. Примером непрерывного автоматического регулирования может быть увеличение подачи топлива при снижении температуры в котле. Примером дискретного автоматического регулирования может служить включение дополнительной горелки при снижении температуры в котле.

Непрерывное автоматическое регулирование — хорошо исследованная область автоматического управления с развитым математическим аппаратом [1].

Целью дискретного автоматического регулирования в отличие от непрерывного автоматического регулирования является не поддержание значений отдельных технологических параметров в заданных пределах, а достижение экстремума некоторой целевой функции при выполнении необходимых технологических условий.

Методы математического моделирования для исследования таких технических систем неприменимы, так как отсутствуют явные математические зависимости между параметрами системы, изменения в системе дискретны и могут иметь случайный характер, имеется большое количество альтернативных вариантов. В этом случае наиболее приемлем метод имитационного моделирования.

В п. 1 приводится описание класса технических систем, при исследовании которых используется имитационное моделирование.

В п. 2 приводится описание среды моделирования таких систем — комплексно-испытательного моделирующего стенда для решения задач дискретной оптимизации. Под задачами дискретной оптимизации понимаются определение оптимального состава технологического оборудования технической системы и стратегий (алгоритмов) управления, обеспечивающих необходимые технологические условия и экстремум заданной целевой функции.

Задачи дискретной оптимизации включают в себя как определение стратегий управления при нормальном функционировании технической системы, так и определение стратегий управления в условиях нештатных (частично неработающее технологическое оборудование) и чрезвычайных (землетрясение, пожар, террористический акт или их угрозы) ситуаций.

В п. 3 приводится опыт использования элементов описанного подхода при реализации АСУ ТП Северомуйского железнодорожного тоннеля (Байкало-амурская магистраль).

1. Технологический объект управления

Поскольку понятие “техническая система” — чрезвычайно широкое понятие, ограничимся рассмотрением технических систем, которые являются фактическими или потенциальными технологическими объектами управления некоторой автоматизированной системы управления и обладают следующими свойствами:

Неоднородность. Техническая система представляет собой конечное множество технических устройств различных типов, выполняющих определенные технологические функции. Каждое техническое устройство может находиться в одном из возможных состояний.

Число возможных состояний — конечно. Возможные состояния подразделяются на рабочие состояния и неисправности. Каждое устройство, находящееся в рабочем состоянии, оказывает определенное влияние на некоторый внутренний параметр технической системы. Некоторые комбинации возможных состояний группы взаимосвязанных устройств являются запрещенными.

Протяженность. Устройства технической системы физически распределены на некоторой территории. Расстояния между устройствами могут достигать километров.

Агрессивная среда. По физическим условиям долгое пребывание человека на месте расположения устройств технической системы либо небезопасно, либо дорого.

Управляемость. Для каждого типа технических устройств существует граф возможных переходов от одного состояния к другому. Переход каждого устройства от одного рабочего состояния к другому осуществляется либо ручной командой человека по месту расположения устройства, либо дистанционно с помощью автоматизированной системы управления.

Цели функционирования. Целями функционирования технической системы являются:

— поддержание значений внутренних, зависящих от функционирования технической системы, параметров в заданных диапазонах в зависимости от значений внешних, не

зависящих от функционирования технической системы, параметров;

— безопасное функционирование, т. е. исключение запрещенных состояний.

Цели функционирования достигаются с помощью программ автоматического управления автоматизированной системы управления, которые дистанционно переводят технические устройства из одного состояния в другое. Программы автоматического управления реализуют некоторые абстрактные алгоритмы автоматического управления.

Цена функционирования. Цена функционирования есть некоторая целевая функция, отражающая затраты материальных ресурсов, требующихся для достижения целей функционирования. Цена функционирования складывается из многих факторов, в том числе и из цены рабочего времени. Здесь под ценой функционирования понимается расход материального ресурса, вызванного выполнением того или иного алгоритма управления.

Примером такой формально определенной технической системы может быть искусственное подземное сооружение (шахта, тоннель). Техническими устройствами в этом случае могут быть вентиляторы, насосы, запорная аппаратура, роботы и т. п. Управление осуществляется с помощью АСУ ТП. Одной из целей функционирования может быть снижение уровня концентрации вредных газов в воздухе до предельно допустимой концентрации. Ценой функционирования может быть расход электроэнергии для достижения целей функционирования.

Необходимость изучения таких систем вызвана высокой опасностью неправильного функционирования, которое может нанести значительный экономический, экологический или другой ущерб, а также повлечь человеческие жертвы.

2. Комплексно-испытательный моделирующий стенд

Наиболее подходящим инструментом для исследования выше определенного класса технических систем является имитационное моделирование. Имитационное моделирование [2] является универсальным инструментом исследования и применяется для исследования систем в следующих случаях:

- при проектировании системы, когда экспериментальная проверка различных проектных решений дорога или невозможна;
- при эксплуатации системы, когда имеется большое число стратегий управления и экспериментальная проверка всех стратегий либо нецелесообразна, либо невозможна;
- при определении критических состояний системы, при которых происходит полная или частичная деградация функций системы.

В применении к моделированию технических систем рассматриваемого класса эти задачи можно сформулировать более точно:

1. Определение принципиальной возможности достижения целей функционирования технической системы при заданных технических характеристиках устройств технической системы и при заданных интервалах значений внешних параметров, определение оптимального состава технологического оборудования технической системы.
2. Определение оптимальной стратегии управления для минимизации значения цены функционирования при достижении целей функционирования технической системы.

Автоматизированные системы управления, как правило, допускают дистанционное управление отдельными устройствами и автоматическое управление (программно-логическое управление) группами устройств. Во втором случае автоматизированная система управления реализует некоторые заранее запрограммированные

алгоритмы управления.

Эти алгоритмы могут включать в себя как элементы ситуационного управления (автоматический запуск при выполнении определенных условий), так и элементы перспективного управления, базирующегося на знаниях технологии функционирования технической системы.

В обоих случаях задачей моделирования является тестирование и настройка разработанных алгоритмов управления, автоматического определения близкой к оптимальной стратегии управления при изменении внешних параметров технической системы.

Задачей моделирования является также проверка алгоритмов управления в условиях, когда часть технических устройств находится в нерабочем состоянии.

3. Определение живучести технической системы, определение поведения технической системы в чрезвычайных ситуациях.

Для адекватного воспроизведения поведения технической системы в модели желательно, чтобы модель была структурирована и структурированность модели была близка к структурированности моделируемой технической системы.

В общем случае модель может представлять собой комплекс взаимосвязанных компонентов. Компонентами общей модели могут быть процессы, подмодели или автономные модели.

Компоненты модели могут исполняться в некоторой аппаратно-программной среде моделирования — комплексно-испытательном моделирующем стенде (КИМС). Аппаратной частью КИМС может быть как автономная рабочая станция, так и локальная сеть рабочих станций.

При развитии КИМС аппаратная часть может быть расширена за счет подключения другой аппаратуры, например контроллеров, физических макетов технических устройств или самих технических устройств, если это позволяют размеры испытательного стенда.

Программная часть КИМС включает компоненты общей модели технической системы, систему поддержки исполнения моделей (Run-time System), служебные программы. Программная часть КИМС может быть расширена за счет включения различных автоматизированных рабочих мест (АРМ), баз данных (БД) и программных средств для решения других задач. Такими задачами могут быть, например, диагностика технических устройств и средств автоматизации, моделирование автоматизированной системы анализа неисправностей технической системы, управление и диагностика с использованием экспертной системы и другие.

Компонентами общей модели рассматриваемого класса технических систем являются:

- модель технических устройств;
- модель внутренних параметров технической системы;
- модель внешних параметров технической системы;
- модель системы автоматического управления;
- программа вычисления целевой функции.

Модель технических устройств. Эта модель естественным образом декомпозируется на подмодели отдельных устройств или подмодели групп устройств в зависимости от того, что является единицами управления для алгоритмов управления. Модель технического устройства имитирует во времени переход технического устройства в одно из

допустимых состояний в зависимости от команды управления.

Модель внутренних параметров технической системы. Она вычисляет значения внутренних параметров в зависимости от состояний технических устройств и значений внешних параметров технической системы.

Модель внешних параметров технической системы. Эта модель имитирует изменение во времени значений внешних, не зависящих от функционирования технической системы, параметров. Если для целей моделирования изменения значений внешних параметров не существенны, то эту модель можно исключить.

Модель системы автоматического управления. Такая модель должна включать в себя программы, реализующие алгоритмы автоматического управления, и имитировать запуск этих программ при выполнении заданных условий или интерпретировать алгоритмы автоматического управления.

Определение и задание состава подмоделей и связей между ними дает возможность поэтапного развития общей модели. На начальных этапах некоторые модели могут быть упрощенными, а затем развиваться независимо по мере необходимости.

Для разработки и выполнения компонентов моделей требуется специализированная система технологического моделирования, ориентированная на моделирование рассматриваемого класса технических систем.

Эта система технологического моделирования должна включать в себя среду разработки моделей и среду исполнения моделей.

Среда разработки моделей. Входной язык системы технологического моделирования должен быть языком комбинированного (дискретного и непрерывного) имитационного моделирования, позволяющего описывать согласованное выполнение подмоделей в условном модельном времени.

Входной язык должен обеспечивать следующие минимально необходимые для моделирования рассматриваемого класса технических систем возможности:

- задание структуры модели, состоящей из подмоделей;
- задание каналов связи между подмоделями и средства взаимодействия подмоделей;
- задержку выполнения подмодели в модельном времени и средства синхронизации выполнения подмоделей;
- генерацию случайных величин;
- обработку статистических данных;
- собственные или интегрированные средства описания систем дифференциальных и алгебраических уравнений;
- задание сценария моделирования;
- задание нестандартных и чрезвычайных ситуаций;
- задание критериев моделирования и другие.

Среда исполнения моделей. Среда исполнения моделей должна обеспечивать следующие возможности:

- совместное исполнение подмоделей в модельном времени;
- интерактивное взаимодействие с моделью;
- визуализацию результатов моделирования;
- взаимодействие с БД;
- возможность остановки модели и отложенного продолжения выполнения модели;
- возможность выполнения модели с разными скоростями.

Некоторые из этих возможностей можно сосредоточить в рамках АРМ экспериментатора.

Возможность регулирования скорости выполнения модели требуется для визуализации выполнения модели в реальном времени или в линейной зависимости от реального времени с некоторым коэффициентом. Для целей визуализации процесса выполнения моделей требуется искусственное замедление процесса выполнения. Для целей нахождения оптимального варианта из множества возможных вариантов требуется быстрый счет, возможно с отключением визуализации.

3. АСУ ТП Северомуйского тоннеля

Элементы предлагаемого подхода моделирования технических систем рассматриваемого класса были опробованы при реализации АСУ ТП Северомуйского тоннеля (АСУ ТП СМТ) [3, 4].

Прообраз КИМС для АСУ ТП СМТ был реализован в двух вариантах. В первом варианте стенд включал рабочие станции верхнего уровня АСУ ТП СМТ, соединенные локальной сетью. К сети был подключен программируемый контроллер, через который с помощью УСО (устройство сопряжения с объектом) были подключены физические макеты нескольких технических устройств. Функционирование остальных технических устройств (калориферы, вентиляторы, запорная арматура и т. д.) имитировалось с помощью модели технических устройств. Используемые операционные системы — Windows, QNX-4.

Стенд использовался как инструментальное средство для отладки подсистем АСУ ТП, в частности подсистемы управления в объеме дистанционного управления техническими устройствами и отладки, и тестирования отдельных алгоритмов управления, запускаемых диспетчером.

Во втором варианте был реализован имитационный стенд на автономной рабочей станции. Для демонстрации использовался переносимый вариант стенда, реализованный на Notebook. В состав стенда входят основные подсистемы верхнего уровня АСУ ТП СМТ и модель СМТ в составе: модель технических устройств, модель внутренних параметров СМТ, модель внешних параметров СМТ, модель системы автоматического управления [5].

В качестве модели технических устройств были реализованы модели объектов управляемого тепловентиляционного оборудования. Внутренними параметрами СМТ являются параметры воздуха внутри тоннеля (температура, скорость воздушного потока). Модель внутренних параметров вычисляет значения внутренних параметров в зависимости от состояний тепловентиляционного оборудования и значений внешних параметров.

Внешними параметрами СМТ являются температура внешнего воздуха на порталах тоннеля и движение железнодорожного состава по тоннелю.

В качестве модели системы автоматического управления использовались реализованные алгоритмы управления. С каждым алгоритмом управления связана пусковая функция. Пусковая функция — некоторая логическая функция, параметрами которой являются внутренние и внешние параметры СМТ. Алгоритм управления начинает выполняться, когда значение пусковой функции изменяется с ложного на истинное значение.

Целью моделирования являлась отладка разработанных технологами алгоритмов автоматического управления и пусковых функций. Целевая функция, отражающая цену функционирования технической системы, не использовалась.

Заключение

В статье предложены структура и функции среды моделирования технических систем, являющихся технологическим объектом управления АСУ ТП. Имитационная модель технической системы в такой среде является элементом “обратной связи” для тестирования алгоритмов автоматического управления, для решения задач дискретного регулирования и дискретной оптимизации.

Такой подход был успешно использован при разработке АСУ ТП СМТ, которая находится в настоящее время в опытной эксплуатации.

Использование предлагаемого подхода моделирования технических систем может оказаться полезным при моделировании как существующих систем управления, так и при разработке новых систем.

Модель технической системы может быть использована на различных этапах разработки АСУ ТП. Модель технической системы на этапах предпроектного обследования и технического проектирования является инструментом быстрого прототипирования системы управления, определения исходных данных, опережающей разработки алгоритмов автоматического управления.

Модель технической системы на этапах разработки и опытной эксплуатации является инструментом проверки и настройки алгоритмов автоматического управления, определения оптимальных режимов управления.

Программное обеспечение (ПО) КИМС можно разделить на зависимое и независимое от конкретной моделируемой технической системы. Независимая (системная) часть ПО КИМС является переносимой и может быть использована для быстрого моделирования другой технической системы рассматриваемого класса.

Список литературы

- [1] **Востриков А.С., Французева Г.А.** Теория автоматического регулирования. — М.: Высшая школа, 2004.
- [2] **Лоу А.М., Кельтон А.Д.** Имитационное моделирование. — СПб.: Питер, 2004.
- [3] **Pishchik B.N.** Software structure of process control system for distant railway tunnel // Proc. of the IASTED International Conference “Automation, Control, and Information Technology”. — Novosibirsk, Russia. — 2002. — P. 83–85.
- [4] **Пищик Б.Н., Нескородев В.Д., Воронцова Л.А. и др.** Автоматизация подземных сооружений на примере Северомуйского тоннеля // Тр. первой Междунар. научно-практической конф. “Исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности”; / Под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко. — СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2005. — С. 292–293.
- [5] **Окольнишников В.В.** Использование имитационного моделирования при разработке автоматизированной системы управления технологическими процессами Северомуйского тоннеля // Вычислительные технологии. — 2004. — Т. 9, № 5. — С. 82–101.

Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН,
просп. Акад. М.А. Лаврентьева, 6,
Новосибирск, 630090
E-mail: nech@rav.sccc.ru (Нечепуренко М.И.)

*Статья поступила
7 апреля 2006 г.*

Конструкторско-технологический институт
вычислительной техники СО РАН,
ул. Институтская, 6,
Новосибирск, 630090
E-mails: okoln@kti.nsc.ru (Окольнишников В.В.)
pbn@kti.nsc.ru (Пищик Б.Н.)

