

Институт информационных и вычислительных технологий
МОН РК



МАТЕРИАЛЫ

научной конференции

ИИВТ МОН РК

**«Современные проблемы информатики и
вычислительных технологий»**

29-30 июня 2017 года

Алматы 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Абдикаликов К.А.	СЛЕПАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСЬ НА ОСНОВЕ КРИПТОСИСТЕМЫ RSA-M	4
Айнакулов Ж.Ж.	АЭРОФОТОСЪЕМКА ОТКРЫТЫХ ГОРНОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА	8
Алимхан К., Калимолдаев М.Н., Тасболатұлы Н.	ЖОҒАРЫ РЕТТІ АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ ШЫҒЫС КОМПЕНСАТОРЫ ЖӘРДЕМІНДЕ КҮШТІ ПРАКТИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ	14
Амиргалиев Е. Н., Калижанова А.У., Козбакова А.Х. Шамиль-уулу Ш.	О ВИЗУАЛИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНЫХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ	21
Amirgaliyev Ye.N., Mussabayev R.R., Tairova A.T., Kozbakova A.H., Mussabayev T.R.	DEVELOPING OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR LEXICAL, SYNTAX AND SYNTAGMATIC ANALYSIS OF KAZAKH TEXTS AND ITS EMOTIONAL CLASSIFICATION	25
Амиргалиев Е., Юнусов Р.	ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ – ТРИЛАТЕРАЦИЯ	29
Арсланов М.З.	ПОИСК КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СЕТИ	36
Баев А.Ж., Нурсултанов Е.Д., Глеуханова Н.Т.	ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФУРЬЕ-УОЛША	42
Бияшев Р.Г., Варенников А.В., Нысанбаева С.Е.	АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛНЫХ КЛЮЧЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ШИФРОВАНИЯ НА БАЗЕ НЕПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СЧИСЛЕНИЯ	44
Вальдемар Вуйцик, Найзабаева Л.К., Оразбеков Ж.Н.	ФИЛИАЛДАР ЖЕЛІСІН БАСҚАРУ ҮШІН ҮЛЕСТІРІЛГЕН ДЕРЕКТЕР ҚОРЫНЫҢ МОДЕЛІ МЕН КОРПОРАТИВТІК АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІ	48
Калимолдаев М.Н., Голиков А.И., Евтушенко Ю.Г., Посыпкин М.А., Абдилдаева А.А.	МЕТОДЫ ЛОКАЛЬНОЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ	55

Общее время съемки и обработки составило 128 часов (~ 20 рабочих дней).

В результате выполненных работ было показано, что аэросъемка открытых горнорудных разработок с использованием беспилотных летательных аппаратов является перспективным направлением для мониторинга производственных процессов.

Аэросъемку всего месторождения целесообразно производить с применением БПЛА самолетного типа, а для внутренних отвалов использовать БПЛА вертолетного типа.

Литература

1. Фирсов А.П., Злыгостев И.Н., Савлук А.В. и др. Применение беспилотных летательных аппаратов при геолого-геофизическом картировании / Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России», 31 марта – 2 апреля, 2015. - С. 529-533.

2. <http://insideunmannedsystems.com/monitoring-mapping-measuring-drones-changing-mining-industry/> (Мониторинг, картографирование, измерение: как дроны меняют горнодобывающую промышленность. Дата обращения: 03.05.2017 год).

3. <http://www.kase.kz/news/show/97121> (Казахстанская фондовая биржа. СПРАВКА: ОАО "Корпорация Казахмыс" (Казахстан) - характеристика деятельности. Дата обращения: 03.05.2017 год).

4. <http://ibrain.kz/ekonomika-kazahstana/ugolnaya-promyshlennost> (Образовательный портал. Угольная промышленность. Дата обращения: 03.05.2017 год)

5. Физические величины: Справочник / Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др.; Под ред. Григорьева И.С., Мелихова Е.З. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с. - ISBN 5-283-040135.

6. Маркшейдерская энциклопедия / Гл. ред. Пучков Л.А. - М.: Издательство Мир горной книги, 2006. - 605 с. ISBN 5-91003-003-5.

ЖОҒАРЫ РЕТТІ АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ ШЫҒЫС КОМПЕНСАТОРЫ ЖӘРДЕМІНДЕ КҮШТІ ПРАКТИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ

Алимхан К^{1.}, Калимолдаев М.Н.², Тасболатұлы Н.³

e-mail: tasbolatuly@gmail.com

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,

³Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Түйіндеме. Бұл жұмыста жоғары ретті анықталмаған сызықты емес жүйелерді шығыс контроллері (шығыс компенсаторы аталатын) жәрдемінде күшті практикалық бақылау мәселесі зерттелді. Қатаң емес шарт жағдайында жоғары ретті анықталмаған сызықты емес жүйелерге күшті бақылауды орындауға мүмкіндік беретін шығыс компенсаторын құру мүмкіндігі қарастырылды және бұл компенсатор

алдын белгілі контроллер-бақылаушы әдісіне сүйеніп құрылды. Жұмыстың соңында, нәтиженің тиімділігіне көз жеткізу үшін қарапайым сандық мысал келтірілді.

Түйін сөздер: басқару теориясы, сызықты емес басқару теориясы, кері байланыс, контроллер, кең ауқымды практикалық бақылау, Ляпуновтың тура әдісі, тірек сигналы, қателік сигналы, шығыс компенсаторы.

Кіріспе. Бұл жұмыста жоғары ретті анықталмаған сызықты емес жүйелерді кері байланыс шығысы жәрдемінде кең ауқымды практикалық бақылау проблемасы қарастырылады. Жоғары ретті анықталмаған сызықты емес жүйелердің жалпылама көрінісін келесі формула бойынша сипаттаймыз:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= x_{i+1}^{p_i} + \phi_i(t, x, u), & i = 1, \dots, n-1 \\ \dot{x}_n &= u + \phi_n(t, x, u) \\ y &= x_1 - y_r \end{aligned} \quad (1)$$

мұндағы, $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in R^n$ – жүйе күйі, $u \in R$ – басқарудың кіріс сигналы, $y \in R$ – шығыс сигналы, $\phi_i(t, x, u), i = 1, \dots, n$ үшін C^1 – белгісіз үздіксіз функциялар және $p_i \in R_{odd}^{\geq 1} := \left\{ \frac{p}{q} \in [0, \infty) : p \text{ және } q - \text{тақ бүтін сандар, мұнда } p \geq q \right\}$ ($i = 1, \dots, n-1$) –

жүйенің жоғары реттілігін көрсетеді, ал y_r – ізіне түсуге арналған тірек сигналы. Әдетте ізіне түсу мәселесінің қарапайым жағдайында $y_r(t), t \in [0, \infty)$ тірек сигналы, сондай ақ оның туындылары белгілі, бірақ біздің қарастыратын мәселемізде x_1 шығыс мәліметі мен y_r тірек сигналы арасындағы $y = x_1 - y_r$ қателікті өлшеуге болады деп есептеледі. Сәйкесінше, тек y – ті компенсаторды жобалау кезінде қолдануға рұқсат етіледі. Алайда, біздің реттеуіміз қарапайым жағдайдан тұратындығы белгілі, өйткені y_r белгілі, x_1 – ді $x_1 = y - y_r$ арқылы алуға болады. Осыған қосымша ретінде, кейбір практикалық бақылау программаларында қателік сигналы $y = x_1 - y_r$ тек ақпарат деп саналып, міндетті түрде есептелуге жатады. Мысалы, ракетаны бағыттау жүйесінде борттық радар қозғалыстағы нысанның абсолютті позициясын, яғни y_r сигналын өлшеудің орнына ракета мен нысанның арасындағы арақашықтықты/қателікті өлшеуді жалғастыра береді [1]. Басқа жағдайда тек қателік сигналы датчик құрылымын қарапайым етеді, өйткені, контроллер жіті бақылануы тиіс сигналдан тәуелсіз деп тұжырымдалады. Осылайша, контроллер түрлі тірек сигналдарына көбірек бейімделген болып табылады [2].

Із кесуді практикалық басқару проблемасы сызықты емес басқару теориясының ең маңызды есептерінің бірі болып табылады және бұл мәселені шешу үшін соңғы онжылдықтарда қарқынды зерттеулер жүргізілуде. Кері байланыс күйі бойынша басқару мәселесіне қарағанда кері байланыс шығысы арқылы басқару теориясы баяу дамыған, өйткені, сызықты емес контроллерді жобалаудың ешқандай жалпыға ортақ және тиімді әдісі жоқ.

Сызықты емес дифференциалды теңдеулермен берілген динамикалық процесстер, объектілер басқару нысаны саналып, оларды тұрақтандыру есебіне құрылған әдістердің басым көпшілігі Ляпуновтың тура әдісіне негізделіп жасалып келеді. [3] еңбекте әр алуан топтағы сызықты емес объектілер үшін түрліше басқару жүйелерін жобалау есептері Ляпуновтың тура әдісі жәрдемінде шешіледі. Кері байланыс негізінде шығыс мәліметтерін реттеудің тиімді әдісі [4] еңбекте қарастырылып, оның нәтижесі шығыс мәліметтері бойынша күшті бақылау жүйесін құруда, сызықты емес жүйелерді кең ауқымды бақылау есептерінде қолданылуда. Салыстырмалы түрде соңғы жылдары шыққан еңбектердің бірінде [5] және монографияда [6] сызықты және сызықты емес

жүйелер үшін шығыс сигналын бақылау проблемасына қатысты басқару теориясындағы жетістіктер толық және жіті баяндалады. Сонымен қатар, осы мәселеге қатысты алғашқы еңбектердің көпшілігі тірек сигналын тұрақты немесе экзосистема арқылы алынады деп қарастырылды [7-10]. Ал тірек сигналы уақытқа байланысты өзгеріске ұшырайтын жалпылама жағдайды ең алғаш рет А. Исидори және С.И. Бирнс [6,11] қарастырды. Жоғарыда аталған еңбектердің көпшілігінде басқарылатын сызықты емес жүйелердегі Якобиан сызықтандыруы тұрақты және анықталады [6] деген талап қойылды, және осы екі қасиет сызықты емес реттегіш нәтижесін немесе күйін немесе қателікке ие кері байланыс мәселесін шешудің негізгі алғышарты болып табылды. Алайда, сызықты емес жүйедегі Якобиан сызықтануы тұрақтанбайтын және/немесе анықталмайтын жағдайында бұл мәселені шешу күрделі әрі қиын болады, және мұндай сызықты емес жүйелер үшін нәтижелі еңбектер өте аз [12,13].

Бұл зерттеумен тығыз байланысты келесі еңбектерді [14-16] қарастырайық. Бұл еңбектерде «шығыс мәліметтерін практикалық бақылау» жаңа концепциясы ұсынылды және үшбұрышты пішінді (triangular systems) жүйелер тобы үшін шығыс мәліметтерін практикалық бақылау проблемасын зерттеді және бұл бақылау мәселесін шешу үшін үздіксіз күйдегі локальды кері байланыс контроллерін алды. Үшбұрышты пішіндес жүйелер яғни, үшбұрышты (жоғарғы және төменгі) матрица коэффициенттерінен тұратын жүйелер. Әрі қарай, бір кіріс мәліметі мен бір шығыс мәліметінен тұратын келесі түрдегі сызықты емес жүйелердің арнайы тобы үшін кең ауқымды күшті практикалық бақылау проблемасы [15] зерттелді:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= x_{i+1}^{p_i} + \phi_i(t, x, u), & i &= 1, \dots, n-1 \\ \dot{x}_n &= u^{p_n} + \phi_n(t, x, u), & y &= x_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Жоғарыдағы еңбектегі тұжырым бойынша (2) жүйенің шығыс сигналдарын кең ауқымды күшті асимптотикалық бақылау тірек сигналының тұрақты жағдайында тегіс күйдегі кері байланыс арқылы шешімге ие. Алайда, осы мәселе тірек сигналы уақытқа байланысты өзгертін жағдайда кері байланыстың тегіс күйі арқылы шешу мүмкін емес. Сондықтан да, бұл жағдайды еңсеру үшін Цянь және Линь [17] шығыс мәліметтерін практикалық бақылау проблемасында (2) жүйеге қарағанда жалпылама жүйені ұсынып, қайсыбір сәйкес шарттар қою арқылы кең ауқымды күшті практикалық бақылау есебі кері байланыс күйі жәрдемінде шешімге ие болатындығын дәлелдеді.

Практикалық жағдайда мұндай контроллер құру үшін тек шығыс мәліметтерін қолданған дұрыс және (2) жүйені тұрақтандыру мәселесі шығыс мәліметтері бойынша кері байланыс жәрдемінде әлі шешімін таппаған, сәйкесінше із кесу мәселесі шешілмеген. Сондықтан да, Ян және Лин [18] (2) жүйеге қарағанда жұмсақтау жүйені ұсынды және мұндағы $p_i = p(i = 1, \dots, n-1)$ және $p_n = 1$ деп болжам жасады:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= x_{i+1}^{p_i} + \phi_i(t, x, u), & i &= 1, \dots, n-1 \\ \dot{x}_n &= u + \phi_n(t, x, u), & y &= x_1 \end{aligned} \quad (3)$$

және «екі контроллер – бақылаушы және компенсатор» идеясын ұсынды. Ол бойынша (3) жүйені кең ауқымды күшті тұрақтандыру тегіс кері байланыс арқылы қол жеткізуге болатынын көрсетті.

Мәселенің қойылуы және алғышарттар. Жоғарыда келтірілген (1) түрдегі жүйені қарастырайық және $y_r(t)$ тірек сигналы $[0, \infty)$ аралығымен шектелген C^1 -функция болып табылады, $\dot{y}_r(t)$ туындысы да шектелген деп тұжырымдайық. Онда осы

жұмыста қарастырған шығыс сигналын шығыс компенсаторы арқылы күшті практикалық бақылау есебі келесі түрде анықталады: кез келген берілген $\varepsilon > 0$ үшін, компенсатор құрылымын келесі түрде аламыз

$$\begin{cases} \dot{\zeta} = \alpha(\zeta, y), \zeta \in R^m \\ u = \beta(\zeta, y) \end{cases} \quad (4)$$

мұнда, α, β – қайсыбір біртекті функциялар, m – қолайлы оң бүтін сан.

- (1), (4) тұйық жүйесінің әрбір күйі $[0, \infty)$ аралығында жақсы анықталған және ауқымды шектелген;

- практикалық ізкесуді орындау мүмкін, яғни, ε -ға және бастапқы жағдайы $x(0) \in R$ байланысты $T := T(\varepsilon, x(0)) > 0$ шекті уақыт бар және (1),(4) тұйық жүйесінің шығысы келесі шартты қанағаттандырады

$$|y(t)| = |x_1(t) - y_r(t)| < \varepsilon, \quad \forall t \geq T > 0 \quad (5)$$

Ары қарай, «интегратор дәреже көрсеткішін қосу» әдісін және «үйлескен контроллер-қадағалаушы компенсатор» идеясын қолданып, біз, (1) бойынша қолайлы болжамдардан шығысты практикалық бақылау мәселесі (4) түрдегі компенсатор жәрдемінде шешуге болатындығын көрсетеміз.

1 болжам. (1) түрдегі сызықты емес жүйе үшін $C_1 \geq 0, C_2 \geq 0$ нақты саны бар болады

$$|\phi_i(t, x, u)| \leq C_1(|x_1|^p + \dots + |x_i|^p) + C_2, \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

2 болжам. y_r тірек сигналы C^1 –мен шектелген функция болып табылады, яғни $D > 0$ белгілі тұрақтысы келесіні қанағаттандырады

$$|y_r(t)| \leq D, \quad |\dot{y}_r(t)| \leq D, \quad \forall t \in [0, \infty) \quad (6)$$

Шығыс сигналын күшті практикалық бақылау мәселесі.

Теорема. (1) жүйедегі 1 және 2 болжам бойынша шығысты кең ауқымды күшті практикалық бақылау мәселесі (4) түрдегі компенсатормен шешімге ие және мұндай компенсаторды құру процедурасы берілген [12,13].

Теорема дәлелдеу контроллер-бақылаушы комбинацияланған жобалау әдісін негіз етіп алады және ол екі бөлімнен тұрады:

1. Бірінші бөлімде (1) түрден алынған $\phi_i(t, x, u) = 0, i = 1, \dots, 0$ және $y_r = 0$ үшін номиналды форманы (p – нормал форманы) асимптотикалық тұрақтандыратын шығыс компенсаторын құру қарастырылады; (кері байланыс күйінің құрылымы) x_1, x_2, \dots, x_n - айнымалылар күйі өлшенуге жатады және бір интегратор қуаттылығы әдісі қолданылады деп есептейміз [16,17];

2. Екінші бөлімде (1) үшін кері байланыс контроллері күйін құрамыз, ол 2-болжамды қанағаттандыратын кез келген тірек сигналы үшін шығыс сигналдарын кең ауқымды практикалық бақылауды қамтамасыз етеді.

Теореманың анықтылығын жоғарыда келтірілген екі әдіс негізінде дәлелдеуге болады, дәлелдеме Поленда және Цян [19] авторлардың еңбектері негізіне сүйенеді.

Компьютерде моделдеу. Келесі түрдегі сызықты емес жүйені қарастырайық,

$$\dot{x}_1 = x_2^3 + \frac{x_2^2}{3(1+x_2^2)},$$

$$\dot{x}_2 = x_3 + \frac{1}{4} \left(x_2^3 \sin x_1^2 + x_2^3 \right),$$

$$\dot{x}_3 = u + \frac{1}{7} x_3,$$

$$y = x_1 - y_r \quad (7)$$

мұнда, $p_1 = 3, p_2 = 1, p_3 = 1$ және $y_r(t) = (\sin(t))^3$. Басқарудың мақсаты $x_1(t)$ күйін тек $y(t)$ өлшемін пайдаланып, уақыт бойынша өзгеріп отыратын $y_r(t)$ тірек сигналының ізіне түсуін мәжбүрлеу болып табылады. Бұл ізіне түсу мәселесінде $y_r(t)$ белгілі болуы шарт емес. Мұндағы (7) сызықтандырылған жүйе $x = 0$ жағдайында тұрақтанбайды және анықталмайды. Ары қарай, анық емес функциялар келесі түрде бағаланады:

$$|\phi_1(t, x, u)| = \frac{1}{3} \left| \frac{x_2^2}{1+x_2^2} \right| \leq \frac{1}{3} |x_1|^3 + \frac{1}{3},$$

$$|\phi_2(t, x, u)| = \left| \frac{1}{4} (x_2^3 \sin x_1^2 + x_2^3) \right| \leq \frac{1}{4} (|x_2|^{\frac{1}{3}} x_1^2 + |x_2|^3) \leq \frac{11}{20} (|x_1|^3 + |x_2|^3) + \frac{28}{45}$$

$$|\phi_3(t, x, u)| = \left| \frac{1}{7} x_3 \right| \leq \frac{1}{35} (|x_1|^5 + |x_2|^5 + |x_3|^5) + \frac{8}{35}$$

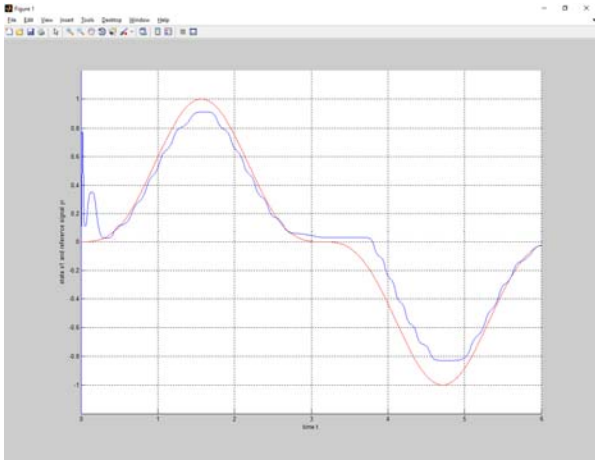
яғни, $C_1 = \frac{11}{20}$ және $C_2 = \frac{28}{45}$, *1-болжам* қанағаттанады. Ал, *2-болжам* тірек сигналын қанағаттандырады. Теореманың дәлелдемесінен шығыс компенсаторы құрылымын келесі формада аламыз:

$$\hat{x}_2 = -ML_1(\hat{x}_2 + L_1(x_1 - y_r))^3$$

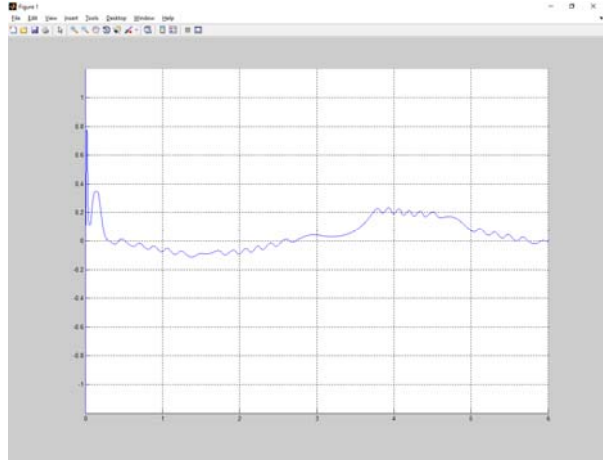
$$\hat{x}_3 = -ML_2(\hat{x}_3 + L_2(\hat{x}_2 + L_1(x_1 - y_r)))^3$$

$$u = -M^{\frac{7}{3}} [\beta_3(\hat{x}_3 + L_2\hat{x}_2 + L_2L_1(x_1 - y_r))^5 + \beta_2(\hat{x}_2 + L_1(x_1 - y_r))^5 + \beta_1(x_1 - y_r)^5]$$

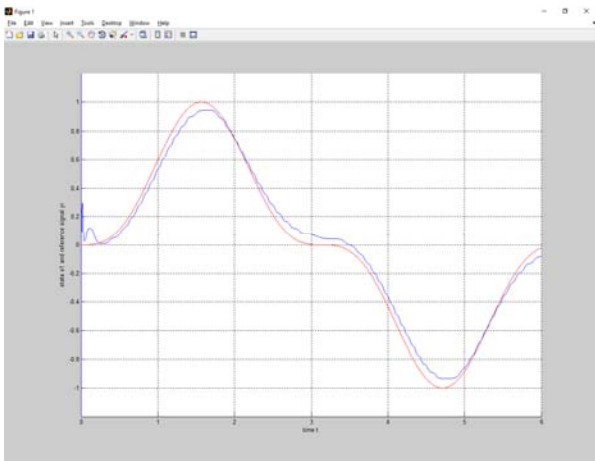
мұнда, $L_1 = 9, L_2 = 3$ және $\beta_1 = \frac{3}{20}, \beta_2 = \frac{5}{8}, \beta_3 = \frac{4}{5}$ мәндері компенсаторды құру барысында (7) номиналды формасынан алынды және компьютерде есептеу барысында $x_1(0) = -7, x_2(0) = 7, x_3(0) = 10, \hat{x}_2(0) = -10, \hat{x}_3(0) = 50$ үшін $M = 450$ мәнінде із кесу қателігі 0,2 шамасында (1б-сурет), $M = 4500$ мәнінде із кесу қателігі 0,1 құрады (2б-сурет).



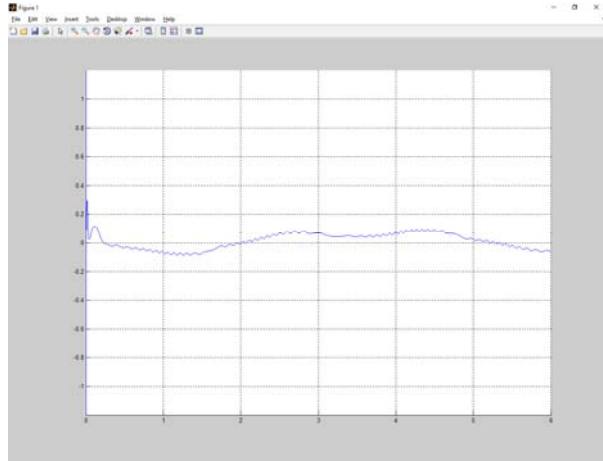
1а сурет. $M = 450$ мәніне сай $x_1(t)$ және $y_r(t) = (\sin(t))^3$ траекториясы



1б сурет. $M = 450$ мәніне сай $x_1(t)$ және $y_r(t) = (\sin(t))^3$ бойынша қателік



2а сурет. $M = 4500$ мәніне сай $x_1(t)$ және $y_r(t) = (\sin(t))^3$ траекториясы



2б сурет. $M = 4500$ мәніне сай $x_1(t)$ және $y_r(t) = (\sin(t))^3$ бойынша қателік

Қорытынды

Бұл жұмыста объект үшін тірек сигналының ізіне түсу мәселесі, сызықты емес дифференциалды теңдеулермен сипатталған динамикалық процесстер есебі қарастырылды. (1) түрдегі сызықты емес жүйелер үшін күшті практикалық ізкесуді орындау мақсатында шығыс компенсаторы құрылымы алынды. Негізгі тұжырым теоремада корсетіліп, дәлелденді. Жұмыстың соңында, нәтиженің тиімділігіне көз жеткізу үшін қарапайым сандық мысал келтіріліп, нәтижесі графикалық кескінде көрсетілді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Q. Gong and C. Qian, C. Global practical output regulation of a class of nonlinear systems by output feedback // Proc. the 44th IEEE conference on decision and control, and the European control conference, Seville, Spain, 2005. P. 7278-7283.
2. J. Zhai and S. Fei, Global practical tracking control for a class of uncertain nonlinear systems // IET Control Theory and Applications, vol 5, Issue 11, 2011. P. 1343 – 1351.

3. H.K. Khalil, *Nonlinear Systems*, 3rd edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2002.
4. C.I. Byrnes, A. Isidori, New results and examples in nonlinear feedback stabilization // *Systems and control letters*, 12, 1989. P. 437-442.
5. C. Byrnes, A. Isidori Output regulation for nonlinear systems: an overview // *Int. J. Robust and Nonlinear Control*, 10 (5), 2000. P. 323–337.
6. C.I. Byrnes, F.D. Psicoli, A. Isidori, *Output Regulation of Uncertain Nonlinear Systems*. Boston: Birkhäuser, 1997.
7. C. Desoer, C. Lin, Tracking and disturbance rejection of MIMO nonlinear systems with PI controller // *IEEE Trans. Autom. Control*, 30 (9), 1985. P. 861–867.
8. Di Benedetto, M. Synthesis of an internal model for nonlinear output regulation // *Int. J. Control*, 45 (3), 1987. P. 1023–1034.
9. J. Huang, W. Rugh, On a nonlinear multivariable servomechanism problem // *Automatica*, 1990, 26 (6), pp. 963–972.
10. J. Hepburn, W. Wonham, Error feedback and internal models on differentiable manifolds // *IEEE Trans. Autom. Control*, 1984, 29 (5), pp. 397–403.
11. A. Isidori, C.I. Byrnes Output regulation of nonlinear system // *IEEE Transactions on Automatic Control*, 35, 1990, 31-140.
12. K. Alimhan, H. Inaba, Practical output tracking by smooth output compensator for uncertain nonlinear systems with unstabilisable and undetectable linearization // *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 5, 2008, 1-13.
13. K. Alimhan, H. Inaba, Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently nonlinear systems // *International Journal of Modelling, Identification and Control*, Vol.4 (2008), No.4, 304-314, 2008.
14. S. Čelikovský and J. Huang, Continuous feedback practical output regulation for a class of non-linear systems having non-stabilizable linearization // *Proc.38th IEEE Conf. Decision and Control*, Phoenix, AZ, pp.4796–4801.
15. W. Lin and C. Qian, Robust regulation of a chain of power integrators perturbed by a lower-triangular vector field // *Int. J. Robust Non-linear Control*, Vol. 10, 2000a, pp.397–421.
16. W. Lin and C. Qian, Adding one power integrator: a tool for global stabilization of high-order triangular systems // *Syst. Contr. Lett.*, Vol. 39, 2000b, pp.339–351.
17. C. Qian, W. Lin, Practical output tracking of nonlinear systems with uncontrollable unstable linearization // *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. 47, 2002a, pp.21–36.
18. B. Yang, W. Lin Robust output feedback stabilization of uncertain non-linear systems with uncontrollable and unobservable linearization // *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. 50, 2005. pp.619–630.
19. J. Polendo, C. Qian, A generalized homogeneous domination approach for global stabilization of inherently non-linear systems via output feedback // *Int. J. Robust Non-linear Control*, Vol.17, 2007. pp. 605–629.