На правах рукописи

Сержантова (Полякова) Майя Вячеславовна

КОНТРОЛЬ ВЫРОЖДЕНИЯ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С АНТРОПОКОМПОНЕНТАМИ В ИХ СОСТАВЕ

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в технических системах)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2012 г.

Работа выполнена в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Ушаков Анатолий Владимирович

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Фокин Александр Леонидович
Кандидат технических наук, доцент
Покровский Юрий Павлович

Ведущая организация: Открытое акционерное общество
"Научно-производственное предприятие
"Радар ммс", г. Санкт-Петербург.

Защита состоится 21 февраля 2012г. в 17 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.227.03 при Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики по адресу: 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49, НИУ ИТМО.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

Автореферат разослан 16 января 2012г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Дударенко Н.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Диссертационные исследования на тему «Контроль вырождения сложных динамических систем с антропокомпонентами в их составе» подсказаны нынешним состоянием теории и проблемами практики современных сложных управляющих комплексов, встраиваемых в техническую среду технологических процессов (ТП), дополненную фактором наличия в ее составе лица принимающего решения (ЛПР) (оператора, антропокомпонента), как в фазе сбора информации, так и в фазе принятия решения.

Усложнение функций динамических систем в составе обслуживания технологического процесса, помимо требований к их работоспособности, обязательным условием которой является обеспечение их устойчивости, аппаратной и информационной надежности, а также инвариантности качества выходной продукции ТП относительно изменяющихся сигнальных и параметрических условий, породила потребность в контроле такого системного свойства как вырождение. Следует заметить, что проблема вырождения как «системная парадигма» появилась в последние годы и еще окончательно не оформилась, и это несмотря на очевидный факт, что все антропогенное с течением времени вырождается. Проблема контроля вырождения многомерных технических систем заметно усложняется, если в их составе присутствует ЛПР–антропокомпонент. Это усложнение связанно с двумя факторами, первый из них порождается трудностью математической формализации его поведенческой деятельности, второй – возможной непредсказуемостью в определенных условиях функционирования ЛПР–антропокомпонента. Последний фактор особенно наглядно проявляется в ситуациях катастрофического характера, являющихся экстремальным проявлением вырождения и обычно именуемых установившимся термином «человеческий фактор».

Любая техническая антропогенная система (ТАС) (то есть система созданная умом и руками человека) характеризуется четырьмя фазами своего существования. Первая фаза есть фаза разработки, которая реализуется в основном в модельной информационной и алгоритмической среде. Вторая фаза ТАС есть фаза ее изготовления (производства). Третья фаза есть фаза эксплуатации ТАС в составе обслуживаемого технологического процесса. И, наконец, четвертая фаза есть фаза утилизации. Задача контроля возможного вырождения ТАС особенно актуальна для первой и третьей фаз ее существования. В первой фазе в рамках системной парадигмы сложных динамических систем решается задача априорной оценки возможного вырождения. В третьей фазе решается задача эксплутационной оценки возможного вырождения. Предпринятые диссертационные исследования в своей теоретической части в основном сориентированы на задачу контроля априорного вырождения сложных динамических систем (СДС) с антропокомпонентами в их составе. Для контроля задачи вырождения ТАС в условиях эксплуатации результаты диссертационного исследования в основном сориентированы на рекомендации по организации технологической среды

функционирования ЛПР-антропокомпонентов и формировании команд (бригад) из них в случае, если технологический процесс (ТП) требует коллективного обслуживания.

Приходится признать, что состояние проблемы априорного контроля вырождения сложной динамической системы, а тем более контроля ее вырождения в процессе эксплуатации таково, что на настоящий момент не полностью разработан инструментарий аналитической количественной оценки вырождения СДС в фазе ее разработки и методики контроля вырождения СДС в фазе их эксплуатации. Анализ библиографической и интернет среды показал, что такая системная парадигма пока не нашла большого количества приверженцев, в этой связи автор считает своим долгом внести лепту в исследование этого направления.

Цель диссертационной работы. Разработке аналитического инструментария априорного контроля возможного вырождения СДС с учетом фактора наличия в их составе ЛПР–антропокомпонентов в условиях интервального модельного представления функциональных компонентов СДС посвящены предпринятые соискателем диссертационные исследования.

Задачи исследований. В соответствии с поставленной целью в работе последовательно решаются следующие задачи:

– разработка технологии контроля вырождения на базе функционалов вырождения;

– формирование банка критериальных матриц отношения «вход–выход» сложных динамических систем типа многомерный вход – многомерный выход (МВМВ).

– разработка математической модели функционирования антропокомпонента, занятого в обработке материальных потоков (АКООМП) в производственном процессе (ПП) на основе эмпирических представлений этой деятельности, которыми располагают специалисты по эргономике;

– анализ влияния фактора поведенческих проявлений АКООМП в составе бинарной структуры, не имеющих прямого отношения к его функционированию в ПП, на эффективность (производительность) его производственной деятельности.

– разработка универсального алгоритма контроля вырождения сложных технических систем с антропокомпонентами АКООМП–типа.

Методы исследований. Основной математический аппарат при проведении диссертационных исследований составили: метод пространства состояний непрерывных и дискретных многомерных систем с фиксированными и интервальными параметрами матричных компонентов, формализм аппарата матричных уравнений Сильвестра и Ляпунова, динамика систем при конечномерных экзогенных воздействиях, стохастический анализ непрерывных систем при многомерных стохастических воздействиях, сингулярное разложение матриц (SVD-процедура), аппарат функций чувствительности собственных значений, собственных векторов и сингулярных чисел матриц сложной системы МВМВ – типа, элементы интервальной арифметики и алгебры, модальное управление в классической постановке и обобщенное

модальное управление, интервальные модельные представления и оценки функционалов вырождения.

Математический аппарат поддерживается программной и модельной средой пакета MATLAB с расширением SIMULINK.

Положения, выносимые на защиту.

1. Технология формирования оценок процесса вырождения сложных динамических систем;
2. Технология формирования критериальных матриц;
3. Решения алгоритмических и вычислительных проблем в задачах формирования оценок процесса вырождения сложных динамических систем, описываемых модельным представлением с интервальными компонентами;
4. Модельные представления антропокомпонента как структурного элемента сложной динамической производственной системы с интервальными параметрами, интервальность которых порождена фактором групповой и индивидуальной природы;
5. Модельные представления деятельности антропокомпонента в надпроизводственной среде с целью оценки ее влияния на производственные результаты;
6. Универсальный алгоритм исследования возможности вырождения СДС МВМВ–типа с антропокомпонентами в ее составе;
7. Универсальная модельная среда, размещенная в оболочке Matlab с расширением Simulink:

– позволяющая проводить комплексные исследования бинарной группы АКООМП в режиме нормального функционирования при медианных значениях параметров их модельных представлений;

– позволяющая проводить исследование влияния интервальности параметров модельных представлений АКООМП на ход и показатели нормального функционирования АКООМП;

– позволяющая проводить исследования влияния фактора надпроизводственного поведения бинарной группы АКООМП на ход и показатели функционирования АКООМП в производственной среде;

– позволяющая проводить исследование оценки возможности использования форсирующих свойств АКООМП на предмет компенсации интервальности их свойств, а также фактора надпроизводственного поведения с целью поддержания требуемых показателей производственного процесса.

– обнаружившая, на основании свойств «сфер» и «эллипсоидов» возможность экспериментального определения значения функционала вырождения.

Научная новизна. В работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Сформирована технология контроля процесса вырождения сложных динамических систем МВМВ – типа, опирающаяся на сингулярное разложение матриц;

2. Сформирована технология конструирования критериальных матриц, опирающаяся на решение матричных уравнений Сильвестра и Ляпунова;

3. Решены алгоритмические и вычислительные проблемы в задачах формирования оценок процесса вырождения сложных динамических систем, описываемых модельным представлением с интервальными компонентами с использованием методов теории чувствительности и интервального анализа;

4. Сформировано модельное представление антропокомпонента–оператора занятого в обработке материальных потоков (АКООМП), как структурного элемента сложной динамической производственной системы с интервальными параметрами, интервальность которых порождена фактором групповой и индивидуальной природы;

5.Сформировано модельное представление деятельности антропокомпонента в надпроизводственной среде с целью оценки ее влияния на производственные результаты;

6. Сформирован универсальный алгоритм контроля вырождения сложных технических систем с антропокомпонентами АКООМП–типа (на уровне производственного подразделения: цех, участок, бригада).

Практическая ценность.

1. Получен алгоритм контроля вырождения сложной динамической производственной системы (на уровне производственного подразделения: цех, участок, бригада). Он позволяет специалистам по научной организации труда и управления производством оценивать допустимую интервальность параметров антропокомпонентов–операторов, занятых в обработке материальных потоков (АКООМП), фактор которой приводит к невыполнению сменного задания всеми АКООМП производства, но которая может быть скомпенсирована допустимым использованием форсирующих свойств АКООМП.

2. Построена универсальная модельная среда, размещенная в оболочке Matlab с расширением Simulink:

– позволяющая проводить комплексные исследования бинарной группы АКООМП в режиме нормального функционирования при медианных значениях параметров их модельных представлений;

– позволяющая проводить исследование влияния интервальности параметров модельных представлений АКООМП на ход и показатели нормального функционирования АКООМП;

– позволяющая проводить исследования влияния фактора надпроизводственного поведения бинарной группы АКООМП на ход и показатели функционирования АКООМП в производственной среде;

– позволяющая проводить исследование оценки возможности использования форсирующих свойств АКООМП на предмет компенсации интервальности их свойств, а также фактора надпроизводственного поведения с целью поддержания требуемых показателей производственного процесса.

– позволяющая на основании свойств «сфер» и «эллипсоидов», построенных на использовании бесконечной векторной нормы, экспериментально определять значения функционала вырождения бинарных структур с расширением результата на произвольные структуры.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: XXXVII, XXXVIII, XXXIX, XL, XLI–й

научных и учебно-методических конференциях СПб НИУ ИТМО 2008 – 2012 годов соответственно; V, VI, VII, VIII–й Всероссийских межвузовских конференциях молодых ученых 2008 – 2011 годов соответственно; 3-ей Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2010), г. Санкт-Петербург, 12-14 октября 2010 г.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 12 статьях в журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Все публикации подготовлены при непосредственном участии автора.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав с выводами, заключения, приложений, списка литературы, содержащего 90 наименований. Основная часть работы изложена на 183 страницах машинописного текста и содержит 63 рисунка и 6 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, кратко изложены теоретические и практические результаты работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации осуществляется введение в проблему технологии контроля процесса вырождения сложных динамических систем.

Контроль вырождения сложной динамической системы (СДС) МВМВ–типа осуществляется на основе сведения отношения «вход–выход» системы к линейной (локально линейной) алгебраической задаче (ЛАЗ) вида

$$\eta(w) = N(w)\chi(w), \qquad (1)$$

где $N(w)$ – $m \times m$ – критериальная матрица сложной технической системы, исследуемой на предмет вырождения, параметризована переменной w; w принимает смысл непрерывного времени t, когда ЛАЗ (1) параметризована непрерывным временем, и смысл дискретного времени k, выраженного в числе интервалов дискретности длительности Δt, когда ЛАЗ (1) параметризована дискретным временем; $\eta(w)$, $\chi(w)$ – m–мерные векторы, причем $\chi(w)$ может принимать смысл $\chi(0)$. Сведение СДС МВМВ–типа к ЛАЗ вида (1) позволяет сформулировать задачу контроля вырождения системы как задачу контроля вырождения критериальной матрицы $N(w)$.

Для контроля степени близости СДС МВМВ–типа к вырождению используется такая характеристика матрицы, как ее число обусловленности $C\{N\}$, определяемое выражением

$$C\{N\} = \|N\|\|N^{-1}\|. \qquad (2)$$

Исследования показали, что число обусловленности матрицы обладает двумя пользовательскими недостатками:

– значение числа обусловленности удовлетворяет включению $C\{N\} \in [1, \infty)$;

– число обусловленности не контролирует тонкую природу процесса вырождения.

Показано, что если в (2) использовать спектральные нормы матриц N и N^{-1}, то сингулярное разложение матрицы N обнаруживает возможность конструирования инструментария контроля вырождения с помощью семейства функционалов вырождения (ФВ) $J_{\mathrm{D}\nu}\{N\}$, определяемых выражением

$$J_{\mathrm{D}\nu}\{N\} = \alpha_\nu\{N\}\alpha_1^{-1}\{N\},\ \nu = \overline{m,1}, \tag{3}$$

которое по сравнению с числом обусловленности матрицы обладает свойствами:

– значения всех ФВ удовлетворяют включению $J_{\mathrm{D}\nu}\{N\} \in [1,\ 0],\ \ \nu = \overline{m,1}$;

– семейство ФВ позволяет контролировать тонкую природу процесса вырождения, причем полное вырождение имеет место тогда, когда весь спектр сингулярных чисел $\alpha_\nu\{N\}$ становится нулевым.

Во второй главе рассматриваются проблемы, связанные с технологией формирования критериальных матриц. При этом автором выделено пять возможных ситуаций контроля вырождения СДС МВМВ–типа:

– экспресс-оценка возможного вырождения СДС МВМВ–типа на основе использования критериальных матриц инвариантных относительно характера входных заявок;

– оценка возможного вырождения СДС МВМВ–типа на основе использования критериальных матриц параметризованных непрерывным временем t;

– оценка возможного вырождения СДС МВМВ–типа на основе использования критериальных матриц параметризованных частотой, для случая многочастотных векторных заявок на обслуживание системы;

– оценка возможного вырождения СДС МВМВ–типа на основе использования в качестве критериальных матриц дисперсий выхода системы для случая векторных заявок сформированных в форме многомерного стохастического воздействия стационарного в широком смысле;

– оценка возможного вырождения в любой из выше указанных постановок в случае интервального представления системных компонентов модельного описания СДС МВМВ–типа.

Решение перечисленных проблем опирается на представление СДС МВМВ–типа в форме

$$\left.\begin{aligned} &\dot{x}(t) = Fx(t) + Gg(t) : x(0) = x(t)\big|_{t=0} \\ &y(t) = Cx(t) + Hg(t) \end{aligned}\right\}, \tag{4}$$

Показано, что для случая экспресс–оценки возможного вырождения СДС МВМВ–типа достаточно ограничиться семейством линейных алгебраических задач вида

$$y_{l\,уст}(t) = D_l g^{(l)}(t);\ l = 0,\ 1,\ 2\ , \tag{5}$$

в которых критериальные матрицы $N = D_l$ в силу (4) получают представление

$$D_0 = \left(I + CF^{-1}G + H\right);\ D_1 = CF^{-2}G;\ D_2 = CF^{-3}G\ , \tag{6}$$

причем матрицы $D_0,\ D_1, D_2$ описывают поведение СДС МВМВ–типа соответственно в статическом, кинетическом и динамическом режимах.

Показано, что для решения второй и третьей задач, из перечисленных выше, можно воспользоваться решением матричного уравнения Сильвестра

$$TE - FT = GP, \tag{7}$$

относительно матрицы подобия T, позволяющее сформировать семейство из четырех ЛАЗ, параметризованных временем t и записываемых в форме

$$\left.\begin{aligned} &y_{св}(t) = Ce^{Ft}x(0) = N_{св}(t)x(0);\\ &y_{в}(t) = C(Te^{Et} - e^{Ft}T)z(0) = N_{в}(t)z(0);\\ &y_{н}(t) = -Ce^{Ft}Tz(0) = N_{н}(t)z(0);\\ &y_{у}(t) = CTe^{Et}z(0) = N_{у}(t)z(0). \end{aligned}\right\}. \tag{8}$$

Конкретный выбор критериальной матрицы из банка (8) определяется предметом исследования, а, следовательно, видом пары матриц (E, P), описывающей источник входных заявок (воздействий). Так, в случае ступенчатого входного воздействия в уравнении (7) следует положить $E = 0$, что приводит к его решению в форме соотношении $T = -F^{-1}GP$, а в (8) $e^{Et} = I$. Тогда критериальная матрица $N_{в}(\mathrm{t})$ принимает вид $N_{в}(\mathrm{t}) = \left(C\left(e^{Ft} - I\right)F^{-1}G\right)$. Параметризация критериальной матрицы $N_{в}(\mathrm{t}) = \left(C\left(e^{Ft} - I\right)F^{-1}G\right)$ временем t предоставляет возможность выделить отрезки времени, на которых СДС МВМВ–типа (4) не вырождается или напротив, проявляет склонность вырождения. Таким образом, появляется возможность выделения интервала времени, удовлетворяющего неравенству $t_D \geq t_{DR}$, где t_D, t_{DR} – соответственно реальное и требуемое (допустимое) времена фиксации факта вырождения. Контроль указанного неравенства производится по моменту наступления факта нарушения неравенства $J_D(t) \leq J_{DR}$, где $J_D(t), J_{DR}$ – соответственно реальное и требуемое (допустимое) значения функционала вырождения.

В случае многочастотного векторного внешнего гармонического воздействия матрицы E и e^{Et} соответственно принимает вид:

$$E = diag\left\{E_j = \begin{bmatrix} 0 & \omega_j \\ -\omega_j & 0 \end{bmatrix}\right\}; e^{Et} = diag\left\{e^{E_j t} = \begin{bmatrix} cos(\omega_j t) & sin(\omega_j t) \\ -sin(\omega_j t) & cos(\omega_j t) \end{bmatrix}\right\}; j = \overline{1,m}\}, \tag{9}$$

причем последняя из них обладает свойством ортогональности, благодаря чему критериальная матрица $N_{в}(t)$ может быть заменена не параметризованной временем t, но параметризованной вектором частот $\Omega(\omega) = row\{\omega_j = \gamma_j\omega;\ j = \overline{1,m}\}$ матрицей, которая в силу решения уравнения (7) принимает вид

$$\widetilde{N}_{y}(\Omega) = CT\{\Omega(\omega)\}. \tag{10}$$

Полученная критериальная матрица позволяет контролировать вырождение СДС МВМВ–типа в случае не удачного согласования частот внешних воздействий с полосами пропускания сепаратных каналов системы.

Показано, что решение задачи формирования критериальной матрицы в форме матрицы D_y дисперсии вектора выхода СДС МВМВ–типа для случая

стохастического векторного задающего воздействия стационарного в широком смысле может быть получено на основании решения системы из трех матричных уравнений Ляпунова

$$\left.\begin{aligned} &\Gamma_{\phi} D_z + D_z \Gamma_{\phi}^T = -G_{\phi} Q G_{\phi}^T \\ &F D_{xz} + D_{xz} \Gamma_{\phi}^T = -G P_{\phi} G_z \\ &F D_x + D_x \Gamma^T = -G P_{\phi} D_{xz}^T - D_{xz} \left(G P_{\phi} \right)^T \end{aligned}\right\}, \qquad (11)$$

где $\mathrm{D}_z = M\left[z_{\phi}(t) z_{\phi}^T(t)\right]$, $\mathrm{D}_{xz} = M\left[x(t) z_{\phi}^T(t)\right]$. $D_y = C D_x C^T$.

В этом случае для целей контроля возможного вырождения СДС МВМВ–типа может быть использована матрица спектральных плотностей выхода вида

$$S_y(\omega) = -2CF(F^2 + \omega^2 I)^{-1} D_x C^T . \qquad (12)$$

На примере интервальных скалярных переменных, задействованных в операциях умножения и деления демонстрируется рост интервальности получаемых при этих операциях интервальных результатов, характеризуемых оценками относительной интервальности, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

$\delta_I[(\#)]\,\%$	0	5	10	15	20	25	30	50
$\delta_I[(*)]^{-1}\,\%$	0	5	10	15	20	25	30	50
$\delta_I\{[(\circ)][(\bullet)]\}\%$	0	10.25	21	32.25	44.4	56.25	69	125
$\delta_I\{[(\bullet)][(*)]^{-1}\}\%$	0	5	19.8	29.33	38.46	47.05	55.04	80
$\delta_I\{[(\circ)][(\bullet)][(*)]^{-1}\}\%$	0	15.78	33.3	52.76	61.32	98.49	125.1	262.5

Значения, приведенные в таблице 1, требуют дополнительного внимания при контроле вырождения СДС МВМВ–типа с интервальными системными компонентами.

В третьей главе рассматриваются алгоритмические и вычислительные проблемы в задачах формирования оценок процесса вырождения СДС МВМВ–типа, продиктованные необходимостью обеспечения вычислительной устойчивости процедур, используемых при этом.

Первой вычислительной проблемой автор назвал возможность вычислительной неустойчивости процедуры обращения критериальных матриц в случае заметного роста размерности «вход–выходных» отношений СДС МВМВ–типа, для чего обратная матрица на основе теоремы Гамильтона–Кэли представлена в виде конечного ряда по положительным степеням обращаемой матрицы вида

$$N^{-1} = a_n^{-1}\left(N^{(n-1)} + \sum_{i=1}^{(n-1)} a_i N^{(n-1-i)} \right), \qquad (13)$$

где коэффициенты a_i характеристического уравнения вычисляются с использованием алгоритма Фаддеева–Леверье.

Второй вычислительной проблемой автор счел формирование спектральной нормы матрицы, вычисление которой также встречает трудности по мере роста размерности «вход–выходных» отношений СДС МВМВ–типа. Для решения этой проблемы автор воспользовался оценкой $\|\tilde{N}\|_2$ спектральной нормы $\|N\|_2$ критериальной матрицы в форме Голуба–Ван Лоуна,

$$\|\tilde{N}\|_2 = \left(\|N\|_1 \|N\|_\infty\right)^{1/2} \tag{14}$$

Третья вычислительная проблема, на которую автор счел необходимым обратить внимание, это проблема оценки интервальности функционалов вырождения в случае интервальности матричных компонентов $\{G, F, C, H\}$ векторно–матричного описания (ВМО) СДС МВМВ–типа. На основании использования аппарата функций чувствительности сингулярных чисел критериальных матриц показана справедливость соотношения

$$J_\nu\{[N]\} \overset{\Delta}{=} [J_\nu(N)] = J_{\nu 0}(N) + [\Delta J_\nu(N)], \tag{15}$$

в котором интервальный компонент $[\Delta J_\nu(N)]$ вычисляется в силу равенств

$$[\Delta J_\nu] = [\underline{\Delta J_\nu}, \overline{\Delta J_\nu}],\ \underline{\Delta J_\nu} = -\overline{\Delta J_\nu},\ \overline{\Delta J_\nu} = \max_{\Delta q} \|\Delta J(\Delta q)\| = \sum_{i=1}^{p} J_{\nu qj} \left|\Delta q_j\right| sgn\, J_{\nu qj}. \tag{16}$$

В результате интервальный функционал вырождения интервальной критериальной матрицы может быть охарактеризован оценкой относительной интервальности

$$\delta_I J_\nu = \left|[\Delta J_\nu]\right| / \left|J_{\nu 0}\right|. \tag{17}$$

Дополнительно в главе рассмотрены вычислительные проблемы формирования матриц простой структуры с требуемым спектром сингулярных чисел и решены алгоритмические проблемы решения задачи функционального вырождения СДС МВМВ–типа как задачи обеспечения требуемой структуры собственных векторов отношения «вход–выход» МВМВ-типа.

В четвертой главе рассматриваются проблемы модельного представления антропокомпонента–оператора (АКО) в составе сложной динамической системы, представляющей собой производственный процесс.

При построении моделей антропокомпонентов–операторов автор разделил их на две группы. Первую группу составляют антропокомпоненты–операторы «информационного типа». Наибольших результатов в изучении АКО этого типа достигли специалисты, занимающиеся изучением АКО в составе авиационных систем. В этой связи следует особо выделить научную школу профессора Себрякова Г.Г., публикации которого за последнее время образуют тематически замкнутый цикл. Представители этой школы рассматривают АКО информационного типа как участника процесса слежения в широком смысле понимания этого термина. Действительно, если АКО задействован в управлении неким транспортным средством, то он реализует процесс слежения за изменяющейся внешней средой, в которую погружено транспортное средство. АКО может выполнять функции оператора при слежении за изменяющейся информационной средой, представленной

устройством отображения информации при обработке информационных потоков.

Таким образом, следует констатировать, что специалистами по исследованию АКО информационного типа построен достаточно обширный банк их модельных представлений на поведенческом уровне.

Несколько иначе обстоит дело с АКО занятых в обработке материальных потоков (материальном производстве). Пока представители АКО этого типа составляют предмет исследований в основном специалистов по научной организации труда и планированию производства, а также эргономике. Однако формализация деятельности АКО на уровне описания с помощью передаточных функций и аппарата пространства состояния находится на довольно зачаточном уровне.

В этой связи автор в дальнейшем свое внимание сосредоточил на построении математических моделей АКО этого типа и исследовании их как в индивидуальном режиме, так и в режиме образования бинарных структур (с последующим обобщением на многокомпонентные структуры). При моделировании использовался аппарат интервальных представлений скалярных и матричных компонентов. При этом математическая модель антропокомпонента–оператора, задействованного в задачах обработки материальных потоков (АКООМП) строилась на основе экспоненциальных аппроксимаций отдельных участков типовой кривой изменения производительности труда АКО, которую можно позаимствовать из работ специалистов по научной организации труда, планировании производства и эргономики, типовой вид которой приведен на рисунке 1.

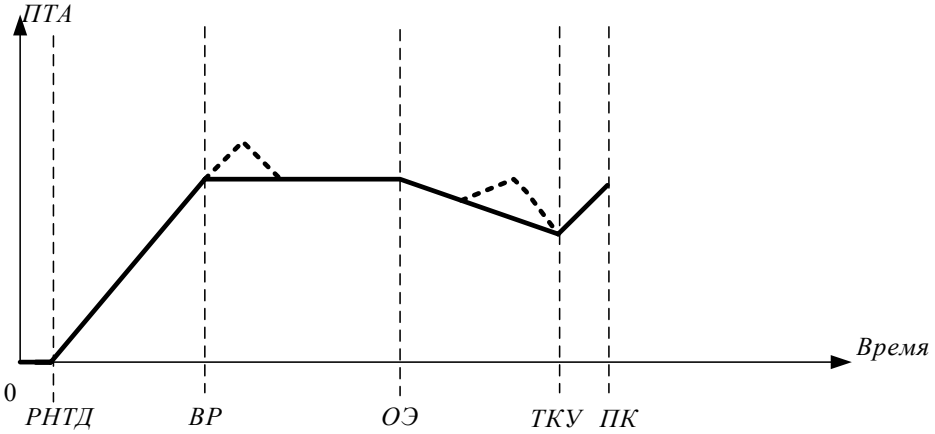

Рисунок 1. Типовая кривая изменения производительности труда антропокомпонента–оператора в течение рабочей полусмены и восстановление ее в рекреационный период

На рисунке 1 можно выделить следующие точки и интервалы изменения производительности труда антропокомпонента–оператора в течение рабочей смены: «РНТД» – точка реального начала трудовой деятельности, «РНТД – ВР» – интервал «врабатывания (ВР)»; «ВР–ОЭ» – интервал оптимальной эффективности (ОЭ) (максимальной производительности) деятельности

антропокомпонента; «ОЭ – ТКУ» – интервал прогрессирующей усталости, характеризующийся достижением точки критической усталости (ТКУ); «ТКУ – ПК» – рекреационный интервал (обеденный перерыв), характеризующийся достижением «полной» компенсации (ПК).

В результате автором предлагается для описания деятельности АКООМП в материальном производстве передаточная функция с интервальными параметрами вида

$$[\mathrm{W}_3(\mathrm{s})] = [k_3]\left[\frac{[\mathrm{T}_{33}]\mathrm{s}+1}{([\mathrm{T}_{31}]\mathrm{s}+1)^{\mu}} - \frac{1}{([\mathrm{T}_{32}]\mathrm{s}+1)^{\nu}}\right]\cdot\frac{1}{\mathrm{s}}\ , \qquad (18)$$

где соответственно $[k_3]$ – интервальный коэффициент передачи равный индивидуальной производительности; $[T_{31}]$ – интервальная постоянная времени нарастания производительности труда (процесса «врабатывания») антропокомпонента–оператора с началом рабочей смены, которая за счет выбора степени μ позволяет учитывать реальную задержку в старте трудовой деятельности; $[T_{32}]$ – интервальная постоянная времени процесса уставания (нарастания усталости), характеризующийся спадом производительности труда по экспоненциальному закону у антропокомпонента–оператора, которая за счет выбора степени ν позволяет учитывать реальную задержку в старте уставания; $1/s$ – интегрирующее звено, которое отражает процесс накопления результата выполнения антропокомпонентом–оператором технологического задания по обработке и формированию узлов и деталей, функциональное соединение которых образует готовый потребительский продукт. В модель (18) включена интервальная постоянная времени $[T_{33}]$, отражающая форсирующие свойства АКООМП.

Дополнительно к описанию производственной деятельности АКООМП в виде передаточной функции (18) рассмотрена динамика надпроизводственных отношений АКООМП в составе бинарной группы. В основу модельного представления этой динамики положена системная гипотеза, что любой диалог есть колебательная система. На основе этой гипотезы представлена модель динамики надпроизводственных отношений, представленная на рисунке 2.

Модель рисунок 2 позволяет оценить возможность управления надпроизводственными процессами путем подбора личностных свойств АКООМП, образующих бинарную группу. Композиция модели рисунок 2 с моделью производственной деятельности АКООМП позволяет оценить влияние динамики надпроизводственных отношений на результаты производственной деятельности, фиксируемые по окончании смены.

Пятая глава по существу подводит итоги результатов, полученных в первых четырех главах на уровне теоретических разработок путем построения универсального алгоритма исследования возможности вырождения СДС МВМВ–типа с антропокомпонентами в ее составе и модельной среды с использованием оболочки Matlab с расширением Simulink, с целью проведения:

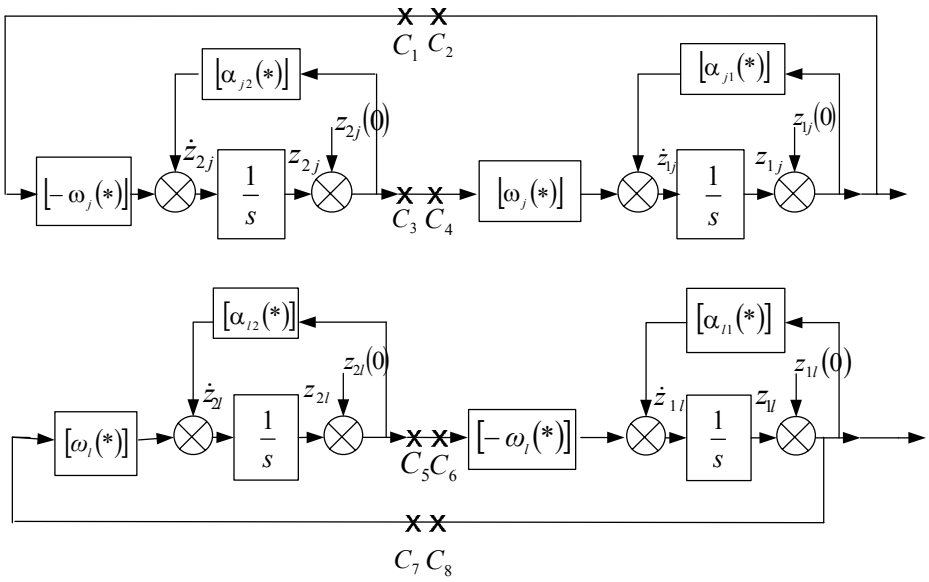

Рисунок 2. Структурное представление автономной колебательной системы в терминах пространства состояний, с точками «c_1», «c_2», «c_3», «c_4», «c_5», «c_6», «c_7» коммутаций режимов в процессе моделирования нежелательных индивидуальных качеств АКО в режимах одинарной и бинарной версий

– комплексных исследований бинарной группы АКООМП в режиме нормального функционирования при медианных значениях параметров их модельных представлений;
– исследований влияния интервальности параметров модельных представлений АКООМП на ход и показатели нормального функционирования АКООМП;
– исследования влияния фактора надпроизводственного поведения бинарной группы АКООМП на ход и показатели функционирования АКООМП в производственной среде;
– исследования оценки возможности использования форсирующих свойств АКООМП на предмет компенсации негативного проявления интервальности их свойств, а также фактора надпроизводственного поведения с целью поддержания требуемых показателей производственного процесса.

Исследования сопровождаются контролем функционала вырождения и значения сменной выработки каждым АКООМП.

1. Исследование влияния интервальности параметров АКООМП, при равных номинальных (медианных) значениях моделей обоих АКООМП: постоянной времени врабатывания T_{31} и постоянной времени уставания T_{32}, постоянная времени, обеспечивающая форсирующие свойства $T_{33} = 0$ для обоих АКООМП. Эксперимент проводится с целью определения производительности АКООМП и значения функционала вырождения.

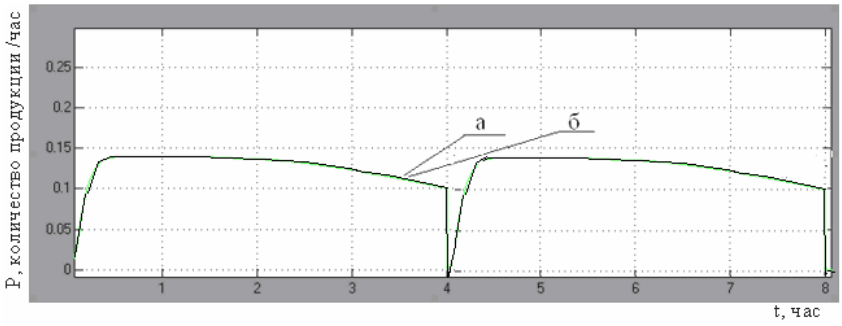

Рисунок 3. Кривые изменения производительности труда в течение рабочей смены для первого (а) и второго (б) АКООМП при условиях п.1

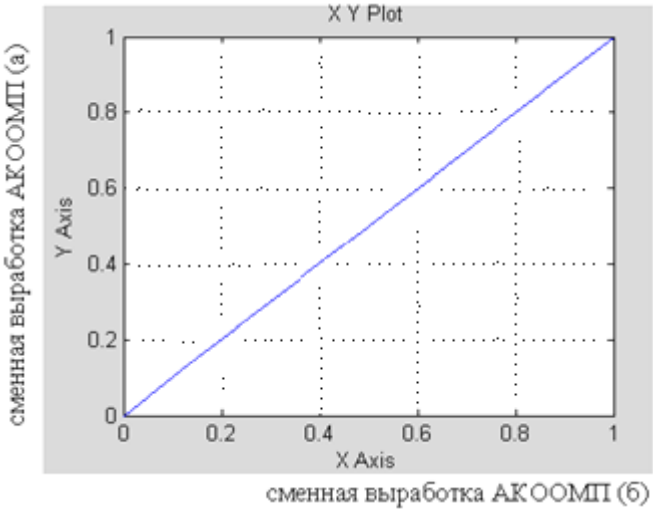

Рисунок 4. Фазовый портрет реальной сменной выработки в течение рабочей смены длительностью 8 часов бинарного модуля, составленного из двух АКООМП (а) и (б) при условиях п.1.

2. Исследование влияния интервальности параметров АКООМП, при наиболее благоприятных угловых реализациях АКООМП (а): левое угловое значении постоянной времени T_{31}, характеризующей быстрое врабатывание и при правом угловом значении постоянной времени T_{32}, характеризующей медленное уставание; при наименее благоприятных угловых реализациях АКООМП (б): при правом угловом значении постоянной времени T_{31} и при левом угловом значении постоянной времени T_{32}; постоянная времени, обеспечивающая форсирующие свойства $T_{33} = 0$ для обоих АКООМП. Эксперимент проводится с целью определения производительности АКООМП и значения функционала вырождения.

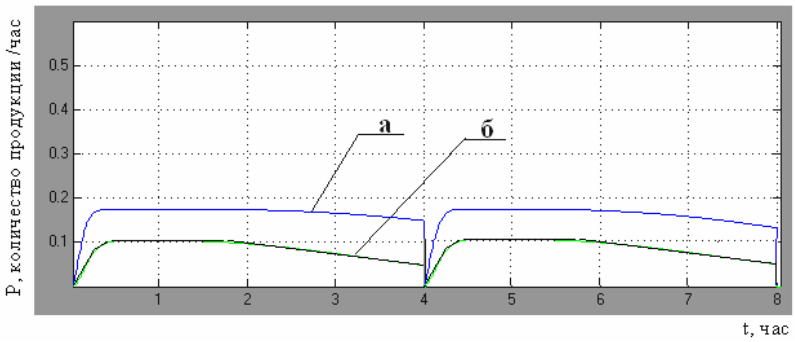

Рисунок 5. Кривые изменения производительности труда в течение рабочей смены для первого (а) и второго (б) АКООМП при условиях п.2

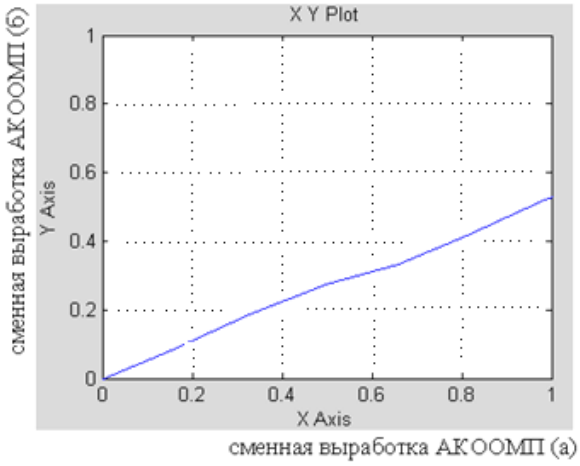

Рисунок 6. Фазовый портрет реальной сменной выработки в течение рабочей смены длительностью 8 часов бинарного модуля, составленного из двух АКООМП (а) и (б) при условиях п.2

3. Исследование форсирующих свойств АКООМП, при левых угловых реализациях интервальных параметров обоих АКООМП (T_{31}, T_{32}), с целью экспериментального определения значения постоянной времени T_{33}, обеспечивающей трехкратное кратковременное форсирование деятельности АКООМП, и значения величины $\delta(*)$ отклонения параметров передаточных функций АКООМП от медианных в сторону левой угловой реализации, гарантирующих выполнение условия $y_1(t) = y_2(t) = 1$ при $t = 8$.

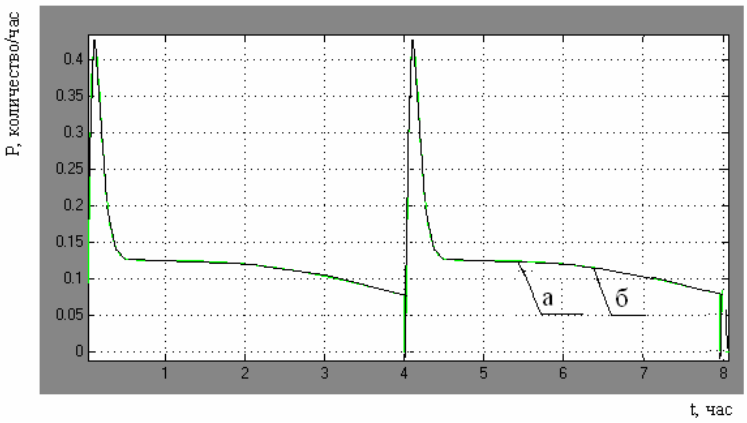

Рисунок 7. Кривые изменения производительности труда в течение рабочей смены для первого (а) и второго (б) АКООМП при условиях п.3

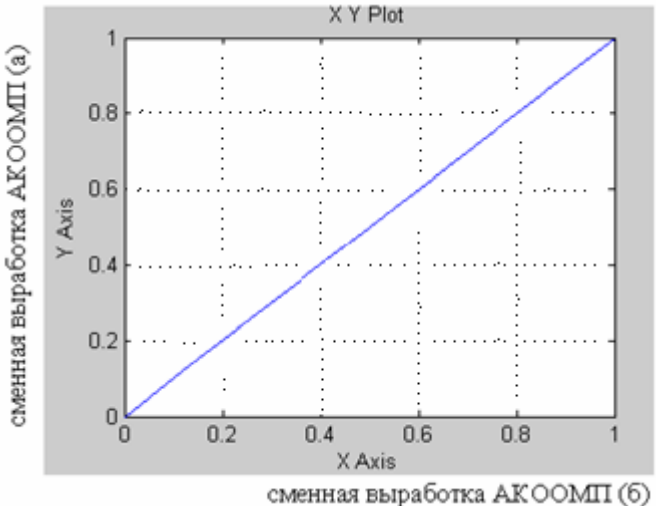

Рисунок 8. Фазовый портрет реальной сменной выработки в течение рабочей смены длительностью 8 часов бинарного модуля, составленного из двух АКООМП (а) и (б) при условиях п.3

Эксперимент показал, что трехкратное кратковременное форсирование достигается при $T_{33} = 0.55$ часа, которое спадает по экспоненте до величины медианной максимальной производительности в течение интервала $\Delta t = 0.44$ часа (26.4 минут) и при этом допускается значение $\delta(*) = 0.11\ (11\ \%) = arg\{y_1(t) = y_2(t) = 1\}$.

Результаты моделирования бинарного модуля, составленного из двух АКООМП для вариантов 1 – 3 сочетания реализации их интервальных параметров представлены в таблице 2.

Таблица 2

№	$y_1(t)\big\|_{t=8}$	$y_2(t)\big\|_{t=8}$	$t=\arg(y_1(t)=1)$	$t=\arg(y_2(t)=1)$	J_D при t=8
1.	1	1	1	1	1
2.	1.3	0.68	6.1	$\overline{\exists}\, t=\arg(y_2(t)=1)$	0.58
3.	1	1	1	1	1
Примечание. $\overline{\exists}$ – символ предиката «не существует»					

Полученную совокупность результатов моделирования бинарного модуля, составленного из двух АКООМП необходимо передать специалистам отдела научной организации труда и управления производством предприятия (фирмы) на предмет вынесения решения о:

– необходимости модернизации рабочего места АКООМП;
– необходимости дополнительного тренинга АКООМП;
– возможной коррекции индивидуальных производственных заданий;
– необходимости принятия структурного решения в виде перераспределения сменных заданий в составе бригады АКООМП;
– необходимости дополнительных производственных мощностей;
– необходимости дополнительных складских помещений;
– необходимости изменения кадрового состава подразделения;
– возможности организации бесскладового производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В своей основе задачи, поставленные перед диссертантом при формировании темы диссертационных исследований, решены, при этом получены следующие результаты.

1. Сформулирована задача контроля вырождения сложной динамической системы как математическая задача контроля сокращения ранга линейного оператора (ЛО) отношения «вход – выход», отображающего пространство целевых намерений в пространство осуществляемых реализаций.

2. На основе критического анализа критериев оценки вырождения математических объектов в форме ранга и числа обусловленности матрицы линейного оператора предложен аппарат функционалов вырождения и установлены их свойства, что позволяет контролировать тонкую природу вырождения сложных динамических систем.

3. Для целей экспресс-оценки возможного вырождения сложных динамических систем предложена технология формирования критериальных матриц инвариантных относительно характера входных заявок.

4. Сформирован банк критериальных матриц не параметризованных и параметризованных временем для случаев конечномерного и стохастического представления входных заявок сложной динамической системы.

5. Выделен класс задач технологии математического контроля вырождения, требующий робастных вычислительных процедур, для которого предложены оригинальные алгоритмические решения, состоящих в построении вычисления обратных матриц без процедуры обращения; формирование матриц с заданным спектром сингулярных чисел на основе контроля числа обусловленности модальной матрицы.

6. Сформировано алгоритмическое обеспечение оценки интервальности функционалов вырождения, порождаемое интервальностью матричных компонентов модельного представления сложной динамической системы, с использованием аппарата функций чувствительности сингулярных чисел и собственных векторов матриц.

7. Предложены базовые интервальные математические модели антропокомпонентов–операторов, задействованных в задачах обработки материальных потоков (АКООМП), на основе экспертных кривых изменения производительности их труда в течение рабочей смены в рамках нормального функционирования.

8. Построено модельное представление надпроизводственного поведения антропокомпонентов–операторов, задействованных в задачах обработки материальных потоков, в составе стихийно возникающих бинарных структур на старте рабочей смены и после окончания рекреационного интервала с целью оценки влияния этого поведения на показатели производственного процесса и возможного вырождения.

9. Построена универсальная модельная среда, размещенная в оболочке Simulink, позволяющая:

– проводить комплексные исследования бинарной группы АКООМП в режиме нормального функционирования при медианных значениях параметров их модельных представлений;

– проводить исследование влияния интервальности параметров модельных представлений АКООМП на ход и показатели нормального функционирования АКООМП;

– проводить исследования влияния фактора надпроизводственного поведения бинарной группы АКООМП на ход и показатели функционирования АКООМП в производственной среде;

– проводить исследование оценки возможности использования форсирующих свойств АКООМП на предмет компенсации интервальности их свойств, а также фактора надпроизводственного поведения с целью поддержания требуемых показателей производственного процесса.

Основным предметом диссертационных исследований на предмет оценки возможного вырождения был анализ поведения антропокомпонентов–операторов, задействованных в созидательной деятельности, в стороне от этих исследований оказались проблемы связанные с поведением антропокомпонентов, задействованных в состязательной деятельности. Автор считает желательным применить разработанные в диссертации методологические приемы на этот вид гуманитарной деятельности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Дударенко Н. А., Полякова М. В., Ушаков А.В. Контроль вырождения сложных динамических систем созидательного типа с антропокомпонентами // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2008. № 55. С. 25-31.
2. Дударенко Н. А., Полякова М. В., Ушаков А.В. Достаточные алгебраические условия обобщенной синхронизируемости многоканальных динамических объектов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 5. С. 17-20.
3. Дударенко Н. А., Полякова М. В., Ушаков А.В. Конструирование вещественнозначной критериальной матрицы для одноканальной системы. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 11. С. 62-66.
4. Дударенко Н.А., Полякова М.В., Ушаков А.В. Вырождение производственной динамической системы, вызванное усталостью ее антропокомпонентов. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 11. С. 66-71.
5. Дударенко Н.А., Полякова М.В., Ушаков А.В. Экспресс-оценка склонности сложных динамических систем к вырождению. // Проблемы управления. 2010. № 2. С. 19-24.
6. Дударенко Н.А., Полякова М.В., Ушаков А.В. Алгебраическая организация условий обобщенной синхронизируемости многоагрегатных динамических объектов. // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 2 (66). С. 30-36.
7. Дударенко Н.А., Полякова М.В., Ушаков А.В. Алгебраическая постановка задачи контроля системного вырождения сложных технических систем. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 5. С. 18-22.
8. Дударенко Н.А., Полякова М.В., Ушаков А.В.Формирование интервальных векторно-матричных модельных представлений антропокомпонентов-операторов в составе сложных динамических систем. // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 06(07) С. 32-35.
9. Дударенко Н.А., Полякова М.В., Ушаков А.В. Вычислительные проблемы формирования функционалов вырождения сложных технических систем, описываемых интервальными матричными компонентам. // Проблемы управления, 2011, № 2. С. 31-36.
10. Акунов Т.А., Бирюков Д.С., Дударенко Н.А., Полякова М.В., Ушаков А.В. Формирование спектра сингулярных чисел квадратной матрицы простой структуры. // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 6. С. 53-58.

11. Dudarenko N.A., Poljakova M.V., Ushakov A.V. Rapid Estimation of the Tendency of Complex Dynamical Systems to Degeneration on the Basis of Robust Computing Procedures // Control Sciences, 2010, No.2, p.p.19-24.
12. Dudarenko N.A., Poljakova M.V., Ushakov A.V. Computing Problem of Formation of Degeneration Functional of Complex Systems with Interval Matrix Components // Control Sciences, 2011, No.2, p.p.31-36.

Тиражирование и брошюровка выполнены в учреждении
Типография «Восстания –1»
191036, Санкт-Петербург, ул. Восстания, 1.
Усл. печ. л. 1,3. Тираж 100 экз.