

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ» — СРЕДСТВО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

М.Х. Дорри, А.А. Роцин

Рассмотрены особенности и возможности разработанного инструментального программного комплекса. Показано, что он упрощает задачу разработки исследовательских стендов, которые применяются при проектировании систем управления сложных многоцелевых объектов для имитационного моделирования, разработки алгоритмов управления, синтеза подсистем и исследования взаимодействия подсистем в динамике.

Ключевые слова: программный комплекс, моделирование, алгоритмы управления.

ВВЕДЕНИЕ

В течение длительного времени авторы настоящей статьи занимались разработками в таких областях, как управление ядерными энергетическими установками, управление движением подводных аппаратов и кораблей, информационное обеспечение повышения эффективности управления системами жизнеобеспечения муниципальных образований.

При разработке систем управления постоянно ощущалась нехватка адекватного инструмента, помогающего проверить предлагаемые решения. Зачастую средства программирования в виде языков высокого уровня и имеющиеся программные продукты не могли полностью удовлетворить наши потребности. Процесс разработки систем управления затягивался на многие недели и месяцы.

По этой причине, наряду с решением конкретных задач управления, было создано несколько инструментальных программных систем. Некоторые из них: «Радиус» (расчет динамических управляющих систем), «Экспресс-Радиус» (усовершенствованный вариант) [1] были использованы в ряде научно-исследовательских институтов и на кафедрах вузов страны. В виде публикации они получи-

ли признание за рубежом в серии книг «Studies in automation and control» [2].

В статье дается описание основных свойств нового инструментального программного комплекса РДС (расчет динамических систем) [3, 4], разработанного в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова. По нашему мнению, он может конкурировать со многими отечественными и зарубежными программными продуктами подобного типа.

Возможности программного комплекса иллюстрируются конкретными примерами. Примеры носят фрагментарный характер и преследуют цель обратить внимание на некоторые привлекательные черты комплекса РДС и подчеркнуть достаточно универсальный характер созданного программного продукта.

1. РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Первоначально в качестве программных средств исследования динамических процессов и разработки алгоритмов управления применялись универсальные алгоритмические языки программирования типа Algol, Fortran и др. Почти одновременно стали развиваться объектно-ориентированные и специализированные языки программи-



рования. Они были достаточно простыми, но, тем не менее, предоставляли целый ряд возможностей для исследователей и существенно упрощали их труд.

Бросая взгляд на развитие программных средств расчета динамических процессов, можно заметить, что универсальные средства программирования в виде языков и операционных систем, с одной стороны, и объектно-ориентированные комплексы, специализированные языки и программные продукты, с другой, — в своем развитии двигались навстречу друг другу, взаимно обогащая и дополняя свои возможности. Популярные универсальные языки программирования Basic, Fortran, Pascal, C++ и др., повинувшись велению времени, стали включать в свой состав средства визуализации и диалога. Их внешняя оболочка приобрела черты специализированных программных продуктов. В настоящее время такие среды разработки, как Visual Basic, Delphi-1,2,3, Visual C++, C++ Builder и т. п., гораздо лучше заключенного в них языкового ядра приспособлены к написанию сложных программных продуктов. В то же время, именно потребность упрощения программирования при решении задач моделирования и расчета динамических систем привели к необходимости совершенствования ориентированных средств программирования.

Можно ожидать, что в дальнейшем специализированные программные продукты еще в большей степени будут смыкаться с универсальными языками программирования и превращаться в крупные, интегрированные программные комплексы.

В настоящее время можно констатировать бурное развитие всех программных средств, предназначенных для научного и прикладного исследования организационных и технических объектов. Это развитие может в течение 10—20 лет в корне изменить представление о программировании. Оно все больше будет приобретать характер блочных конструкций или графовых моделей, в узлы которой будут включены процедуры решения более мелких задач, и будет определена логика взаимодействия блоков.

Этот процесс может стремительно видоизмениться под влиянием новых аппаратных средств, эффект от которых пока еще трудно оценить.

2. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РДС

Разработку крупных систем управления удобно начинать с создания некоторого исследовательского стенда. Под исследовательским стендом будем подразумевать программно-алгоритмический комплекс, позволяющий создавать алгоритмы управления, рассчитывать, имитировать и отображать

происходящие в системах управления процессы с максимально возможным правдоподобием. Такие системы (их иногда называют виртуальными) как бы не существуют в действительности, а только благодаря работе компьютера предоставляют наглядную информацию о протекающих процессах. На исследовательских стендах возможно моделировать систему, менять модели объектов и создавать разные алгоритмы работы подсистем, не разрушая общую структуру исследовательского стенда. Основным мотивом создания комплекса РДС было построение удобных средств разработки такого рода стендов.

Инструментальный программный комплекс РДС вообрал в себя некоторые черты известных программных комплексов, которые можно разделить на следующие группы:

- программные комплексы для моделирования и синтеза систем управления (MATLAB, LabView и т. п.);

- системы диспетчеризации и архивирования данных. Это, так называемые, SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition);

- математические пакеты (Derive, MathCAD, Maple и т. п.);

- крупные системы автоматизации моделирования технологических процессов. Сюда относятся системы, создаваемые научными центрами по авиастроению, кораблестроению, энергетике и др., в основном, для собственных нужд и не предназначенные для коммерческого использования.

Рассмотрим особенности инструментального программного комплекса РДС. Программное обеспечение комплекса состоит из следующих основных частей (рис. 1).

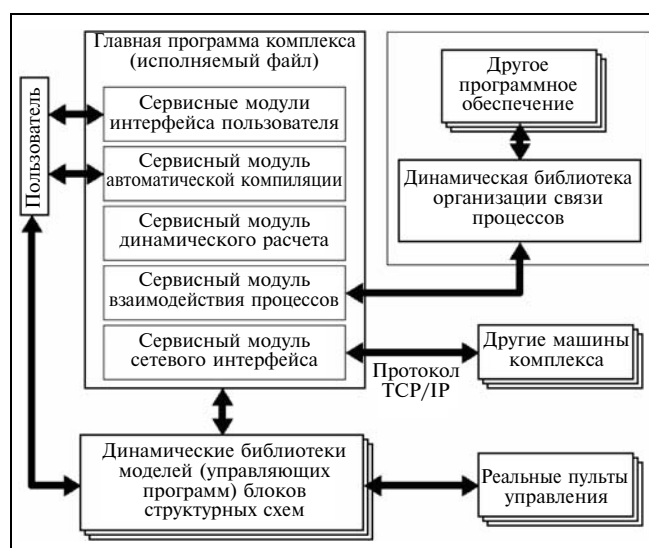


Рис. 1. Основные части программного обеспечения комплекса РДС

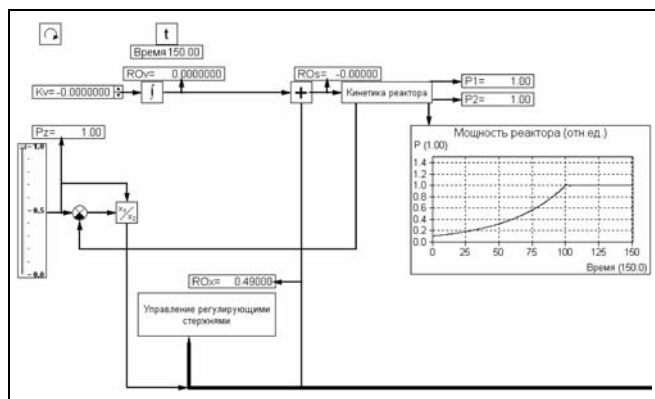


Рис. 2. Схема системы управления нейтронной мощностью ядерного реактора

- Главная программа комплекса — основной исполняемый модуль, обеспечивающий работу всего комплекса на каждой машине. В нее входит набор сервисных модулей, обеспечивающих взаимодействие различных частей комплекса между собой.
- Динамические библиотеки управляющих программ блоков РДС. Эти библиотеки обеспечивают функционирование блоков структурных схем. В них могут входить как стандартные математические модели, так и модели, созданные разработчиком самостоятельно при помощи модулей автоматической компиляции управляющих программ. Сами модули автоматической компиляции, а также программы, работающие с драйверами аппаратуры связи с объектом и систем сбора данных, тоже входят в эти библиотеки.
- Динамическая библиотека организации связи процессов, позволяющая комплексу взаимодействовать с программным обеспечением, созданным сторонними разработчиками.

В состав главной программы входят:

— модули интерфейса пользователя — самый обширный класс модулей главной программы, позволяющий разработчику создавать и редактировать схемы систем управления, наблюдать за моделируемыми процессами, задавать управляющие воздействия и др.;

— сервисный модуль автоматической компиляции — служит для взаимодействия собственно модулей автоматической компиляции, которые размещаются в динамических библиотеках вместе с моделями блоков и с главной программой комплекса;

— сервисный модуль динамического расчета — отвечает за моделирование в комплексе РДС;

— сервисный модуль взаимодействия процессов — работает вместе с библиотекой, описывающей связи, и входящей в состав комплекса;

— сервисный модуль сетевого интерфейса — служит для управления обменом данными между несколькими машинами.

Рассмотрим пример исследовательского стенда для разработки алгоритмов безопасного управления нейтронной мощностью малых ядерных реакторов на быстрых нейтронах. На рис. 2, 3 изображена схема системы и фрагменты подсистем исследовательского стенда. Уравнения кинетики реактора и функции формирования реактивности заложены в блоке «кинетика реактора» и подсистеме «управление регулируемыми стержнями». Имеется задающее устройство, позволяющее менять уровень мощности реактора. На графике и индикаторах отображается динамический процесс изменения нейтронной мощности.

В подсистемах (см. рис. 3) изображены управляющие стержни, аварийные стержни защиты, пульт ручного управления. В процессе моделирования можно наблюдать за движением стержней в стационарных и аварийных режимах работы реактора. На панели отображаются значения реактивности, вносимой каждым из стержней, и их суммарная величина.

Схема системы управления нейтронной мощностью набирается средствами комплекса РДС. Отметим, что вся анимация сделана во встроенном векторном редакторе комплекса РДС, который достаточно прост в освоении: разработчик просто рисует картинку, изображающую тот или иной узел, а затем связывает ее координаты — значение, угол поворота, цвет или видимость на экране — с одной из координат системы. Возможность мультипликации позволяет наглядно увидеть протекающие процессы и приближает комплекс РДС к

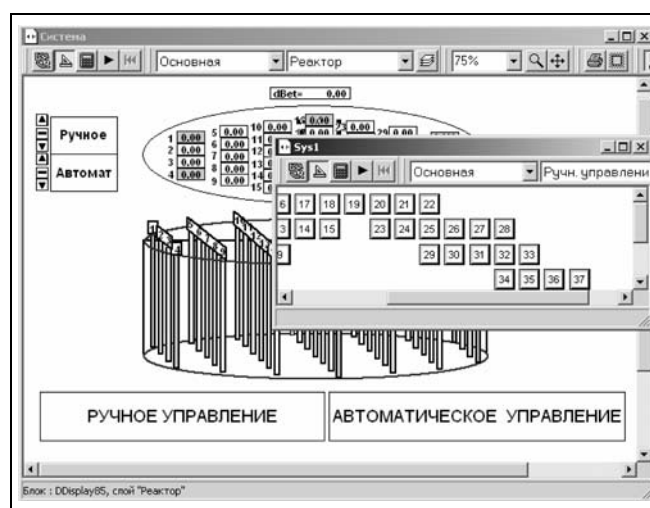


Рис. 3. Отображение работы стержней регулирования

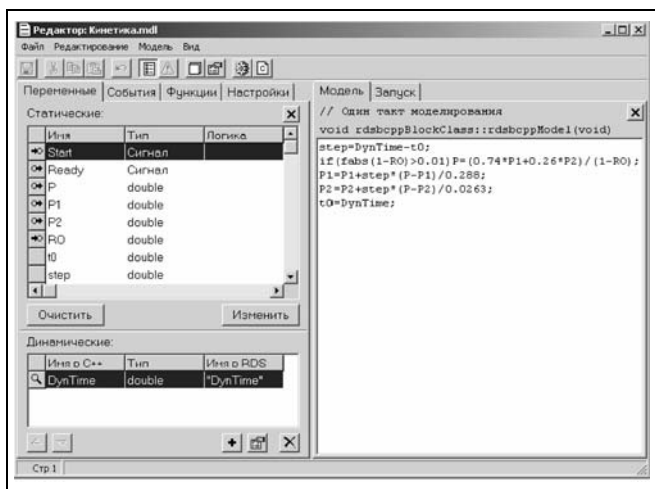


Рис. 4. Разностная модель кинетики ядерного реактора

SCADA-системам. Фактически можно говорить о виртуальных моделях управляемого объекта.

Для оптимизации параметров предусмотрены специальные блоки и интерфейс, позволяющий несколькими стандартными алгоритмами (перебор, покоординатный спуск и т. п.) находить оптимальные значения параметров управляющей системы.

Обратим внимание на простоту создания собственно блоков (рис. 4).

Кинетика ядерного реактора описывается двумя дифференциальными уравнениями.

$$P = (0,74P_1 + 0,26P_2)/(1 - RO), \text{ if } |1 - RO| > 0,01,$$

$$0,288 \frac{dP_1}{dt} + P_1 = P,$$

$$0,0263 \frac{dP_2}{dt} + P_2 = P,$$

где P — нейтронная мощность реактора в относительных единицах, P_1 и P_2 — мощности групп запаздывающих нейтронов, RO — реактивность.

Разностный вид модели при аппроксимации по Эйлерау приведен на рис. 4, где $step$ — шаг расчета. Модель написана в синтаксисе языка C++ и автоматически переводится в необходимый dll-файл и подключается к работе стенда. Это очень удобно, поскольку от исследователя не требуется высокой программистской квалификации. Важно лишь знание предмета и алгоритма расчета.

Важная черта комплекса РДС состоит в наличии видимых и невидимых слоев и их конфигураций. Размещение разных по назначению блоков и связей на разных слоях позволяет упорядочить схему и сделать ее легко читаемой, поскольку часть

схемы, с которой в данный момент не ведется работа, может быть «спрятана» на невидимых слоях.

Для осуществления связей между подсистемами широко используются шины, по которым передается комплексная информация о параметрах объекта и подсистем.

Инструментальный программный комплекс РДС успешно применялся также для разработки и других систем управления, в частности, стенда для исследования алгоритмов движения и стабилизации подводных лодок [4, 5].

Кроме средств моделирования непрерывных процессов, технологические процессы нуждаются в синтезе блоков логического управления, о которых речь пойдет далее.

4. ЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

На рис. 5 приведен фрагмент конвейера в технологическом процессе [6]. Устройства 1 и 2 выполняют действия над деталями, а устройство 3 передвигает конвейер на 1 шаг. Имеются датчики положения устройств, в зависимости от состояния которых производятся действия. На графе операций, изображенном ниже, фишка после выполнения очередной операции переходит в следующую позицию. Логика работы легко переводится в программу, которую можно описать на языках высокого уровня. Программа блока, построенная по правилам перехода от графа операций к программе, состоит из ряда фрагментов, в которых первый оператор задает условие попадания фишки в позицию, а второй — условие выхода фишки из нее.

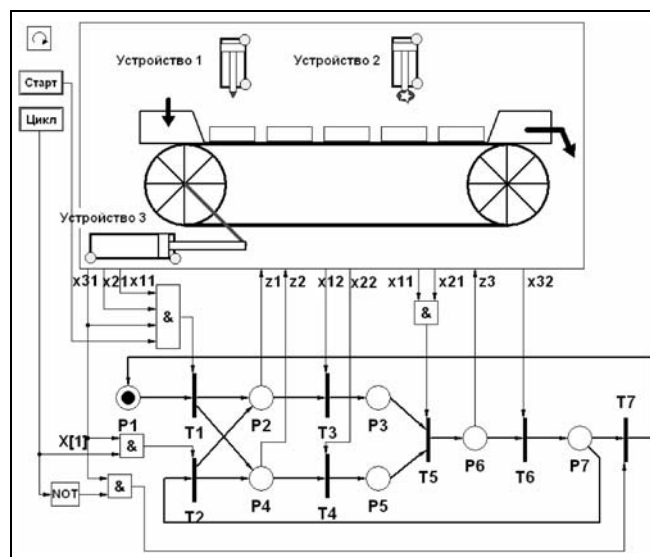


Рис. 5. Фрагмент конвейера в технологическом процессе

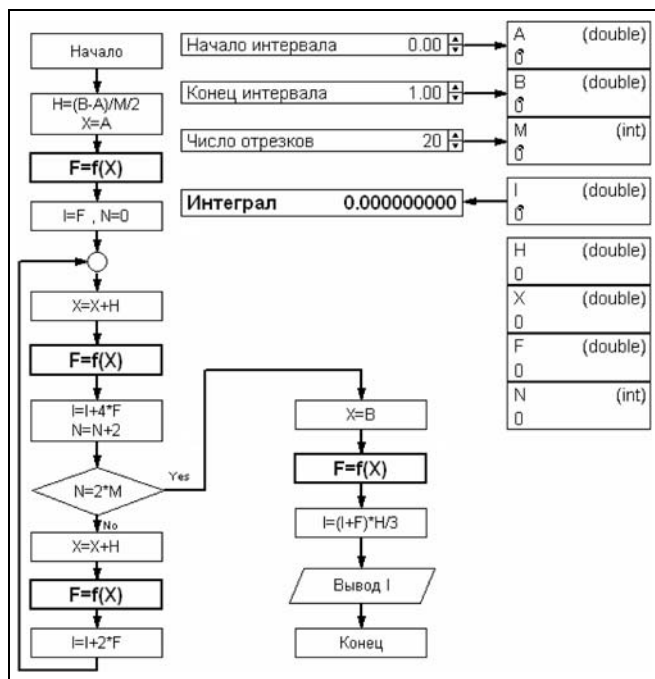


Рис. 6. Схема вычисления определенного интеграла

Блок с написанной программой непосредственно подключается к технологическому процессу и выполняет действия, предписанные графом операций.

Обратим внимание на одну из особенностей комплекса РДС — возможность задания нужной последовательности работы блоков. Любая схема, сама по себе, показывает только путь перетекания потока информации из блока в блок, но не дает информации о последовательности работы блоков. Очередность работы блоков не очень существенна в динамических процессах, где работа всех блоков происходит одновременно. Однако во многих задачах очень важна именно последовательность срабатывания блоков. В частности, такая ситуация встречается при рассмотрении алгоритмов решения вычислительных задач. В комплексе РДС заложена возможность моделирования алгоритмов, представляемых в виде схем. На рис. 6 приведена схема алгоритма вычисления определенного интеграла методом Симпсона [7].

В блоках $F = f(x)$ записывается вид исследуемой функции. На экране задаются начальные условия и выводятся результаты расчета. Задавать логику работы при рассмотрении схем алгоритмов удастся благодаря наличию в арсенале средств комплекса РДС специальной сигнальной переменной логического типа [4].

Перейдем к описанию других возможностей комплекса РДС. Следующий фрагмент показыва-

ет, каким образом комплекс РДС применялся для решения задач информационного обеспечения задач управления городом.

5. МНОГОРАЗМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ОТОБРАЖЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

С помощью комплекса РДС была составлена схема источников теплоснабжения Москвы: ТЭЦ, районные (РТС) и квартальные тепловые станции. Из этой схемы можно перейти к схеме соединения с ними потребителей (рис. 7). Пример интересен тем, что показывает, как на комплексе РДС создаются информационные системы, состоящие из нескольких тысяч объектов. При этом удастся связать объекты, представленные на схеме, с базой данных, хранящейся в СУБД Oracle, из которой можно черпать характеристики представленных объектов.

Для таких многомерных задач очень важно иметь возможность группового изменения характеристик, вида изображения и моделей группы блоков. Такая возможность заложена в программный комплекс РДС.

Рис. 7 демонстрирует еще одну, по нашему мнению, привлекательную черту программного комплекса РДС. Внутренний формат программного комплекса связывается с mif- и mid-форматами геоинформационных систем, таких как MapInfo. Это дает возможность переносить в РДС созданные в MapInfo карты и располагать объекты на карте местности. Тем самым достигается большая наглядность многих, связанных с городом, ситуаций. В приведенной на рис. 7 схеме выделены пути от источника к объекту. Автоматически рассчиты-



Рис. 7. Отображение карты местности и путей от источника тепла к объекту теплоснабжения одного из районов г. Москвы



ваются пути потоков при закрытии и открытии клапанов, отмечаются отключаемые тепловые пункты и дома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги описанию программного комплекса, следует отметить, что в процессе построения РДС были выделены более 20-ти критериев, по которым можно сравнивать аналогичные системы. Их обсуждение было бы субъективным и выходит за рамки настоящей статьи. Пакет MATLAB по насыщенности первоклассными подпрограммами, решающими те или иные проблемы анализа и синтеза систем управления, без сомнения, превосходит все известные нам системы подобного типа. Комплекс LabView и SCADA-системы выигрывают у РДС по способам связи с реальными объектами. Имеются и другие преимущества. Однако, если рассматривать все критерии, то, по нашему мнению, РДС находится в множестве Парето, т. е. по некоторым критериям уступает, а по другим превосходит аналогичные программные продукты.

Представляется, что инструментальный программный комплекс РДС, помимо решения задач моделирования и разработки алгоритмов управления, будет весьма полезен при построении тренажеров и обучающих комплексов для операторов.

При построении стендов с помощью инструментального комплекса РДС достигается:

- сокращение сроков и стоимости разработки пультов операторов, тренажеров и исследовательских стендов в несколько раз;
- обеспечение возможности построения и модификации стендов без участия высококвалифицированных программистов.

К основным достоинствам РДС мы бы отнесли:

- возможность наглядного отображения процессов с использованием графиков, легкость создания мультипликации пользователем;
- создание автокомпилируемых блоков на синтаксисе языков высокого уровня;

- наличие видимых и невидимых слоев;
- удобные средства взаимодействия подсистем по шинам;
- групповое изменение характеристик блоков;
- возможность соединения нескольких компьютеров в общую сеть;
- возможность исследования процессов в разных временных масштабах и осуществления связи с реальным объектом.

Есть и другие интересные находки, которые можно оценить только в результате работы с инструментальным комплексом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дорри М.Х., Рошин А.А.* Пакет «Экспресс-Радиус 2.1» для моделирования и исследования систем управления. — М.: Ин-т проблем управления РАН, 2000. — 97 с.
2. *Jamshidi M., Herget C.J.* Recent Advances in Computer-Aided Control Systems Engineering / Studies in Automation and Control. — Amsterdam — London — New York — Tokyo, 1992. — Vol. 9. — P. 417—429.
3. А.с. 2004611323 РФ. Расчет динамических систем (РДС) / М.Х. Дорри, А.А. Рошин. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 28 мая 2004 г.
4. *Дорри М.Х., Рошин А.А.* Инструментальная программно-алгоритмическая система для разработки исследовательских комплексов // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2008. — № 12. — С. 12—17.
5. *Dorri M.Kh., Roshchin A.A.* Multicomputer Research Desks for Simulation and Development of Control Systems // Preprints of the 17th IFAC World Congress, July 6—11, 2008, Seoul, Korea. — P. 15244—15249.
6. *Юдицкий С.А., Белоусов О.О.* Логическое управление роботизированными технологическими комплексами. — М.: Ин-т проблем управления РАН, 1986. — 68 с.
7. *Дьяконов В.П.* Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. — М.: Наука, 1987. — С. 104—107.

Статья представлена к публикации руководителем РРС О.В. Абрамовым.

Дорри Манучер Хабибуллаевич — д-р техн. наук, зав. лабораторией,

Рошин Александр Алексеевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎(495) 334-86-29, ✉dorrimax@ipu.ru.

Новые книги

Александров А.Г. Методы построения систем автоматического управления. — М.: Физматлит, 2008. — 232 с.

Бутковский А.Г. К философии кибернетики. — М.: ИПУ, 2009. — 27 с.

Горбатов В.А. Теория автоматов. — М.: АСТ; Астрель, 2008. — 559 с.

Гринин Л.Е. Макроэволюция в живой природе и обществе. — М.: URSS, 2008. — 247 с.

Митришкин Ю.В. Линейные модели управляемых динамических систем. Ч. 1. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 222 с.

Панасенко С.П. Алгоритмы шифрования. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 564 с.

Панкратов В.В. Специальные разделы современной теории автоматического управления. — Новосибирск: НГТУ, 2008. — 219 с.

Половко А.М. Основы теории надёжности. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 702 с.