

УДК 62-83:621.77

С.Н. БАЛЮТА, д-р техн. наук, проф., НУПТ, Киев,
Т.Б. НИКИТИНА, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
Л.А. КОПЫЛОВА, асп., НУПТ, Киев,
М.О. ТАТАРЧЕНКО, асп., НТУ "ХПИ",
В.В. ХОМЕНКО, асп., НТУ "ХПИ"

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ КОМБИНИРОВАННОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ СОВМЕСТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ, НАТЯЖЕНИЯ И ПЕТЛИ ПОЛОСЫ В ЧИСТОВОЙ ГРУППЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Разработан метод многокритериального синтеза комбинированной стохастической робастной системы совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы в чистой группе широкополосного стана горячей прокатки. Показано, что разработанная система обеспечивает более высокую точность регулирования толщины, натяжения и величины петли полосы по сравнению с существующими системами. Ил.: 4. Библиогр.: 18 назв.

Ключевые слова: система совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы, комбинированная стохастическая робастная система, многокритериальный синтез.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. При проектировании новых и модернизации существующих прокатных станов особое внимание уделяется повышению точности и качества выпускаемого проката [1, 2]. Автоматизация прокатного производства является важнейшим средством в повышении качества и получении готовой продукции, удовлетворяющей жестким требованиям по геометрическим параметрам – толщине, форме, планшетности и т.д. В процессе прокатки возникают колебания технологических параметров – толщины, давления прокатки, натяжения полосы, обусловленные изменением толщины подката, его температуры и физико-химических свойств. Для обеспечения необходимых свойств проката системы автоматического регулирования толщины, натяжения и петли полосы должны обеспечить минимально возможные отклонения технологических параметров от заданных значений [3, 4].

Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме. При построении САУ технологическими параметрами на основе локальных систем регулирования толщины и натяжения в системе возникают возмущения, обусловленные работой каждой из систем, что приводит к ухудшению характеристик проката [5 – 7]. Для обеспечения

повышенных требований к прокату при построении системы управления технологическими параметрами необходимо учитывать наличие взаимного влияния между локальными системами регулирования, изменение технологических параметров и фазового состояния металла [8].

Синтез систем комбинированного управления, у которых сочетается принцип управления по разомкнутому и замкнутому контуру, позволяет получать точность, недостижимую в классических системах только с обратной связью [9 – 13]. Изменение параметров проката носит случайный характер, поэтому при синтезе систем целесообразно использовать робастные регуляторы, с помощью которых минимизируется анизотропийная норма вектора цели управления [14 – 16]. В системе совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы необходимо одновременно минимизировать несколько показателей качества, характеризующих отклонение толщины, натяжения и петли полосы от их заданных значений, так что исходная задача является многокритериальной [17]. Однако в существующих системах многокритериальный синтез комбинированной стохастической робастной системы совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы в чистой группе широкополосного стана горячей прокатки не используется.

Целью данной статьи является разработка метода многокритериального синтеза комбинированной стохастической робастной системы совместного управления технологическими параметрами горячекатанного проката с учетом взаимного влияния технологических параметров и возмущений, обусловленных изменением толщины и твердости металла подката вследствие изменения его температуры, химического состава и фазового перехода металла из аустенита к ферриту и обратно, а также изменением раствора валков прокатной клетки.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов. Рассмотрим математическую модель системы совместного управления технологическими параметрами горячекатанного проката с учетом взаимного влияния технологических параметров и возмущений следуя работе [18]. Введем вектор состояния расширенной системы, включающий вектор состояния объекта управления и вектора состояния моделей задающего и возмущающего воздействий. Введем вектор внешних воздействий, компонентами которого являются вектора, возбуждающие модели формирующих фильтров векторов задающего и возмущающего воздействий, а также помех измерения векторов

задающих и возмущающих воздействий, а также помех измерения векторов выхода исходного объекта управления и доступных для измерения векторов состояния объекта управления.

В вектор цели стохастического робастного управления введем ошибку обработки системой задающего воздействия и ошибку компенсации возмущающего воздействия. Все эти компоненты берутся с определенными весами, которые определяются в процессе многокритериального синтеза комбинированного стохастического робастного управления. Эффект комбинированного управления при синтезе анизотропийных регуляторов определяется тем, что используется вся имеющаяся информация о задающем и возмущающем воздействии. Причем, при синтезе стохастического робастного управления учитываются помехи измерения этих сигналов с помощью соответствующих технических устройств.

Однако, в отличие от классического комбинированного управления, когда разомкнутые контуры управления по задающему и возмущающему воздействиям синтезируются отдельно, независимо друг от друга и, как правило, после синтеза контура обратной связи, при робастном управлении синтез контуров разомкнутого и замкнутого управлений выполняется одновременно для минимизации анизотропийной нормы вектора цели робастного управления.

Рассмотрим исходную дискретную систему, имеющую n -мерный вектор состояния x , m -мерный вектор входа ω и p -мерный вектор цели z , заданную в пространстве состояний матрицами A , B , C , D , так что

$$x_{k+1} = Ax_k + B\omega_k, \quad z_k = Cx_k + D\omega_k. \quad (1)$$

Средняя анизотопия этой системы равна

$$\bar{A}(G) = -\frac{1}{2} \ln \det \left(\frac{m \Sigma}{\text{Trace}(LPL^T + \Sigma)} \right), \quad (2)$$

где матрица P есть грамиан управляемости G , удовлетворяющий уравнению Ляпунова, а матрицы L и Σ соответствуют решению R уравнения Риккати [15]. Решение задачи синтеза анизотропийных регуляторов во временной области в виде матриц A , B , C , D реализации, с помощью которых минимизируется средняя анизотропия системы (2), сводится к вычислению трех алгебраических уравнений Риккати, уравнения Ляпунова и уравнения специального вида для вычисления уровня анизотропии входного сигнала [16].

Исходная система, замкнутая синтезированным анизотропийным регулятором, обладает определенными динамическими характеристиками, которые определяются вектором цели. Возможность решения задачи многокритериального синтеза анизотропийных регуляторов многомассовых электромеханических систем путем соответствующего выбора вектора цели показана на основе концепции функционально множественной принадлежности вектора состояния, что позволяет удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе многомассовых электромеханических систем в различных режимах.

Введем вектор искомых параметров $\chi = \{C, D\}$, компонентами которого являются элементы матриц C и D исходной системы (1), с помощью которых формируется вектор цели z стохастического робастного управления. Зададим начальное значение вектора χ , синтезируем анизотропийный регулятор и определим прямые показатели качества замкнутой системы в различных режимах. Пронормируем эти частные критерии y_i , так чтобы они находились в диапазоне $0 \leq y_i \leq 1$. Приближение нормированного значения i -го частного критерия к единице соответствует напряженной ситуации, а если величина нормированного значения частного критерия приближается к нулю, то это соответствует спокойной ситуации.

При многокритериальном синтезе обычно бывает ситуация, когда исходная точка по некоторым критериям является недопустимой. В частности, это касается заданных значений времени первого согласования, перерегулирования, точности отработки и компенсации случайных внешних воздействий и многих других показателей качества, предъявляемых к системе. Однако, ряд критериев, таких как величины управляющих воздействий и переменных состояния являются допустимыми. Поэтому, в нелинейной схеме компромиссов [17] используется комбинация метода штрафных функций с внутренней точкой для локальных критериев и ограничений, являющихся допустимыми, и метода с внешней точкой для локальных критериев и ограничений, являющихся недопустимыми, так что целевая функция примет следующий вид

$$f(\chi, r, \lambda) = \sum_{i=1}^J \alpha_i [1 - y_i(\chi)]^{-1} + s(r)L(z) + p(\lambda)T(\chi), \quad (3)$$

где α_i – весовые коэффициенты, характеризующие важность частных критериев y_i , $s(r)$ и $p(\lambda)$ – весовые функции, учитывающие влияние

функции штрафа $L(\chi, r) = r^2 \sum_{i=1}^m \frac{1}{g_i(\chi)}$ для метода внутренней точки и

функции штрафа $T(\chi) = \sum_{i=1}^m \frac{1}{2r} \{\min[0, g_i(\chi(r))]\}^2$ для метода внешней

точки. Для получения оптимального решения и выполнения ограничений необходимо, чтобы $r \rightarrow 0$, а $\lambda \rightarrow \infty$. Для решения такой задачи нелинейного программирования с ограничениями (3) использован метод последовательного квадратичного программирования (Sequential quadratic programming – SQP method).

Архитектура системы совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы. Для обоснования архитектуры системы совместного управления толщиной и натяжением проката в чистовой группе клеток широкополосного стана горячей прокатки, рассмотрим взаимодействия между локальными системами автоматического регулирования толщины, натяжения и петли полосы при наличии возмущений. Основными возмущениями являются: изменение толщины, входящей в клетку полосы – подката, изменение ее температуры и химического состава, обуславливающие изменение коэффициента деформации проката.

На рис. 1 показаны графики изменения технологических параметров при прохождении полосы, состоящей из 6 прокатных клеток чистовой группы непрерывного стана горячей прокатки, оборудованной локальными системами регулирования толщины, натяжения и петли полосы. Между клетями 5 и 6 происходит фазовый переход состояния металла. Это обусловлено понижением выходной температуры за чистовой группой ниже 900 градусов. Уменьшение температуры полосы из-за ее охлаждения вызвало преобразование металла от аустенита к ферриту с соответствующим большим понижением температуры и уменьшением твердости [6]. Последующее увеличение температуры металлопроката, входящего в чистовую группу вновь приводит к аустенитной прокатке.

Одним из эффективных способов предотвращения изменений формы полосы и поддержания необходимых условий прокатки при наличии возмущений является управление натяжением и петлей полосы на основе постоянства секундного расхода металла – потока массы проката. При создании системы управления технологическими

параметрами прокатки необходимо сформировать структуру системы управления и реализовать регуляторы, которые позволят учесть сложные взаимодействия в чистовой группе клеток стана.

На рис. 2 представлена схема системы взаимосвязанного регулирования толщины (САРТ), системы управления высотой подъема петледержателя и натяжения полосы (САРНП) и системы управления компенсации изменения потока массы (СКПМ) широкополосного стана горячей прокатки (ШСГП).

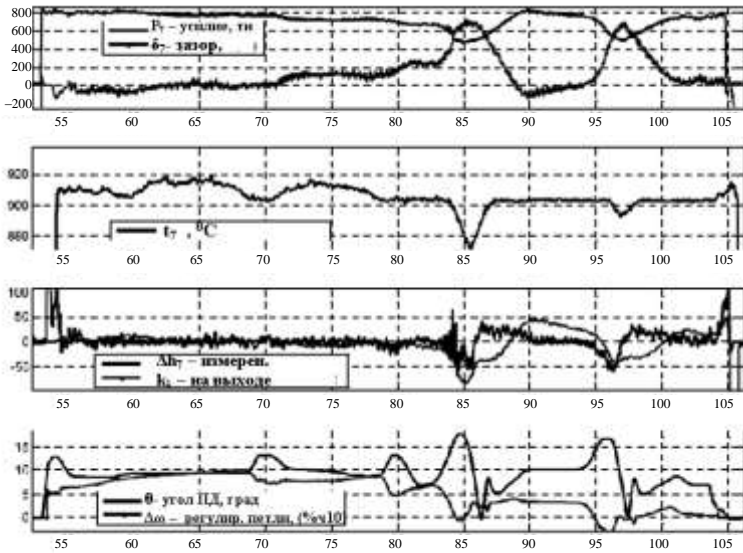


Рис. 1. Параметры прокатки в чистовой группе клеток широкополосного стана горячей прокатки при фазовом переходе в металле стальной полосы

В САРНП используется непосредственно измеряемый угол петледержателя, на основании которого вычисляется длина полосы в межклетьевом промежутке и требуемое изменение скорости вращения рабочего вала. Натяжение полосы обеспечивается с помощью ролика петледержателя, используя крутящий момент приводного двигателя привода петледержателя (ПП). На стане с гидронажимными устройствами раствор валков прокатной клетки изменяется с помощью быстродействующего гидропривода, что вызывает дополнительное

перемещение петледержателя, который управляется более медленным главным приводом.

Чтобы повысить устойчивость работы петледержателя, используется система СКПМ, которая формирует упреждающее управляющее изменение скорости вращения главного привода последующей клетки для компенсации изменения всех возмущений, измеренных с помощью наблюдателя (НБ) и, в особенности, изменение коэффициента твердости материала полосы.

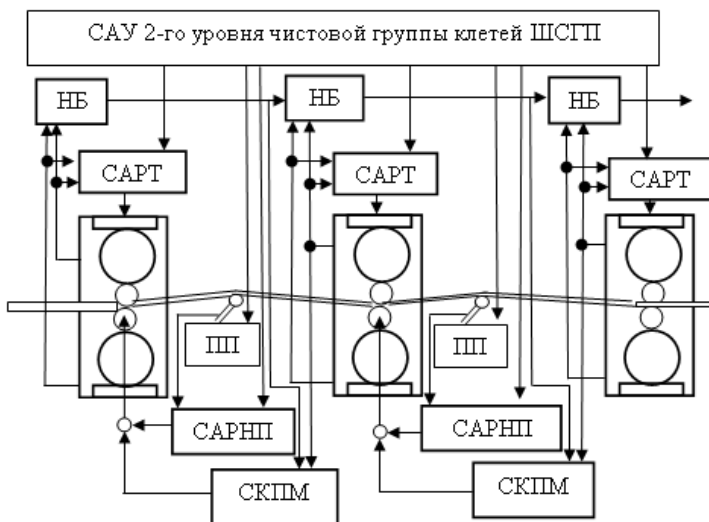


Рис. 2. Система взаимосвязанного управления толщиной, натяжением и петлей полосы широкополосного стана горячей прокатки

Результаты моделирования на ЭВМ. Результаты оценки отклонения толщины и температур полосы представлены на рис. 3. Здесь показаны следующие зависимости: 1 – оцененные значения температуры полосы за 6-й клетью ($+60^{\circ}\text{C}$); 2 – оцененные значения температуры полосы за 7-й клетью ($+40^{\circ}\text{C}$); 3 – измеренные значения температуры полосы за 7-й клетью; 4 – оцененные значения толщины полосы за 6-й клетью ($+0,4\text{ мм}$); 5 – оцененные значения толщины полосы за 7-й клетью ($+0,2\text{ мм}$); 6 – измеренные значения толщины полосы за 7-й клетью.

Так как толщина и температура непосредственно измеряются только за последней клетью, то в распоряжении имеются контрольные значения только для этого места. Результаты сравнения представленных

оценочных и измеренных значений толщины и температуры показывают достаточно хорошее совпадение.

Результаты моделирования переходного процесса в разработанной системе при совместной работе САРТ и САРНиП, а также СКПМ с учетом компенсации всех возмущений, представлены на рис. 4.

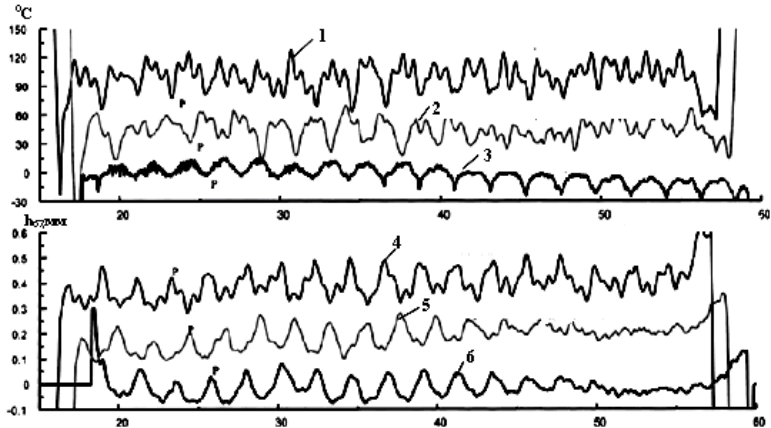


Рис. 3. Измеренные и оцененные значения параметров полосы

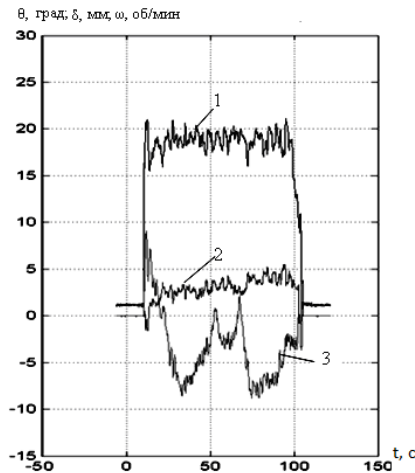


Рис. 4. Динамические характеристики системы взаимосвязанного регулирования толщины, натяжения и петли полосы

Представленные на рис. 4 переходные процессы показывают значительное улучшение качества регулирования в разработанной САРН и П при использовании СКПМ с учетом всех возмущений, действующих на полосу, по сравнению с существующей системой СКПМ с компенсацией только разнотолщинности подката. Здесь показаны следующие переменные: 1 – угол петледержателя; 2 – раствор валков; 3 – изменение частоты вращения валков прокатной клетки для обеспечения постоянства потока металлопроката.

Выводы из проведенного исследования, перспективы этого направления. Разработан метод многокритериального синтеза комбинированной стохастической робастной системы совместного управления технологическими параметрами горячекатанной полосы с учетом взаимного влияния технологических параметров и возмущений, обусловленных изменением толщины и твердости металла подката вследствие изменения его температуры, химического состава и фазового перехода металла из аустенита к ферриту и обратно, а также изменением раствора валков прокатной клетки. Выполнено исследование динамических характеристик синтезированной системы взаимосвязанного регулирования толщины, натяжения и величины петли полосы и показано, что разработанная система обеспечивает более высокую точность геометрических параметров проката при наличии возмущений в виде изменения толщины подката, его температуры, химического состава, фазового состояния металла и соответствующего изменения коэффициента твердости металла по сравнению с существующими системами регулирования толщины, натяжения и величины петли полосы.

Список литературы: 1. *Айгнер Х.* Модернизация приводов широкополосного стана горячей прокатки фирмы Voestalpine Stahl / *Х. Айгне, А. Фухс* // Черные металлы. – 2006. – № 6. – С. 45-47. 2. *Вебербергер Э.* Повышение производительности и качества продукции широкополосного стана горячей прокатки компании VOESTALPINE STAHL GMBH / *Э. Вебербергер, В. Зайрук, Г. Миттер, Р. Коннерт* // Черные металлы. – 2008. – № 1. – С. 26-32. 3. *Дегнер М.* Разработки в области горячей и холодной прокатки / *М. Дегнер, У. Ратцек* // Черные металлы. – 2006. – № 1. – С. 33-42. 4. *Дегнер М.* Третья европейская конференция по прокатке. Актуальные разработки в области горячей и холодной прокатки / *М. Дегнер, А. Франк, Х. Лакинге, П.-Й. Маук* // Черные металлы. – 2004. – № 4. – С. 28-35. 5. *Джелали М.* Современные стратегии регулирования на прокатных станах / *М. Джелали, У. Мюллер, А. Вольфф, В. Унгерер* // Черные металлы. – 2001. – № 6. – С. 72-81. 6. *Архангельский В.И.* Интегрированные АСУ в промышленности / *В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Н.А. Рюшин.* – Киев: НПК КИА, 1995. – 316 с. 7. *Архангельский В.И.* Нейронные сети в системах автоматизации / *В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюшин.* – К.: Техника, 1999. – 364 с. 8. *Архангельский В.И.* АСУ листопркатным производством / *В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, В.И. Васичкин* и др. – М.: Металлургия, 1994. – 334 с. 9. *Кунцевич В.М.* Инвариантность и квазиинвариантность

систем управління / *В.М. Кунцевич* // Праці міжнародної конференції "50 років інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України". – Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. – 2008. – С. 61-74. **10.** *Кунцевич В.М.* Квазиінваріантність, робастність і адаптація в системах управління / *В.М. Кунцевич* // Труды научного семінара "70 – лет теорії інваріантності". Москва, 2 июня 2008 г. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 61–90. **11.** *Gu D.-W.* Robust Control Design with MATLAB / *D.-W. Gu, P.Hr. Petkov, M.M. Konstantinov.* – Springer, 2005. – 389 p. **12.** *Hoyle D. An H^∞ approach to two-degree-of-freedom design / D. Hoyle, R. Hyde, D.J.N. Limebeer* // In Proceedings of the 30 th IEEE Conference on Decision and Control. – 1991. – P. 1581-1585. **13.** *Limebeer D.J.N.* On the design of robust two degree of freedom controllers / *D.J.N. Limebeer, E.M. Kasenally, J.D. Perkins* // Automatica – 1993. – № 29. – P. 157–163. **14.** *Diamond P.* Anisotropy – based performance analysis of linear discrete time invariant control systems / *P. Diamond, I.G. Vladimirov, A.P. Kurdjukov, A.V. Semyonov* // Int. J. Control. – 2001. – №. 74. – P. 28–42. **15.** *Vladimirov I.G.* State-space solution to anisotropy-based stochastic H_∞ – optimization problem / *I.G. Vladimirov, A.R. Kurdjukov, A.V. Semyonov* // Proc. 13th IFAC World Congress. – San-Francisco (USA). – 1996. – P. 427–432. **16.** *Semyonov A.V.* Stochastic approach to H_∞ – optimization / *A.V. Semyonov, I.G. Vladimirov, A.P. Kurdjukov* // Proc. 33rd IEEE Conf. on Decision and Control. – Florida (USA). – 1994. – P. 2249–2250. **17.** *Воронин А.Н.* Многокритеріальний синтез динамічних систем / *А.Н. Воронин.* – К.: Наукова думка, 1992. – 160 с. **18.** *Кузнецов Б.И.* Синтез автоматизированных систем управления технологическими процессами прокатки / *Б.И. Кузнецов, С.Н. Балюта, В.В. Коломиец, Т.Б. Никитина.* – Харьков: УИПА, 2011. – 356 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Ajgner H.* Modernizacija privodov širokopolosnogo stana gorjachej prokatki firmy Voestalpine Stahl / *H. Ajgne, A. Fuhs* // Chernye metally. – 2006. – № 6. – S. 45-47. **2.** *Weberberger Je.* Povyshenie proizvoditel'nosti i kachestva produkcii širokopolosnogo stana gorjachej prokatki kompanii VOESTALPINE STAHL GMBH / *Je. Weberberger, V. Zajruk, G. Mitter, R. Konnert* // Chernye metally. – 2008. – № 1. – S. 26-32. **3.** *Degner M.* Razrabotki v oblasti gorjachej i holodnoj prokatki / *M. Degner, U. Ratcek* // Chernye metally. – 2006. – № 1. – S. 33-42. **4.** *Degner M.* Tret'ja evropejskaja konferencija po prokatke. Aktual'nye razrabotki v oblasti gorjachej i holodnoj prokatki / *M. Degner, A. Frank, H. Lakinge, P.-J. Mauk* // Chernye metally. – 2004. – № 4. – S. 28-35. **5.** *Dzhelali M.* Sovremennye strategii regulirovanija na prokatnyh stanah / *M. Dzhelali, U. Mjuller, A. Vol'ff, V. Ungerer* // Chernye metally. – 2001. – № 6. – S. 72-81. **6.** *Arhangel'skij V.I.* Integrirovannye ASU v promyshlennosti / *V.I. Arhangel'skij, I.N. Bogaenko, N.A. Rjumshin.* – Kiev: NPK KIA, 1995. – 316 s. **7.** *Arhangel'skij V.I.* Nejronnye seti v sistemah avtomatizacii / *V.I. Arhangel'skij, I.N. Bogaenko, G.G. Grabovskij, N.A. Rjumshin.* – K.: Tehnika, 1999. – 364 s. **8.** *Arhangel'skij V.I.* ASU listoprokatnym proizvodstvom / *V.I. Arhangel'skij, I.N. Bogaenko, V.I. Vasichkin* i dr. – M.: Metallurgija, 1994. – 334 s. **9.** *Kuncevich V.M.* Invariantnost' i kvaziinvariantnost' sistem upravlenija / *V.M. Kuncevich* // Praци mizhnarodnoї konferencii "50 rokov institutu kibernetiki imeni V.M. Glushkova NAN Ukraini". – Kіrv: Institut kibernetiki im. V.M. Glushkova NAN Ukraini. – 2008. – S. 61-74. **10.** *Kuncevich V.M.* Kvaziinvariantnost', roblastnost' i adaptacija v sistemah upravlenija / *V.M. Kuncevich* // Trudy nauchnogo seminaru "70 – let teorii invariantnosti". Moskva, 2008. – M.: Izdatel'stvo LKI, 2008. – S. 61-90. **11.** *Gu D.-W.* Robust Control Design with MATLAB / *D.-W. Gu, P.Hr. Petkov, M.M. Konstantinov.* – Springer, 2005. – 389 p. **12.** *Hoyle D. An H^∞ approach to two-degree-of-freedom design / D. Hoyle, R. Hyde, D.J.N. Limebeer* // In Proceedings of the 30 th IEEE Conference on Decision and Control. – 1991. – P. 1581-1585. **13.** *Limebeer D.J.N.* On the design of robust two degree of freedom controllers / *D.J.N. Limebeer, E.M. Kasenally, J.D. Perkins* // Automatica – 1993. – № 29. – P. 157-163. **14.** *Diamond P.* Anisotropy – based performance analysis of linear discrete time invariant control

systems / P. Diamond, I.G. Vladimirov, A.P. Kurdjukov, A.V. Semyonov // Int. J. Control. – 2001. – V. 74. – P. 28-42. **15.** Vladimirov I.G. State-space solution to anisotropy-based stochastic H_{∞} – optimization problem / I.G. Vladimirov, A.R. Kurdjukov, A.V. Semyonov // Proc. 13th IFAC World Congress. – San-Francisco (USA). – 1996. – P. 427-432. **16.** Semyonov A.V. Stochastic approach to H_{∞} –optimization / A.V. Semyonov, I.G. Vladimirov, A.P. Kurdjukov // Proc. 33rd IEEE Conf. on Decision and Control. – Florida (USA). – 1994. – P. 2249-2250. **17.** Voronin A.N. Mnogokriterial'nyj sintez dinamicheskikh sistem / A.N. Voronin. – K.: Naukova dumka, 1992. – 160 s. **18.** Kuznetsov B.I. Sintez avtomatizirovannykh sistem upravleniia tehnologicheskimi processami prokatki / B.I. Kuznetsov, S.N. Baljuta, V.V. Kolomiets, T.B. Nikitina. – Har'kov: UIPA, 2011. – 356 s.

Поступила (received) 11.05.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. Научно-технического центра магнетизма технических объектов НАН Украины Кузнецов Б.И.

Baliuta Sergei, Dr. Sci. Profesor
National university of food technologies
Volodymyrska str. 68, Kyiv, Ukraine, 01601
tel/pfone 0669530459, e-mail: EPP11@ukr.net
ORCID ID 0000-0002-1100-095X

Nikitina Tatyana, Dr. Sci. Profesor
Kharkiv National Automobile and Highway University
Petrovskogo st, 25, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel/pfone 0505766900, e-mail: bikuznetsov@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-0185-3078

Kopilova Liudmila, master
National university of food technologies
Volodymyrska str. 68, Kyiv, Ukraine, 01601
tel/pfone 0677330767, e-mail: EPP11@ukr.net
ORCID ID 0000-0002-9073-5793

Tatarchenko Maxim, master
Ukraine, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Frunze str, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel/pfone 0506680086, e-mail: maxtat@gmail.com
ORCID ID 0000-0002-9826-1123

Khomenko Viktor, master
Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy
Universitetskaya st., 16, Kharkiv, Ukraine, 61003
tel/pfone 0957128818, e-mail: vitman_@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-9826-1123