

Моделирование перемещения подвижного объекта с адаптивным позиционно-траекторным управлением и контуром оценивания неизмеряемых параметров модели

*А.Е. Кульченко, М.Ю. Медведев, В.А. Шевченко, В.С.Лазарев,
Южный федеральный университет, Таганрог*

Аннотация: В работе представлен краткий обзор современных адаптивных систем управления подвижными объектами. Промоделирован полет подвижного объекта вертолетного типа с применением алгоритма адаптации позиционно-траекторной системы управления, с контуром оценивания аддитивных возмущений, эталонной моделью и контуром астатизма. Приведено сравнение результатов моделирования для двух случаев при заданных постоянных коэффициентах адаптации и при использовании автоматической настройки коэффициентов адаптации.

Ключевые слова: адаптивное управление, вертолет, позиционно-траекторное управление, наблюдатель, оценивание, подвижный объект, полет, компьютерное моделирование.

Введение

Принципы адаптивного управления подвижными объектами (ПО) были заложены в работах [1- 3]. В настоящее время развивается направление, связанное с многосвязными беспойсковыми адаптивными системами управления подвижными объектами вертолетного типа. В работах [4, 5] был изложен подход к построению системы управления вертолетом с применением нелинейных алгоритмов и адаптивных подходов к управлению. При построении системы авторы применили инверсионный закон управления, расширенный за счет нейросети. Предложенный инверсионный закон управления получен с использованием упрощенной модели вертолета и информации о положении его органов управления в режиме висения [5-7]. В работе применяется комбинация из двух методов и используется скрытый слой персептрона нейросети в качестве универсального аппроксиматора. В работах [8, 9] авторы применили обратную связь по выходу для построения системы управления испытательной модели вертолета. В структуре обратной связи автопилота авторы не используют наблюдатель состояния. В статье [4]

приведена адаптивная система управления скоростью одновинтового вертолета. Для адаптации коэффициентов регулятора и учета внешних возмущений авторы используют нейросеть. В [5, 7, 10] применен адаптивный алгоритм управления вертолетом Yamaha R-MAX с использованием линеаризованных уравнений движения.

Основываясь на анализе работ можно сделать вывод, что применение адаптивных методов, с одной стороны, позволяет отказаться от построения высокоточных моделей [11,12], с другой стороны позволяет перенести технологию разработки систем управления на другие летательные аппараты вертолетного типа. В настоящей работе моделируется полет вертолета под управлением многоконтурной позиционно-траекторной системы управления с обеспечением астатизма и адаптивной настройкой параметров.

Моделирование адаптивного алгоритма управления с наблюдением неизмеряемых параметров исследуемой модели

В общем виде математическая модель ПО вертолетного типа описывается выражениями:

$$\begin{aligned} \dot{y} &= R(y)x, \\ \dot{x} &= M^{-1}(F_u + F_d), \end{aligned}$$

где y – вектор линейных и угловых положений подвижного объекта во внешней системе координат; x – вектор линейных и угловых скоростей подвижного объекта в связанной системе координат; $R(y)$ – матрица кинематики; M – матрица инерционных параметров; F_u – вектор управляющих сил и моментов; F_d – вектор прочих сил и моментов, действующих на подвижный объект. Параметры модели вертолета взяты из работы [13].

Вектор управляющих сил и моментов имеет вид [15]:

$$F_u = -F_d + (A_1 R M^{-1})^{-1} * (-A_1 \dot{R}x + A_1 \dot{R}_m x_m + A_1 R_m \dot{x}_m - B_1 (A_1 y - A_1 y_m) - B_2 (A_1 R(y)x - A_1 R(y_m)x_m) - T_2 \dot{e} - T_1 e),$$

где $e = A_1 y - A_1 y_m + B_1 z_1 + B_2 z_2$ – ошибка позиционирования объекта, A_1 – матрица постоянных коэффициентов, y_m – линейные и угловые положения номинальной модели во внешней системе координат, x_m – вектор линейных и угловых скоростей номинальной модели в связанной системе координат, T_1, T_2 – положительно определенные диагональные матрицы постоянных коэффициентов, z_1, z_2 – векторы дополнительных переменных.

Для оценивания неизмеряемых параметров и действующих возмущений на вертолет применен метод синтеза наблюдателя производных, приведенный в [14, 15]:

$$\begin{aligned} \dot{z}_1 &= z_2, \\ \dot{z}_2 &= A_1 y - A_1 y_m. \end{aligned}$$

В данной работе проводится численное исследование адаптивной системы управления ПО вертолетного типа. Вертолет начинает движение из точки $x=0; y=0; z=0$. Начальные значения скоростей заданы нулевыми. Траектория движения задается в виде:

$$A_2 = -[1 + t, 4, 5, 0, 0, 0]^T,$$

где t – время моделирования, $t_0 = 0; t_{\text{конечное}} = 35$.

В полете на вертолет действуют неизмеряемое параметрическое и внешнее возмущения описывается выражением:

$$F_v = 0.2 * Fd_0 + G + [5, -3 + \sin(0.5t), 2 + \cos(0.4t), 0, 0, 0]^T,$$

где Fd_0 – номинальное значение вектора Fd , G – вектор силы тяжести.

На рис. 1-4 приведены результаты моделирования для двух случаев, при постоянных коэффициентах регулятора $B_1 = 10, B_2 = 5$ (черная линия) и при их автоматической настройке (красная линия). Пунктирной линией обозначена заданная траектория. При адаптации коэффициентов их

начальные значения взяты нулевыми $B_1(t_0) = 0$, $B_2(t_0) = 0$. Автоматическая настройка коэффициентов адаптации произведена с использованием выражений [15]:

$$\dot{s}_1 = -\gamma_1 z_1^T A_1 (y - y_m),$$

$$B_1 = \alpha * s_1^2,$$

$$B_2 = (1 + \alpha) * s_1,$$

где z_1 – дополнительная переменная, s_1 – матрица настраиваемых параметров, α – положительный постоянный коэффициент, y, y_m – векторы линейных и угловых положений вертолета.

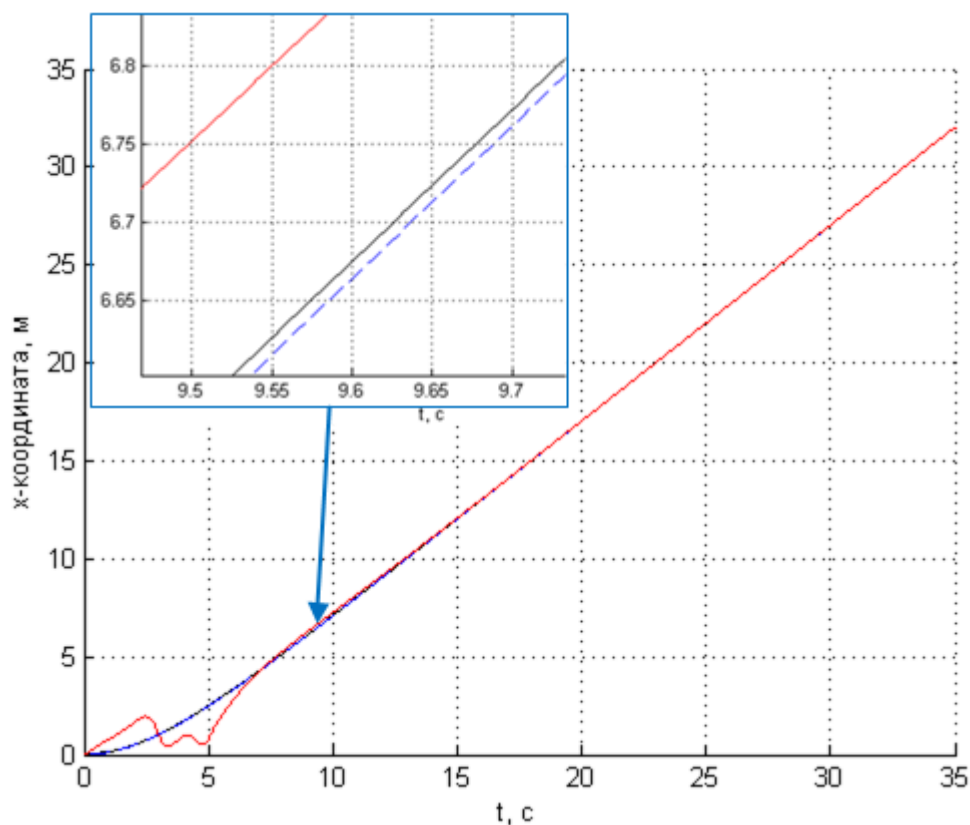


Рис. 1. – Изменение положения вертолета по оси Oх во времени.

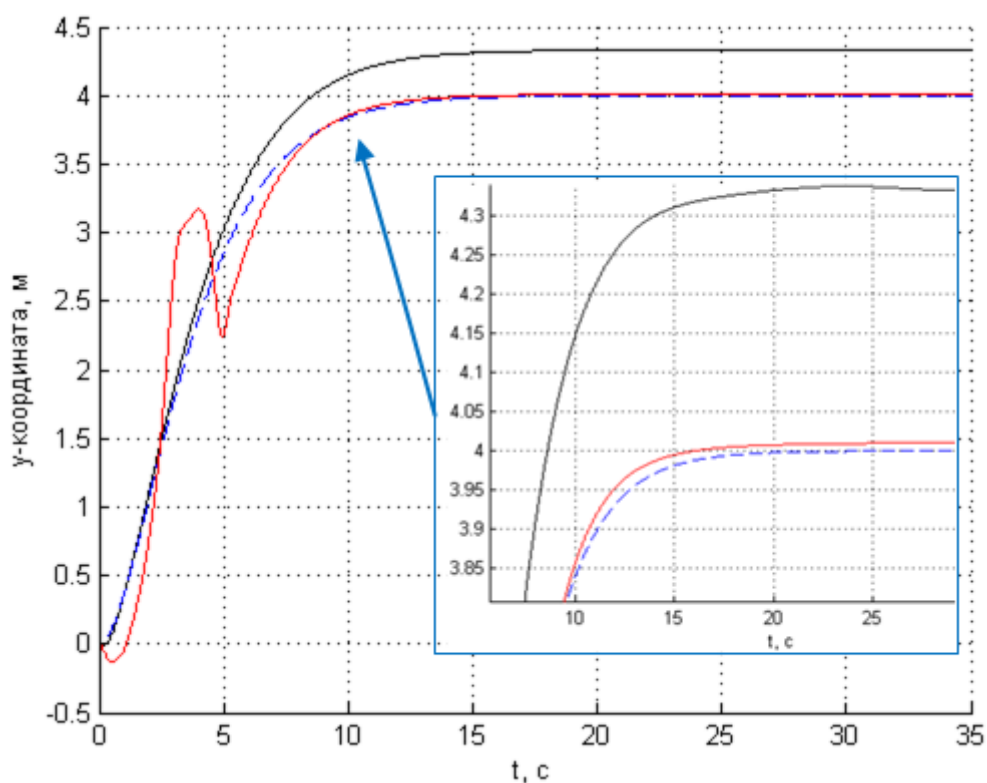


Рис. 2. – Изменение положения вертолета по оси Oy (по высоте) во времени

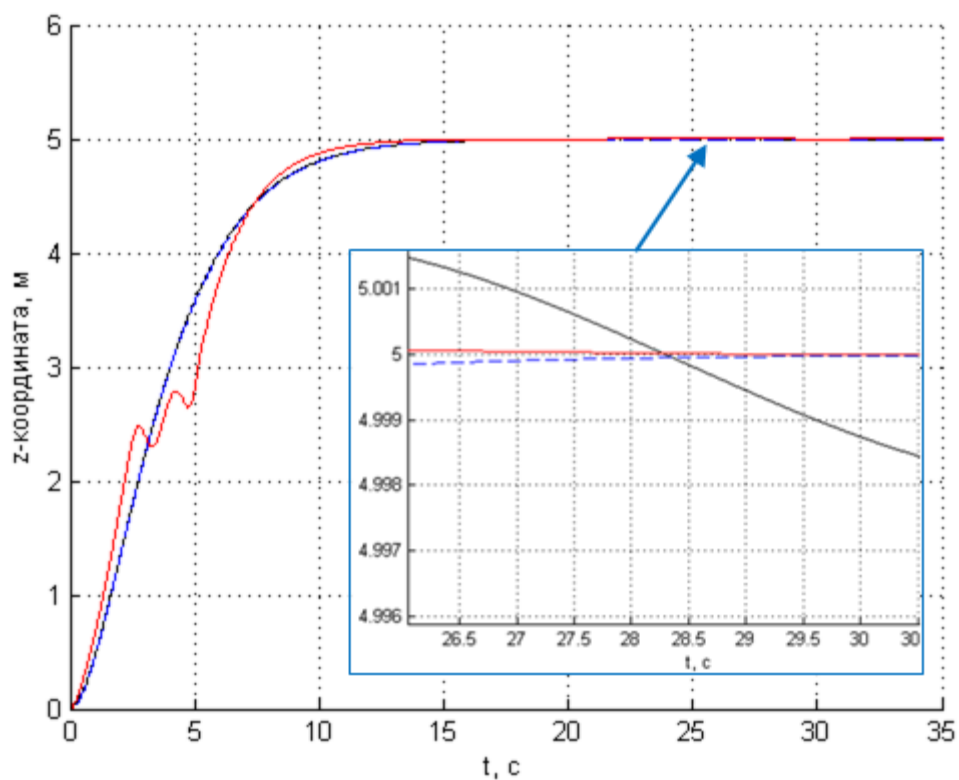


Рис. 3. – Изменение положения вертолета по оси Oz во времени

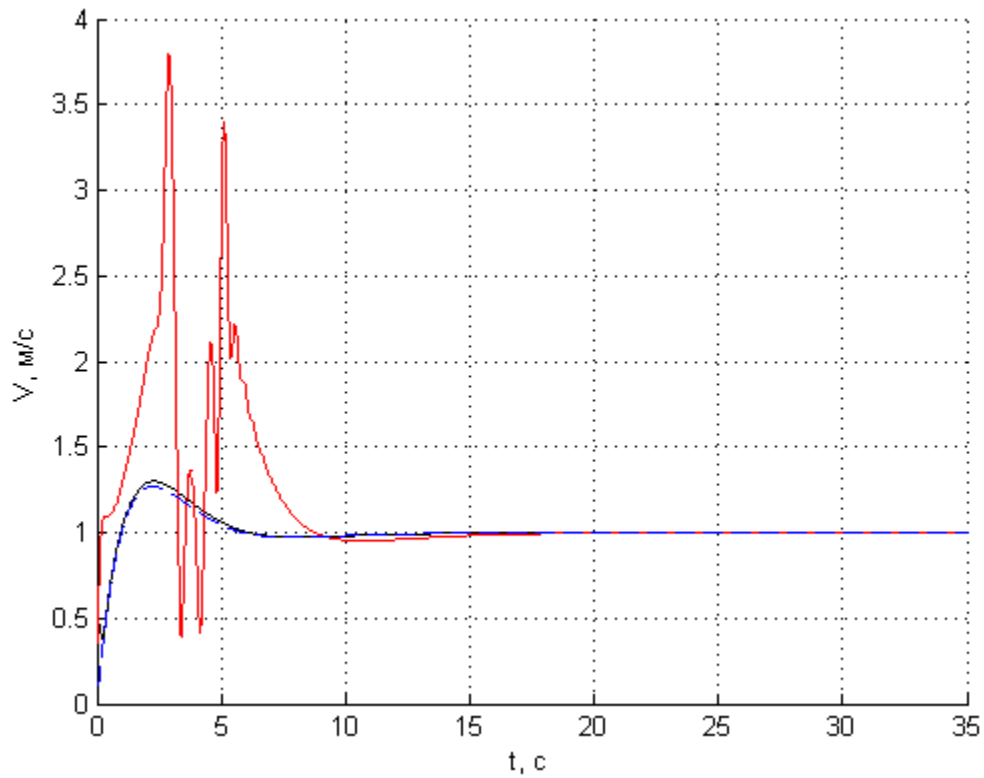


Рис. 4. – Изменение путевой скорости вертолета во времени

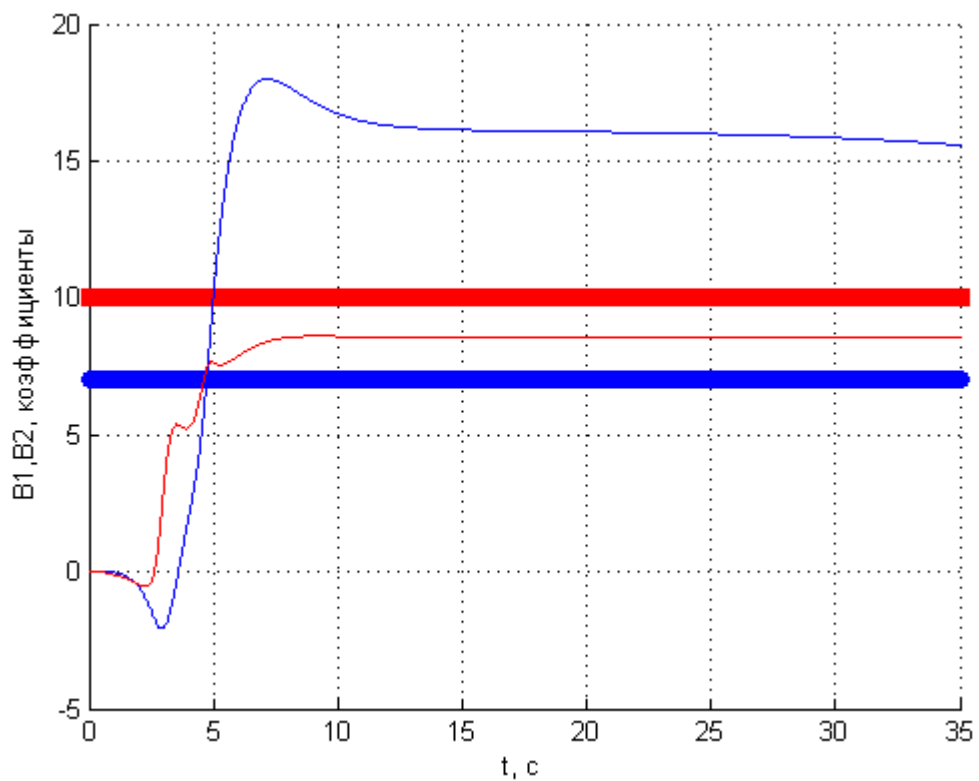


Рис. 5. – Адаптация элементов матриц B_1, B_2

На рис. 1-3 приведены линейные координаты положения вертолета в пространстве, где x, z – координаты в горизонтальной плоскости, а y –

высота. На рис. 4 показано изменение путевой скорости вертолета V во времени. На рис. 5 приведен процесс настройки коэффициентов адаптации во времени. Из рис. 1-5 видно, что увеличение элементов матриц B_1 , B_2 приводит к уменьшению ошибки обработки. В свою очередь, это приводит к увеличению амплитуды управляющих воздействий. На рис. 4 видны затухающие колебания путевой скорости, связанные с нулевыми начальными значениями B_1 , B_2 . Из рис. 3-4 видно, что по мере настройки точность обработки заданной траектории повышается.

Заключение

Промоделирован полет одновинтового вертолета с многоконтурной позиционно-траекторной системой управления. В отличие от [5-7] в работе исследована нелинейная система. Применен алгоритм адаптации коэффициентов матриц B_1 и B_2 [15], который позволяет сохранить заданное соотношение между корнями характеристического уравнения. При использовании данного алгоритма управляющие воздействия могут выходить за ограничения, накладываемые на управления. Для их компенсации в [15] предлагается вводить дополнительный контур адаптации.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 16-08-00013 «Разработка метода двухконтурной адаптации систем позиционно-траекторного управления с использованием робастных наблюдателей возмущений и эталонных моделей», а так же поддержана Министерством образования и науки РФ, НИР по государственному заданию ВУЗам и научным организациям в сфере научной деятельности (№114041540005).

Литература

1. Путов В.В. Прямые и непрямые беспоисковые адаптивные системы с мажорирующими функциями и их приложения к управлению



многостепенными нелинейными упругими механическими объектами // Мехатроника, автоматизация и управление. – 2007. – № 10. – С. 4–11.

2. Бойчук Л.М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. – М.: Энергия, 1971, 112 с.

3. Пшихопов В.Х., Федотов А.А., Медведев М.Ю., Медведева Т.Н., Гуренко Б.В., Позиционно-траекторная система прямого адаптивного управления морскими подвижными объектами // Инженерный вестник Дона, 2014, №3 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2496.

4. Corban, J. Eric. Flight Evaluation of an Adaptive Velocity Command System for Unmanned Helicopters / J. Eric Corban, Anthony J. Calise, J. V. R. Prasad, Gerhard Heynen, Benedikt Koenig, Jeong Hur // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Chicago, Illinois, 10-13 August 2009. – 16 pp.

5. Johnson, E. N. Adaptive flight control for an autonomous unmanned helicopter / E.N. Johnson, S.K. Kannan // Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2002. – 11 pp.

6. Munzinger, C. Development of a Real-Time Flight Simulator for An Experimental Model Helicopter: M.S. thesis ... MS. – Georgia Institute of Technology, School of Aerospace Engineering, Atlanta, GA 30332, 1997. – 121 pp.

7. Johnson, E. N. Modeling and Simulation for Small Autonomous Helicopter Development / E. N. Johnson, P. D. DeBitetto // AIAA Modelling & Simulation Technologies Conference, Monterey, California, 1997. – 11 pp.

8. Calise, A.J. High Bandwidth Adaptive Flight Control / A.J. Calise, Hungu Lee, Nakwan Kim // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2000. – 12 pp.

9. Corban, J.E., Flight Test of an Adaptive Control System for Unmanned Helicopter Trajectory Following / J.E. Corban, A.J. Calise, J.V.R. Prasad // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2000. – 11 pp. – AIAA-2000-4058.

10. Johnson, E. N. System Integration and Operation of a Research Unmanned Aerial Vehicle / E.N. Johnson, D.P. Schrage // Journal of aerospace computing, information, and communication, vol. 1, January 2004. –36 pp.

11. Медведев, М.Ю. Алгоритмы адаптивного управления исполнительными приводами // Мехатроника, автоматизация и управление. – 2006. – № 6. – С. 17-22.

12. Медведев, М.Ю. Аналитический синтез управлений нелинейными многосвязными объектами в условиях неопределенности. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 400 с.

13. Пшихопов В.Х., Кульченко А.Е., Чуфистов В.М. Моделирование полета одновинтового вертолета под управлением позиционно-траекторного регулятора // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1650.

14. Пшихопов В.Х., Гуренко Б.В., Медведев М.Ю., Маевский А.М., Голосов С.П. Оценивание аддитивных возмущений АНПА робастным наблюдателем с нелинейными обратными связями // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 3 (152). – С. 128-137.

15. Медведев М.Ю., В.А. Рогов, Т.Н. Медведева Позиционно-траекторное управление подвижными объектами с многоконтурной адаптацией // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 7 (180). – С. 101-114.

References

1. Putov V.V. Mekhatronika, avtomatizatsiya i upravlenie, 2007, No. 10, pp. 4-11.

2. Boychuk L.M. Metod strukturnogo sinteza nelineynykh sistem avtomaticheskogo upravleniya [The method of structural synthesis of nonlinear automatic control systems]. Moscow: Energiya, 1971, 112 p.



3. Pshikhov V.KH, Fedotov A.A, Medvedev M.YU., Medvedeva T.N., Gurenko B.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2496

4. Corban, J. Eric. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Chicago, Illinois, 10-13 August 2009, 16 p.

5. E.N. Johnson, S.K. Kannan, Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2002, 11 p.

6. Munzinger, C. Development of a Real-Time Flight Simulator for An Experimental Model Helicopter: M.S. thesis ... MS. Georgia Institute of Technology, School of Aerospace Engineering, Atlanta, GA 30332, 1997, 121 p.

7. Johnson, E. N., DeBitetto P.D., AIAA Modelling & Simulation Technologies Conference, Monterey, California, 1997, 11 p.

8. Calise, A.J. Hungu Lee, Nakwan Kim, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2000, 12 p.

9. J.E. Corban, A.J. Calise, J.V.R. Prasad, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2000, 11 p. AIAA-2000-4058.

10. E.N. Johnson, D.P. Schrage, Journal of aerospace computing, information, and communication, vol. 1, January 2004, 36 p.

11. Medvedev M.Yu. Mekhatronika avtomatizaciya i upravlenie, 2006, No. 6, pp. 17-22.

12. Medvedev M.Yu. Analiticheskij sintez upravlenij nelinejnymi mnogosvyaznymi obektami v usloviyah neopredelennosti [Analytical synthesis of nonlinear multicoupled objects in undefined conditions], Taganrog. Izd-vo TTI SFEDU, 2010. 400 p.

13. Pshihopov V.Kh., Kulchenko A.E., Chufistov V.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1650



14. Pshihopov V.Kh., Gurenko B.V., Medvedev M. Yu., Maevskij A.M., Golosov S.P., Izvestiya SFEDU. Tekhnicheskie nauki, 2014, No. 3 (152), pp. 128-137.

15. M.Yu. Medvedev, V.A. Rogov, T.N. Medvedeva., Izvestiya SFEDU. Tekhnicheskie nauki, 2016, No. 7 (180), pp. 101-114.