Год	Шахта №1		Шахта №2		Шахта №3	
	Объемы добычи, тыс. тонн	Затраты, млн. грн.	Объемы добычи, тыс. тонн	Затраты, млн. грн.	Объемы добычи, тыс. тонн	Затраты, млн. грн.
2000	103,1	19,589	99,8	18,962	84,1	15,979
2001	98,6	20,706	96,1	20,181	89,4	18,774
2002	81,9	27,846	78,3	26,622	70,7	24,038
2003	75,2	27,824	69,1	25,567	62,9	24,129
2004	80,1	30,438	77,4	29,412	64,8	24,956
2005	102,3	49,104	96,9	46,512	73,7	34,078
2006	125,7	49,023	117,2	45,708	102,2	38,230
2007	201,3	76,494	186,9	71,022	130,7	49,666

На основании имеющихся данных с помощью регрессионного анализа были получены возможные значения коэффициентов эффективности трех шахт на 2008 год, которые затем были использованы при построении функций принадлежности. Для шахты №1 коэффициент эффективности составляет 359. Для шахты №2 коэффициент эффективности может изменяться в пределах от 276 до 400. Для шахты №3 коэффициент эффективности может изменяться в пределах от 187 до 341. Плановое задание для объединения на 2008 год составляет 670,5 тыс. тонн угля.

На основании приведенных выше исходных данных с помощью предложенной методики было рассчитано, что в случае образования коалиций шахта №1 может получить в 2008 году прибыль в размере 266,636 млн. грн., а без образования коалиций шахта №1 в 2008 году может получить прибыль в размере 256,459 млн. грн.

Выводы. В работе предложена обобщенная модель двухуровневой производственно-экономической системы, отражающая различные интересы участников производственно-экономической деятельности, с использованием априорной информации обо всех производственных предприятиях и нечетких представлений о них. Построен алгоритм решения этой задачи с учетом расширения бескоалиционной игры до уровня кооперативной, с использованием регрессионного анализа и теории нечетких множеств. Проиллюстрирована возможность количественного решения этой задачи для заданных условий и возможность получения оценки оптимального поведения предприятия.

Список литературы: ***1.*** *Бурков В. Н.* Основы математической теории активных систем.- М.: Наука, 1977. ***2.*** *Губко М. В.* Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников.- М.: ИПУ РАН, 2003. ***3.*** *Полякова О. Ю.* Кооперативные игры.- Харьков: Издательство ХГЭУ, 2003. ***4.*** *Воробьев Н. Н.* Теория игр для экономистов – кибернетиков.– СПб.: Издательство ленинградского университета, 1974.

Поступила в редколлегию 04.04.08

УДК 621.77

Т.Б. НИКИТИНА, канд. техн. наук

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ

Розроблено метод багатокритеріального синтезу робастного керування танковою гарматою з урахуванням пружних елементів як дискретно-континуальнім об’єктом. Наведено приклад динамічних характеристик синтезованої системи.

The method of quality multi criterion for robust control synthesis by the tank gun control system with elastic elements as discrete-continual plant is developed. The example of dynamic characteristics for such system is given.

Введение. Существенное повышение технических характеристик при незначительных дополнительных затратах целесообразно проводить путем глубокой модернизации существующих образов военной техники. Это, в первую очередь, касается повышения точности систем управления основным и вспомогательным вооружением, повышения подвижности и маневренности и т.д. Глубокая модернизация систем наведения и стабилизации танкового вооружения, в первую очередь, касается существенного повышения их тактико–технических характеристик, выполнить которые с помощью штатной системы невозможно. Планируется также замена гироскопических датчиков угла и угловой скорости в каналах вертикального и горизонтального наведения на бесплатформенную систему навигации на основе микрогироскопов. Кроме того, планируется замена усилительных и преобразовательных элементов на более новые, обладающие лучшими характеристиками. В частности, применение управляющей ЭВМ в системе наведения и стабилизации танкового вооружения позволяет технически реализовать существенно более сложные законы управления. Существующие системы наведения и стабилизации танкового вооружения имеют пропорциональные регуляторы по ошибке рассогласования между направлением ствола орудия и направлением на цель и гибкую обратную связь по скорости изменения этой ошибки. Дальнейшее повышение точности систем наведения и стабилизации танкового вооружения в рамках принятой структуры регуляторов практически исчерпано. Для управления электрогидравлическими и электромеханическими системами со сложными кинематическими связями при высоких требованиях по точности управления в настоящее время используется управление по состоянию, одним из направлений которого является робастное управление. Поэтому проблема синтеза новых алгоритмов управления танковым вооружением является актуальной.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. К системам наведения и стабилизации танкового вооружения предъявляются разнообразные требования при работе систем управления в различных режимах работы. Наиболее характерными требованиями является задача терминального управления – перевод объекта из одного начального состояния в другое. При этом под положением в пространстве состояния пониматься угловое положение пушки в канале вертикального наведения и башни в канале горизонтального наведения. Как правило, при этом накладываются ограничения на качество переходных процессов – время первого согласования, время регулирования, перерегулирование и т.д. Другим характерным режимом работы систем наведения и стабилизации танкового вооружения является компенсация случайных возмущающих воздействий при движении танка по пересеб̆ченной местности. При этом, обычно задается максимальная дисперсия ошибки стабилизации при движении танка по стандартной трассе с заданной скоростью и, естественно, должны удовлетворяться ограничения на переменные состояния и управления, обусловленные спецификой исполнительных устройств и объекта. Еще одним требованием, обычно предъявляемым к системам наведения и стабилизации танкового вооружения, является ограничение ошибок отработки задающих, либо компенсации возмущающих воздействий в виде гармонических сигналов. При этом может быть задан входной сигнал одной частоты, либо нескольких характерных рабочих частот, а может быть задан диапазон рабочих частот, в котором необходимо выполнить определение условия. И, наконец, для систем наведения и стабилизации танкового вооружения характерным режимом работы при наведении орудия на цель является отработка малых скоростей либо малых перемещений. Для этого режима обычно задается неплавность движения в виде соответствующих критериев. Причинами неплавного движения рабочего органа на низких скоростях является наличие нелинейностей типа сухое трение в исполнительных двигателях и рабочих органах. Положение усугубляется наличием упругих элементов между исполнительным двигателем и рабочим органом, что приводит к срывным колебаниям подвижных частей исполнительного двигателя и рабочего органа, сопровождающихся остановками и срывами подвижных частей с положения остановок. В этом режиме наиболее сильно проявляются нелинейности системы и именно они совместно с упругими элементами определяют характер срывных колебаний подвижных частей исполнительных двигателей и рабочих органов.

Анализ последних достижений и публикаций. Трудности решения задачи векторной оптимизации носят концептуальный характер. Речь идет не о том, как получить оптимальное решение, а что понимать под оптимальным решением и можно ли считать данное решение оптимальным. Выбор критерия оптимальности, характеризующего качество процессов управления,

представляет собой неформальную задачу. Как правило, критерий оптимальности носит условный характер. При проектировании системы необходимо подобрать такой показатель качества работы системы, который на интуитивном уровне отражает представление о том, что такое хорошо, и что такое плохо для данной системы. Поэтому трудности проектирования оптимальной системы фактически сводятся к трудностям формирования такого критерия, который бы отражал реальные требования, предъявляемые к системе. Смысловая постановка задачи оптимизации, как правило, является многокритериальной задачей с ограничениями. Естественно, что многие методы решения этой задачи сводятся к формированию однокритериальной задачи, когда все критерии и ограничения с помощью выбранной схемы компромиссов сворачиваются в один показатель качества системы. В заключении заметим, что одному и тому же значению критерия качества в однокритериальной оптимизации могут отвечать переходные процессы, резко отличающиеся по своему виду – колебательные, апериодические, а их показатели качества, такие как время регулирования, перерегулирования отличаются на порядки. Это происходит потому, что в одном критерии необходимо отразить как качество динамических характеристик систем, так и энергозатраты на управления и ограничения на переменные состояния системы. Более того, на основе решения обратной задачи оптимального управления для любого сколь угодно неудовлетворительного по показателям качества переходного процесса можно подобрать такой показатель качества системы, по которому она будет оптимальной. Поэтому именно задача выбора критерия качества является основной, так как само решение задачи оптимизации не представляет трудностей. На важность проблемы выбора функционала качества в задаче аналитического конструирования регуляторов по интегральным квадратичным критериям качества обращали внимание еще ее создатели - Летов и Беллман, а также многие исследователи, пытавшиеся применять эту теорию для решения практических задач. Однако, до настоящего времени эта проблема до конца не решена, о чем, в частности, свидетельствуют работы [1].

Классические задачи оптимального управления решают задачу синтеза управления, минимизирующего принятый критерий качества при определенных ограничениях на вектора управления и состояния. Фактически при синтезе оптимальной системы решается задача определения такого управления, при котором выполняются определенные ограничения на переменные состояния и управления. Как правило, эти ограничения удается выполнить в результате итеративного решения задачи оптимизации подбирая параметры, а возможно и вид критерия качества. Причем сама величина критерия качества часто не играет решающей роли, а проектировщика системы интересуют совершенно другие, часто противоречивые показатели работы системы управления, да еще и в различных режимах работы.

В последнее время интенсивно развивается теория робастного управления. Системы робастного управления обладают рядом преимуществ. Во-первых, они робастно устойчивы, т.е. сохраняют устойчивость при изменении параметров объекта управления в определенных пределах. Во-вторых, они имеют существенно меньшую чувствительность к изменению параметров объекта управления по сравнению с оптимальными системами, несмотря на то, что динамические характеристики робастных систем могут незначительно отличаться от соответствующих характеристик оптимальных систем. Естественно, что ни в одном техническом задании на систему наведения и стабилизации танкового вооружения нет критерия робастного управления. Трудность синтеза робастной системы наведения и стабилизации танкового вооружения заключается не в решении тех или иных уравнений, а, прежде всего, в формулировании критерия качества робастного управления таким образом, чтобы синтезированная система удовлетворяла техническим требованиям, предъявляемым к системе. .

Цель работы. Целью данной работы является повышение точности работы системы стабилизации танкового вооружения за счет применения многокритериального синтеза робастного регулятора. Задачей статьи является многокритериальный синтез и исследование динамических характеристик робастной системы стабилизации танкового вооружения с учетом упругости ствола.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов. Для решения этой задачи воспользуемся концепцией функционально - множественной принадлежности на элементах пространства состояний. При этом предполагается, что цель управления, ограничения на вектор состояния и управления могут быть приведены к единым ограничениям на вектор состояния системы. Предположим, что исходная нелинейная система может быть описана в пространстве состояний нелинейным дифференциальным уравнением состояния в следующем виде:

$$\dot{x} = f(x,u,t),\ x(t_0) = x_0,\ t \geq t_0,$$

$$u \in U(x,t),$$

где $U(x,t) \subset R^m$ - некоторое заданное множество для каждого x и $t \geq t_0$, для выполнения следующего соотношения на вектор состояния:

$$x = x(t) \in Q(t),\ t \geq t_0,$$

$$Q(t) = \{x \in R^n : y\ (x,t) \leq 0\},$$

где $y\ (x,t)$ - скалярная непрерывно – дифференцируемая по всем своим переменным функция.

Тогда для обеспечения условия принадлежности вектора состояния $x(t)$ множеству $Q(t)$ достаточно, чтобы обеспечивалось неравенство: $(\nabla_x \psi, f(x,u,t)) \leq 0$ для каждого $x \in \Gamma Q(t)$ и хотя бы одного соответствующего ему значения $u \in U(x,t)$ при $t \geq t_0$, где $\Gamma Q(t) = \{x \in R^n : y\ (x,t) = 0\}$ - граница множества $Q(t)$; $\nabla_x y$ - градиент функции $y\ (x,t)$; $(\nabla_x y\ , f(\cdot))$ - скалярное произведение векторов $\nabla_x y\ , f(\cdot) \in R^n$.

При робастном управлении на первом этапе обычно не требуется решение задачи оптимального управления, а решается лишь задача функциональной принадлежности синтезируемого управления области допустимых решений. Условие выполнения полученного неравенства фактически требует выбора такого управления, при котором вектор скорости движения системы направлен внутрь области допустимых решений. После того, когда определено управление, обеспечивающее функциональную принадлежность получаемого управления, может быть поставлена задача, оптимизации робастного управления. Естественно, что по остальным поверхностям необходимо выполнять ограничения в форме неравенств, обеспечивая направление движения системы внутри допустимой области, чтобы не нарушать ограничения, налагаемые на характеристики системы. Обычно часть требований, предъявляемых к системе, формулируются в форме минимума либо максимума. Например, желательно обеспечить минимальную дисперсию ошибки системы, минимальное время регулирования, минимальную ошибку отработки гармонического сигнала и т.д. Тогда цель управления может быть сформулирована в виде вектора контролируемых параметров

$$y = j\ (x(t),t) \in Q(t),\ t \geq t_0$$

где $j\ (x,t)$ - некоторая заданная непрерывно – дифференцируемая $(n \times 1)$ - вектор – функция, а множество

$$Q(t) = \{y \in R^n : y\ (y,t) \leq 0\}.$$

Тогда, для обеспечения условия принадлежности вектора состояния $\vec{x}(t)$ множеству $Q(t)$ для выполнения ограничений на вектор состояния и для обеспечения условия принадлежности вектора цели управления $y(t)$ множеству $Q(t)$ достаточно, чтобы выполнялось неравенство: $\left(\nabla_y\psi,\nabla_x\varphi\cdot f(x,u,t)+\dfrac{\partial\psi}{\partial t}\right)\le 0$ для каждого $y\in\Gamma Q(t)$ и каждого $x\in M(y,t)$ и хотя бы одного, соответствующего каждому x, значения $u\in U(x,t)$, $t\ge t_0$, где $\Gamma Q(t)$ - граница множества $Q(t)$; $\nabla_y y$ - градиент функции $y(y,t)$; $\nabla_x j$ - якобиан функции $j(x,t)$; $M(y,t)$ - некоторое многообразие, соответствующее $y\in\Gamma Q(t)$ и определяемое согласно зависимости:

$$M(y,t)=\left\{x\in R^n : j(x,t)=y\right\},$$

$$Q(t)\subseteq B_j \text{ при } t\ge t_0 .$$

При минимизации управляющего воздействия это неравенство может быть записано в виде следующего неравенства:

$$\min_{u\in U(x,t)}\left(\nabla_y\psi,\nabla_x\varphi\cdot f(x,u,t)\right)+\left(\nabla_y\psi,\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)+\frac{\partial\psi}{\partial t}\le 0,$$

для каждого $y\in\Gamma Q(t)$ и каждого $x\in M(y,t), t\ge t_0$, где $u(x,t)$ определяется в результате решения задачи минимизации.

$$\min_{u\in U(x,t)}\left(\nabla_y y,\nabla_x j\cdot f(x,u,t)\right)=\left(\nabla_y y,\nabla_x j\cdot f(x,\bar{u}(x,t),t)\right).$$

При синтезе робастной системы управления объектом с параметрическими или структурными неопределенностями, либо неопределенностями внешних воздействий это неравенство может быть записано в виде максиминного неравенства:

$$\max_{x\in M(y,t)}\min_{u\in U(x,t)}\left(\nabla_y\psi,\nabla_x\varphi\cdot f(x,u,t)\right)+\left(\nabla_y\psi,\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)+\frac{\partial\psi}{\partial t}\le 0,$$

для каждого $y\in\Gamma Q(t)$ и каждого $x\in M(y,t), t\ge t_0$.

Заметим, что если некоторые компоненты неравенств превращаются в строгие равенства, то это соответствует тому, что вектор движения системы направлен ортогонально касательной плоскости данного неравенства. Целесообразность такого движения необходимо оценивать по общей удаленности системы от границы ограничений.

Задание множества $Q(t)$ является достаточно сложной, а часто формально нерешенной задачей. По-видимому, самым универсальным методом задания области $Q(t)$ является проведение имитационного моделирования системы с определенным законом управления. При этом, задание закона управления является обязательным, так как многие показатели качества предъявляются не только к исполнительному двигателю, объекту управления, а и непосредственно ко всей системе управления в целом. Заметим, что получение аналитических зависимостей функций $y(\vec{x},t)$ и $j(\vec{x},t)$ может представлять значительные трудности. Однако, для решения задачи необходимы не сами функции, а их градиент и якобиан, которые могут быть получены численными методами.

Эти неравенства, полученные на основе концепции функционально-множественной принадлежности на элементах пространства состояний, достаточно близки к уравнениям синтеза нелинейных оптимальных систем, полученных на основе классического метода динамического программирования Беллмана. Оптимальное управление удовлетворяет дифференциальному уравнению в частных производных, называемому уравнением Гамильтона – Якоби – Беллмана:

$$-\frac{\partial S(\vec{x}(t),t)}{\partial t}=\min_{u\in U}\left\{\frac{\partial S(\vec{x}(t),t)}{\partial\vec{x}^T}j(\vec{x}(t),\vec{u}(t),t)+j_0(\vec{x}(t),\vec{u}(t),t)\right\}.$$

В результате нахождения минимального значения правой части этого уравнения, оно перестает зависеть от управления $\vec{u}(t)$, поэтому это уравнение Гамильтона – Якоби – Беллмана используется также в следующем виде:

$$-\frac{\partial S(\vec{x}(t),t)}{\partial t}=\frac{\partial S(\vec{x}(t),t)}{\partial\vec{x}^T}j(\vec{x}(t),\vec{u}(t),t)+j_0(\vec{x}(t),\vec{u}(t),t).$$

Робастное управление системами является одним из направлений современного геометрического подхода к теории управления, так как фактически необходимо синтезировать регулятор для управления не одной системой, а целым семейством систем. При этом многие свойства групп систем описываются как решения уравнений в частных производных, хотя динамика систем управления обычно описывается системами обыкновенных дифференциальных уравнений. Особенность дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка состоит в том, что их решение вполне определяется интегральными кривыми некоторых систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Это, в частности имеет место и при оптимальном управлении, когда решение уравнения Гамильтона – Якоби – Беллмана в частных производных эквивалентно решению канонической системы обыкновенных дифференциальных уравнений состояний для векторов основных и вспомогательных переменных принципа максимума Понтрягина. При оптимальном управлении необходимо выбрать управление, минимизирующее проекцию вектора скорости на нормаль к изоповерхности функции Беллмана $S = const$. В соответствии с принципом максимума Понтрягина, необходимо выбрать такое оптимальное управление, которое бы обеспечивало ортогональность вектора вспомогательных переменных в принципе максимума Понтрягина к поверхности $S = const$, являющейся функцией Беллмана в принципе динамического программирования.

К настоящему времени решение уравнения Гамильтона – Якоби – Беллмана в общем виде для любых нелинейных систем сопряжено с определенными трудностями. Однако это уравнение решается для нелинейных систем с так называемыми аналитическими нелинейностями, когда исходные нелинейности раскладываются в степенной ряд в достаточно малой окрестности рабочей точки системы [2]. Первым приближением такого разложения является линейная система с квадратичным критерием качества и линейными обратными связями по вектору состояния.

Результаты моделирования. В качестве примера рассмотрим построение робастной системы наведения и стабилизации танкового вооружения в канале вертикального наведения [3 – 4]. Введем вектор состояния

$$\vec{X}(t)=\begin{Bmatrix}\varphi(t),\dot{\varphi}(t),T_0(t),\dot{T}_0(t),M_{co}(t),\dot{M}_{co}(t),\\ M_{\text{во}}(t),\dot{M}_{\text{во}}(t),f_0(t),\dot{f}_0(t),z(t)\end{Bmatrix}.$$

Тогда в уравнении состояния возмущенного движения дискретно-континуального объекта стабилизации совместно с уравнениями формирующих фильтров и исполнительного электрогидравлического привода с гидроцилиндром и интегратором, на котором реализуется астатический регулятор, матрица состояния примет вид, показанный на следующей странице.

На рис.1 показаны переходные процессы а) угла $\varphi(t)$ отклонения направления ствола от направления на цель; б) производной $\dot{\varphi}(t)$ этого угла отклонения; в) функции $T_0(t)$; г) производной функции $\dot{T}_0(t)$; д) момента стабилизации $M_{co}(t)$ и е) производной момента стабилизации $\dot{M}_{co}(t)$ орудия с помощью исполнительного гидроцилиндра в канале вертикального наведения при обработке рассогласования $\Delta\varphi = 0{,}1$ синтезированной системой робастного наведения и стабилизации танкового вооружения.

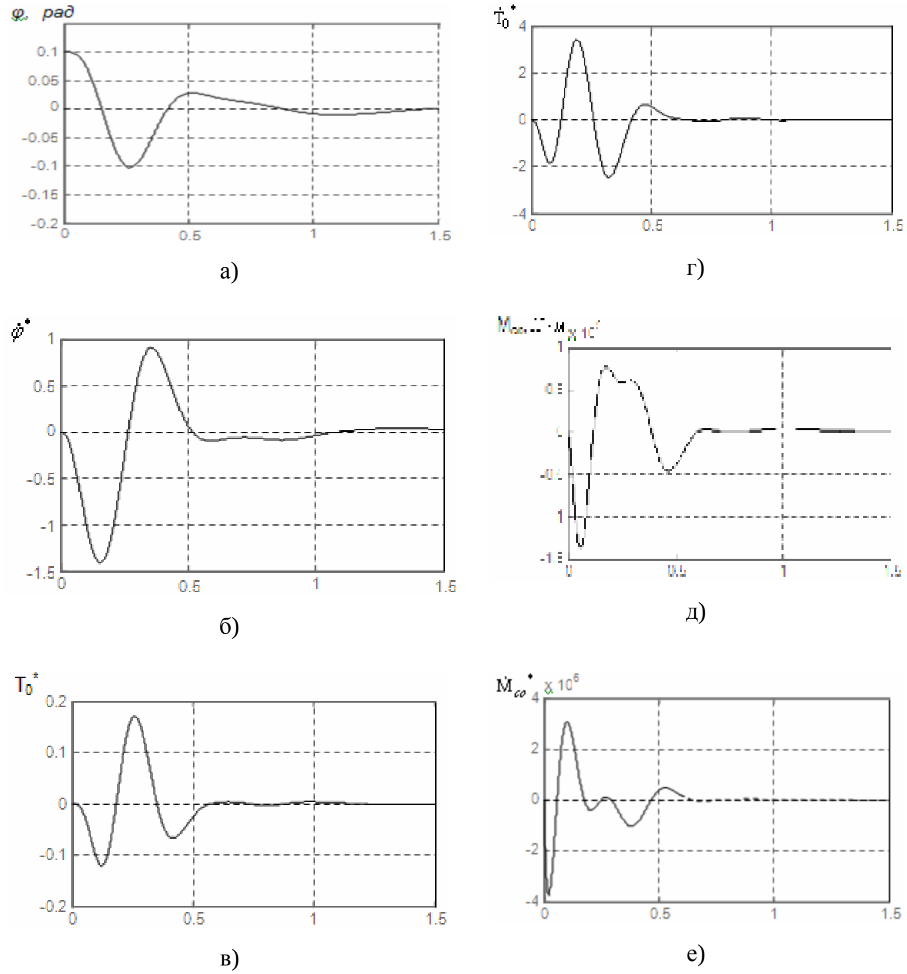

Рис.1. Переходные процессы а) угла $\varphi(t)$ отклонения; б) производной $\dot{\varphi}(t)$ угла отклонения; в) функции $T_0(t)$; г) производной функции $\dot{T}_0(t)$; д) момента стабилизации $M_{co}(t)$ и е) производной момента стабилизации $\dot{M}_{co}(t)$ орудия с помощью исполнительного гидроцилиндра вертикального наведения при обработке системой рассогласования $\Delta\varphi = 0{,}1$

$$A=\left\|\begin{array}{ccccccccccc}
 & 1 & & & & & & & & & \\
 & & -\dfrac{a_0b_0}{\Delta} & -\dfrac{xa_0b_0}{\Delta} & \dfrac{c_0}{\Delta} & & \dfrac{c_0}{\Delta} & & \dfrac{a_0}{\Delta} & & \\
 & & & 1 & & & & & & & \\
 & & \dfrac{-I_0b_0}{\Delta} & \dfrac{-xI_0b_0}{\Delta} & \dfrac{-a_0}{\Delta} & & \dfrac{-a_0}{\Delta} & & \dfrac{I_0}{\Delta} & & \\
 & & & & & 1 & & & & & \\
 & & & & \dfrac{-1}{T_y^2} & \dfrac{-2x_y}{T_y} & & & & & \\
 & & & & & & & 1 & & & \\
 & & & & & & \dfrac{-1}{T_в^2} & \dfrac{-2x_в}{T_в} & & & \\
 & & & & & & & & & 1 & \\
 & & & & & & & & \dfrac{-1}{T_f^2} & \dfrac{-2x_f}{T_f} & \\
-1 & & & & & & & & & &
\end{array}\right\|.$$

Выводы, перспективы этого направления. Таким образом, с помощью разработанной методики многокритериального синтеза робастных регуляторов удалось получить приемлемые показатели качества и удовлетворить технические требования, предъявляемые к системе наведения и стабилизации танкового вооружения. Процедура многокритериального синтеза системы наведения и стабилизации танкового вооружения решена на основе концепции функционально - множественной принадлежности на элементах пространства состояний. Приведен пример динамических характеристик синтезированной системы наведения и стабилизации танкового вооружения в канале вертикального наведения.

Список литературы: ***1.*** *Александров Е.Е., Александрова Т.Е.* Выбор оптимизируемого функционала в задачах параметрического синтеза систем стабилизации //Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2004. – №2. – С. 23 – 26 ***2.*** *Никитина Т.Б.* Робастное управление многоканальными итерационными электроприводами по Н2 и H^{∞} критериям. Електромашинобудування та електрообладнання. Міжвідомчий науково – технічний збірник. Одеса - 2006. Випуск №67. С. 13 – 17. ***3.*** *Никитина Т.Б.* Робастная стабилизация танкового вооружения. Вестник НТУ «ХПИ», Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». 2007, №10. С. 134 – 144. ***4.*** *Никитина Т.Б.* Робастная стабилизация дискретно – континуального объекта //Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 4. Київ. 2007. С. 60 – 64

Поступила в редколлегию 20.03.08

УДК 004.056.5:518

А. А. КОБОЗЕВА, канд. физ.-мат. наук, доц., ОНПУ (г. Одесса),
Е. В. НАРИМАНОВА, аспирант, ОНПУ (г. Одесса)

ЭФФЕКТ ДВОЙНОГО КВАНТОВАНИЯ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

У роботі отримані достатні умови проявлення і відсутності проявлення ефекту подвійного квантування, що виникає при дворазовій JPEG - компресії цифрового зображення, що може бути використано для створення практичного методу доведення оригінальності цифрової фотографії.

В работе получены достаточные условия проявления и отсутствия проявления эффекта двойного квантования, возникающего при двукратной JPEG-компрессии цифрового изображения, что может быть использовано для создания практического метода доказательства подлинности цифровой фотографии.

In this work there have been received sufficient conditions of displaying or absence of displaying of double quantization effect, that arise at double JPEG-compression of digital image, that can be used in creation of practical method of provement authenticity of digital photograph.

Введение. Доказательство подлинности цифровых изображений (ЦИ) является актуальной задачей во многих областях человеческой деятельности. Своей остротой данная проблема обязана бурному развитию технических средств обработки и генерации ЦИ, общедоступности редактирующего изображения программного обеспечения.

Большинство современных цифровых фотокамер используют для хранения ЦИ формат JPEG с потерями, основой которого является дискретное косинусное преобразование (DCT) [1], а большинство несанкционированных изменений цифровой фотографии сводится к замещению некоторой ее области на область другого ЦИ. После такой фальсификации полученное изображение часто сохраняется в формате JPEG, что приводит к обязательному повторному квантованию [1] коэффициентов DCT (DCT-коэффициентов) некоторой части или всего фальсифицированного ЦИ. Таким образом, обнаружение «следов» двойного квантования, при наличии таковых, является «указателем» на возможную фальсификацию изображения. В силу этого определение отличительных особенностей двукратного применения JPEG-сжатия изображения и построение методов выявления этих особенностей чрезвычайно актуально с точки зрения решения проблемы обнаружения фальсификации цифровой фотографии.

Эффект двойного квантования (double quantization), или DQ-эффект, рассматривается в [2-5]. В [3] обращается внимание на возможность его использования для обнаружения несанкционированного изменения ЦИ, а в [5] делается попытка создания практического метода выявления фальсификации цифровой фотографии на основе эффекта двойного квантования. Однако, недостаточность теоретических исследований особенностей DQ-