

и логистической модели внутривыпускных материальных потоков между ними, что позволяет производить расчет балансов материально-энергетических потоков и анализ потерь для всего предприятия или для выбранного участка.

– Предлагаемая система позволяет выдавать оперативную и достоверную информацию в РМВ о балансе материалов при их переработке, т.е. решать главную задачу – создание системы оперативного учета, как основы для управленческого учета.

– Использование показаний приборов, интерфейс между реляционными и БД РВ, включающий модели согласования данных, позволяет максимально снизить влияние человеческого фактора на объективность фактических результатов;

– Предлагаемая система позволяет определять в режиме РВ: прямые затраты на выпускаемую продукцию; видеть отклонения от плановых и нормативных значений, а также величину потерь; анализировать причины потерь; выявлять неэффективные процессы, неиспользуемые мощности и измерительное оборудование, требующее технического обслуживания; алгоритм согласования данных при обработке текущих значений позволяет формировать в ERP объективные данные.

– Информационная система для организации оперативного учета материально-энергетических потоков на металлургическом предприятии поддерживается программными продуктами отечественного производителя ПО – фирмы АдАстра

Лубашев Юрий Александрович – Центр информационных технологий ГИВЦмет,

Благий Сергей Викторович – консультант ГИВЦмет.

Контактный телефон (095) 305-30-90. E-mail: lubashev@mecomp.ru

К ИНТЕЛЛЕКТНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ДУГОВЫМИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫМИ ПЕЧАМИ

**С.Н. Васильев, С.А. Догановский (ИДСТУ СО РАН),
В.М. Эдемский (ВНИПИСАУ)**

Предлагается концепция проектирования трехуровневой структуры системы интеллектуального управления комбинированного типа, в которой, помимо уровня нейроуправления, используются экспертные системы производственного и логического типов, различающиеся выразительной силой языка представления знаний и производительностью их обработки. Рассматривается применение интеллектуальной структуры управления в АСУТП дугowymi сталеплавильными печами (ДСП).

Концепция проектирования

В настоящее время в рамках современной теории управления и искусственного интеллекта активно формируется и развивается перспективная область исследований и разработок, именуемая интеллектуальным управлением [1, 2]. Для повышения потенциала управления при проектировании осуществляется комбинирование в современных системах управления разных интеллектуальных компонент: экспертная система верхнего уровня комбинируется с искусственной нейросетью нижнего уровня. При этом нейронная сеть обучается от экспертной системы, более априорно грубой и поначалу полностью ответственной за управление. С течением времени нейросеть

производит более точное формирование управляющего воздействия с учетом реально определяемых условий функционирования объекта. В случае резких изменений объекта и среды функционирования система вновь передает управление экспертной системе и обучение нейронной сети начинается заново.

Желание сохранить работоспособность и исключить неприемлемо большое снижение качества управления в условиях нештатных режимов функционирования заставляет расширить объем знаний (о среде и объекте функционирования), которым оперирует экспертная система. Поэтому известные в литературе проектные решения по реализации экспертной системы как производственной машины вывода над знаниями инструктивного типа, т.е. знаниями частного вида – в форме производственных правил "если-то", пересмотрен авторами в пользу введения дополнительной, обрабатывающей знания общего (вербально-лингвистического) вида, экспертной системы. Таким образом, в плане дальнейшего развития комбинационного подхода более перспективной является трехуровневая структура управления, где верхний и средний уровни представляются в виде экспертных систем логического и производственного типов ($ЭС_1$ и $ЭС_2$), различающихся выразительной силой языка представления знаний и производительностью их обработки, а нижний уровень сохраняется в прежнем виде – в форме искусственной нейросети (НС), обучаемой от двух экспертных систем верхних уровней (рис. 1).

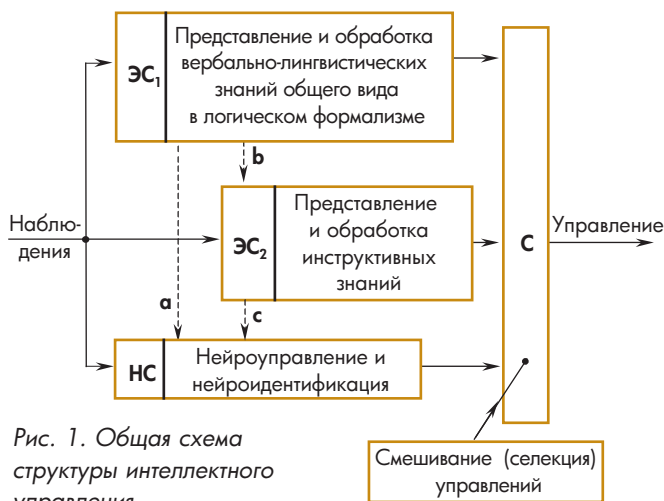


Рис. 1. Общая схема структуры интеллектуального управления

Проблематичность создания в прошлом такой, способной обрабатывать знания общего вида, системы интеллектуального управления объяснялась противоречивостью требований расширения выразительной силы языка представления знаний и обеспечения требуемой эффективности компьютерной обработки этих знаний. Появление на стыке искусственного интеллекта и традиционной теории управления новой технологии интеллектуального управления — логического управления динамическими системами на базе формализма первопорядковых позитивно-образованных формул [1] — решает эту проблему. Разработано ПО такой технологии управления в виде программного комплекса КВАНТ/1, как инструмента создания ЭС₁ и вообще интеллектуализации программных и других средств интеллектуального управления на основе нового метода представления и обработки знаний [1, 3]. При этом сохранение в структуре полной системы интеллектуального управления старых уровней (производственного управления ЭС₂ и нейроуправления) ориентировано на поддержание требуемого быстродействия (производительности) системы управления, обеспечивавшегося в старой структуре, прежде всего, стереотипностью (рефлекторностью) реакций и распараллеливаемостью вычислений в нейросети, а также в штатных режимах — правилами "если-то" экспертной системы ЭС₂.

Смешивание управлений (С) трех уровней, в основном, реализуется путем использования возрастающих приоритетов управляющих сигналов — от нижнего уровня к верхнему.

Пунктирные стрелки (а-б-с) на рис. 1 обозначают передачу накопленных верхними уровнями знаний в формах, приемлемых для нижнего и среднего уровней интеллектуального управления. Этот процесс передачи реализуется в шкале "медленного времени" в результате накопления эмпирических знаний в ходе эксплуатации и нацелен на пополнение "сверху" базы знаний экспертной системы ЭС₂ и обучающей выборки нижнего уровня для последующего более быстрого использования нижними уровнями управления переданных сверху знаний.

Нижний уровень системы (в форме искусственной НС [4], обучающейся в процессе функционирования от экспертных систем верхних уровней) обеспечивает с течением времени более точную выработку управляющего воздействия, учитывая реальные условия работы в процессе идентификации объекта. При этом рассматриваемый объект управления является сложным: многомерным, нестационарным, нелинейным, с плохо формализуемыми характеристиками его поведения, с неопределенностями и возмущающими воздействиями.

Моделирование и нейроидентификация ДСП как объекта управления

Производство стали после замены мартеновского способа на электродуговой в трехфазных ДСП имеет тенденцию неуклонного расширения в течение последних десятилетий в условиях возрастания емкости и уровня мощности печей. Электрическая дуга относится к числу источников концентрированных пото-

ков энергии [5]. Однако ее использование связано с определенными трудностями, поскольку она является неустойчивым элементом электрической цепи и требуется введение дополнительных устройств (пуско-регулирующей аппаратуры) для ее устойчивого горения. При проектировании таких устройств требуется описание статических и динамических свойств собственно дуги (дугового промежутка между электродами) для создания математических моделей в форме уравнений динамики. Однако электрический режим дуги является многокомпонентным и зависит еще от состояния окружающей среды с ее собственными изменяющимися свойствами газодинамического, теплофизического, химического, электромагнитного состава, что вызывает многомерность различающихся условий в возникновении и погасании дугового разряда [6].

Формальной основой существующих к настоящему времени математических моделей дугового промежутка как элемента электрической цепи питания дуги являются условия энергетического баланса выделяемой дугой мощности и мощности потерь энергии в окружающую среду, дополненные различными условиями влияния существующего в реальности разбаланса мощностей на основной параметр дугового промежутка — проводимость дуги.

Исследование и разработка таких математических моделей, начатые в простейших формах в работах Майра и Касси в 40 гг. прошедшего века, продолжаются и в настоящее время в различных аспектах с использованием методов теории нелинейной электротехники, физических методов теории плазмы, связи электрического режима и тепловых процессов при дуговом нагреве.

Еще более сложными представляются задачи математического моделирования всей цепи питания ДСП вместе с дуговым промежутком при управляемом изменении напряжения печного трансформатора и изменении длины дугового промежутка с помощью перемещения печных электродов. Кроме того, ДСП является мощной нагрузкой на цепи печного трансформатора, который "садится" под нагрузкой из-за резких колебаний процессов в электрической дуге по причине коротких замыканий, возникающих в результате контакта электродов с металлом при проплавлении шихты и ее обвалах. Это изменяет исходные номинальные величины напряжения и тока печного трансформатора, что, в свою очередь, ухудшает режимы работы печи и сети ее питания в условиях прохождения через систему концентрированных потоков энергии.

Благодаря случайному характеру таких процессов в электрической дуге, изменению длины межэлектродного промежутка и нагрузки печного трансформатора, изменению моментов зажигания дуг в трехмерной (трехфазной) связанной системе, ДСП проявляет себя как многомерный нелинейный, нестационарный объект координатно-параметрического управления.

Анализ работы ДСП традиционными математическими методами показывает, что получаемые с большими трудностями и различного вида допущениями о плохо формализуемой предметной области (режимах функционирования ДСП) математические модели в форме уравнений динамики имеют неточный и неполный (отвлеченный) характер, а их структурная и параметрическая идентификация представляет новую, трудноразрешимую задачу.

Поэтому альтернативной целью современных исследований является обоснование целесообразности построений математических моделей ДСП в нейросетевом базисе [4]. Известны различные способы применения искусственных нейронных сетей для разработки имитаторов поведения динамических объектов, основанные на понимании таких фактов, что нейронная сеть по существу является модельной структурой типа "черного ящика" и адаптивно настраивается (обучается) под любую другую структуру (объект имитации), реализуя параллельную обработку информации. Таким образом, нейросетевая модель есть адаптивно настраиваемая искусственная нейронная сеть, обучаемая с целью минимизации рассогласования выходов объекта и модели в условиях задания на их входы общего входного воздействия и достаточной представительности обучающей

выборки, которая может быть получена путем наблюдения за реальной динамикой в виде множества данных вход/выход.

Используются обучающиеся искусственные нейронные сети типа многослойного персептрона и радиального базиса для моделирования ДСП. На реальной ДСП наблюдаются значения напряжения, тока дуги и скорости его изменения, для чего применяются датчики производной тока – пояса Роговского. Наблюдается такой же по составу вектор состояний обучающей нейронной сети как у идентификатора (эмулятора) характеристик ДСП. Проведены экспериментальные исследования, обосновывающие эффективность применения методологии более быстро обучаемой нейронной сети радиального базиса для моделирования поведения ДСП на основе сравнения получаемых результатов. Отмечается, что нейронная сеть использует при своем обучении реальные данные, учитывающие, в том числе, и возмущающие воздействия в объекте, а потому число допущений, вводимых обычно при исследованиях традиционными методами, сведено к минимуму. Показано, что обученная нейронная сеть может успешно аппроксимировать искомые уравнения динамики процессов в ДСП, несмотря на влияние возмущающих воздействий, нелинейности и нестационарности характеристик ДСП [7].

Проектирование структур интеллектуальных систем управления ДСП

Остановимся подробнее на известных подходах к решению рассматриваемой задачи. Рассматриваются проектирование и разработка интеллектуальной системы управления ДСП, осуществленные фирмой Neural Applications Corporation (в Коралвилле) [8]. Такая система предназначена для управления ДСП с помощью исполнительных устройств перемещения и позиционирования электродов. Она представляет собой результат комбинирования двух интеллектуальных компонент: производственной экспертной системы и обучаемого нейросетевого регулятора, функционирующего совместно с нейросетевой моделью объекта – нейросетевым эмулятором ДСП. Структурная схема такой системы управления приведена на рис. 2, а структура обобщенного регулятора перемещения электродов – на рис. 3.

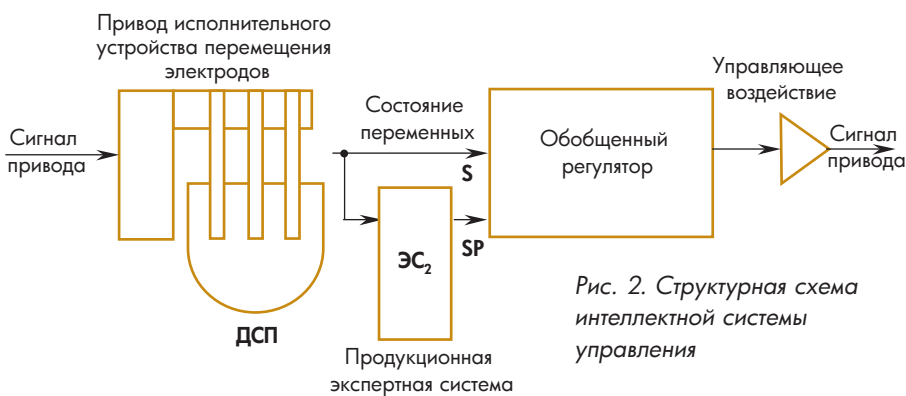


Рис. 2. Структурная схема интеллектуальной системы управления

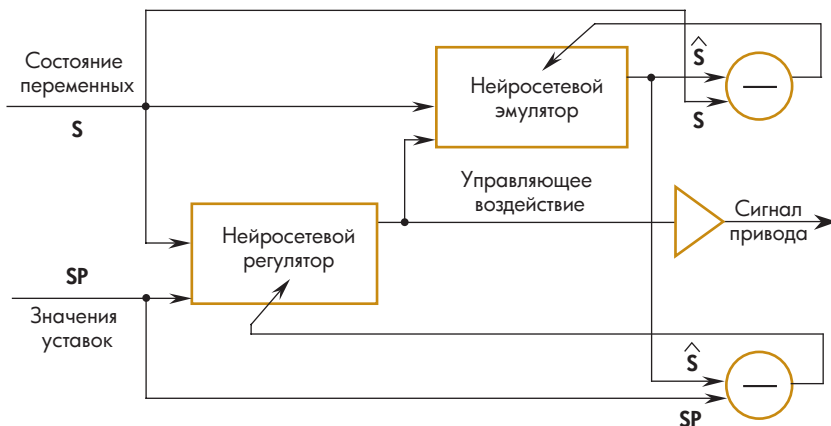


Рис. 3. Структурная схема управляющего устройства с нейросетевым регулятором и нейросетевым эмулятором

В [8] приводятся экспериментальные данные, основывающиеся на опыте работы ДСП и необходимые для разработки производственной системы ЭС₂, вырабатывающей значения уставок регулятору SP по имеющимся наблюдениям S за состоянием переменных ДСП. На выходе регулятора формируется управляющее воздействие, которое после усиления поступает на исполнительное устройство привода перемещения электродов ДСП.

Использована типовая аппаратура экспертной системы типа CONTROLTECHII от Moletech НОН Company (Давенпорт). В структуре обобщенного регулятора на исходном этапе работы используется стандартный регулятор от Robicon Corporation (Питтсбург), который затем передает свои функции управления нейросетевому регулятору, причем процессы обучения нейросетевого эмулятора и регулятора осуществляются в разделяющиеся отрезки времени, а настройка (адаптация) весовых коэффициентов нейросетей основывается на минимизации критериев от различающихся ошибок (рис. 3).

Конструктивно обобщенная схема регулятора выполняется с позиций унификации ее элементной базы, чтобы иметь одну и ту же приборную реализацию. Для этого осуществляется моделирование нейронных сетей с помощью средств программ-эмуляторов для персональных ЭВМ и рабочих станций, вычислительных мощностей которых достаточно для решения прикладных задач в данной области. Они содержат необходимые аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи сигналов и блоки памяти наблюдаемых данных. В силу такой унификации разработанная система (АСУ ДСП) относится технологами к типу АСУТП [9].

В отличие от приведенного примера, в данной работе мы используем трехуровневую систему управления ДСП, в которой экспертная система верхнего уровня ЭС₁ базируется на логическом формализме представления и обработки знаний общего вида, а нижние уровни реализуются по-прежнему (в форме производственного управления и в форме нейроуправления). Необходимость именно такого дополнительного уровня над экспертной системой производственного типа ЭС₂ вызывается тем, что на различных этапах работы ДСП должно осуществ-

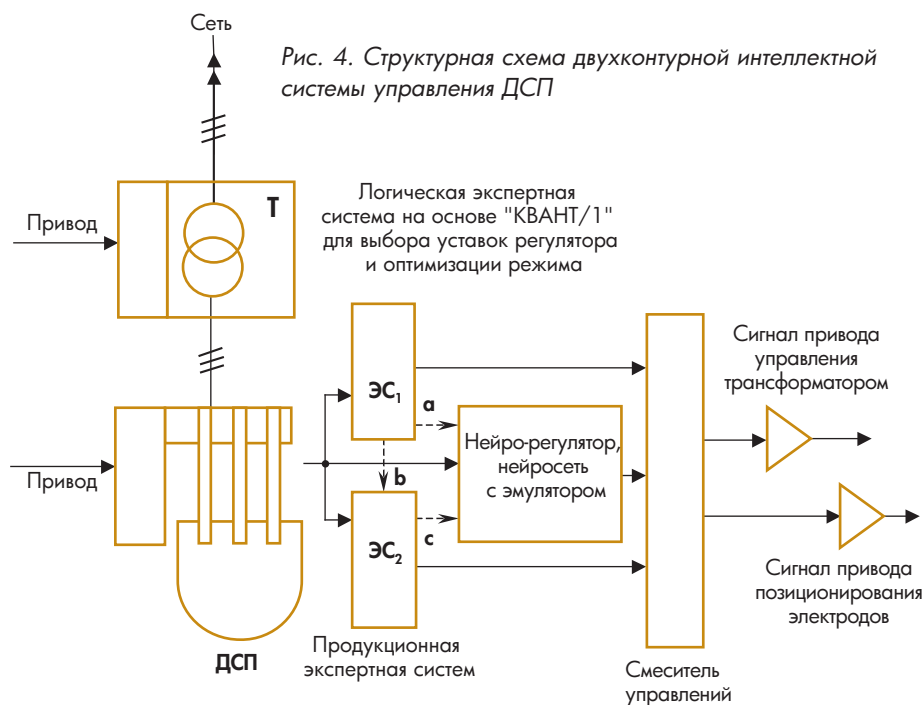


Рис. 4. Структурная схема двухконтурной интеллектуальной системы управления ДСП

ляться не только поддерживаемое производственной системой директивное переключение печного трансформатора в соответствии с планируемым графиком введения требуемых мощностей в периоды расплавления, окисления, рафинирования металла, но и управление штатными режимами, характеризующимися как изменениями эксплуатационных характеристик и различного рода деградациями, так и отказами оборудования и авариями.

Управление печным трансформатором предполагает высокое оперативное искусство распознавания реального завершения каждой из стадий плавки для выбора моментов его дальнейшего переключения. Используемые при этом в ЭС₂ производственные правила формулируются на основе эмпирического опыта и моделируют действия квалифицированного специалиста-оператора, хорошо знакомого на практике с многими особенностями поведения системы в реальных условиях и успешно справляющегося с задачей управления в штатных ситуациях. Хотя в такой, основанной на правилах системе существует формальная возможность изменения и реконфигурации [10] первоначально задаваемой базы правил, чтобы охватить решение ряда задач управления с изменяющимися объектами и средой функционирования. Однако, при этом от разработчика ПО требуется искусство программирования при неполной и неточной информации о среде и, как следствие, падает надежность, корректность и точность формирования искомого эффективного управления. Это требует для моделирования работы более выразительного языка формализации знаний в структуре экспертной системы ЭС₁, чем язык ин-

структивных знаний (продукционных правил) в ЭС₂. В качестве такого более мощного формализма в ЭС₁ используется язык позитивно-образованных формул. В отличие от языка (дизъюнктов) метода резолюций [11] как наиболее популярного метода автоматизации логического вывода (в первопорядковых языках), здесь сохраняется исходная эвристическая структура знания (не исключаются кванторы "для любого ...", "существует ..." и т.д.), что вместе с другими преимуществами (см. подробнее в [1]) обеспечивает высокую совместимость логики с эвристическими приемами управления, выработанными на основе опыта и практики применения, хорошую структурированность знания и, в конечном счете, требуемую эффективность обработки информации.

Формирование всех трех уровней интеллектуального управления осуществляется с использованием координатно-параметрического облика дуговой печи как активного объекта управления [12-14]. При этом, следуя методологии систем координатно-параметрического управления, более эффективным является двухконтурное управление не только позиционированием электродов, но и преобразователем напряжения печного трансформатора (Т). Структурная схема такой системы интеллектуального управления ДСП приводится на рис. 4.

Заключение

Предложена трехуровневая структура системы интеллектуального управления комбинированного типа, в которой, помимо уровня нейроуправления, используются экспертные системы логического и продукционного типов. Введение экспертной системы логического типа, менее производительной, чем продукционная система, ориентировано на обработку знаний более общего вида с целью сохранения работоспособности и исключения недопустимо большого снижения качества управления в нештатных режимах. Рассмотрено применение этой структуры в задаче координатно-параметрического управления дуговыми сталеплавильными печами.

Список литературы

1. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федун Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит. 2000.
2. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // I, II. Известия РАН. Теория и системы управления. М. 2001. № 1, 2 с. 5-22.
3. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Черкашин Е.А. Программная система КВАНТ/1 и ее применение для автоматизации решения задач интеллектуального управления // Тр. Всероссийской науч. техн. конф. "Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий". Улан-Удэ. 2000. С. 13-17. (См. также: Quant Project Home Page <http://linux.irk.ru/projects/quant/>).
4. Галушкин А.И., Логовский А.С. Нейроуправление: основные принципы и направления применения нейрокомпьютеров для решения задач управления динамическими объектами // Сб. докладов Межд. конф. по проблемам управления. М.: ИПУ, 1999, с. 118-131.
5. Бушма В.О., Боровик В.М., Родякина Р.В. Физические основы генерации концентрированных потоков энергии. М.: МЭИ, 1999.
6. Рохлин Г.Н. Дуговым источникам света 200 лет. От электрической дуги В.В. Петрова до разрядных источников света наших дней. М.: "ВИГМА", 2001.
7. Sadeghian A.R., Lavers J.D. Application of Radial Basis Function Networks to Model Electric Arc Furnaces. / Proc. Internat. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN-99). Washington. Book of Summaries. № 2085. 1999.
8. Staib W.E., Staib R.B. Control System for Electric Arc Furnace // US Patent № 5, 406, 581. Apr. 11, 1995.
9. Кручинин А.М., Махмудов К.М., Миронов Ю.М. и др. Автоматическое управление электротермическими установками / Под ред. А.Д. Свенчанского. М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Догановский С.А. О структуре интеллектуального управления с реконфигурацией активных объектов // Тр. V Межд. симпозиума "Интеллектуальные системы ИНТЕЛС'2002". М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, с. 143-147.
11. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. М.: Наука, 1983.
12. Андрианова А.Я., Догановский С.А., Эдемский В.М. Дуговые сталеплавильные печи как объекты активной технологии. Перспективы алгоритмизации // Сб. тезисов докл. Всесоюзной науч. техн. конф. "Контроль и управление в современном производстве". М.: Изд. ЦП Всесоюзного науч. техн. общества приборостроителей им. С.И. Вавилова, 1988, с. 202-204.
13. Васильев С.Н., Догановский С.А., Эдемский В.М. Интеллектуальное управление дуговыми сталеплавильными печами // Тр. VIII Всесоюзной конф. "Нейрокомпьютеры и их применение" (НКП-2002). М. 2002. С. 557-565.
14. S.A. Doganovsky, N.N. Maksimkin, A.I. Kuznetsov. Integrated Control Systems with Reconfiguration of Active Plants. Design and Applications // Proc. of 2nd IFAC Workshop on New Trends in Design of Control Systems. 1997. pp. 517-522.

Васильев Станислав Николаевич — член-корр. РАН,
директор Института динамики систем и теории управления СО РАН,
Догановский Станислав Анатольевич — канд. техн. наук, доцент.
Эдемский Владимир Михайлович — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ВНИПСАУ.
Контактные телефоны: (3952)46-43-00, 17-37-91, (095)113-34-63.
E-mail: snv@icc.ru, vnipisau70@miu-net.ru.