

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ _____

_____ **ВЕСТНИК КазНУ**

VESTNIK KazNRTU _____

№1 (125)

<i>Сатыбалдықызы Б., Балакаева Г.Т.</i>	
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМА.....	301
<i>Мустафин М.А., Касинов А.Н.</i>	
О ПРОБЛЕМАХ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ В УНИВЕРСИТЕТЕ.....	305
<i>Лаврищев О.А., Султангазы Д.К., Сейтканов Е.К.</i>	
МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ.....	308
<i>Мустафин М.А., Касинов А.Н.</i>	
О МЕТОДЕ ЛОБАЧЕВСКОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ.....	314
<i>Жаврин Ю.И., Молдабекова М.С., Асембаева М.К., Мукамеденкызы В., Нурмуханова А.З.</i>	
ИЗУЧЕНИЕ ДИФфуЗИОННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ СМЕСИ НЕКОТОРЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В ВОДОРОД.....	316
<i>Исахов А.А., Шайбекова А.А.</i>	
РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЯ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ В ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ СРЕДЕ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	322
<i>Бостанбеков К.А., Ким Д.К., Лысенко Р.И., Аратулы К.</i>	
ПРИМЕР ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПРОГНОЗНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ WRF.....	331
<i>Сатыбалдиев О.С., Сатыбалдиева Д.О.</i>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	338
<i>Молдабекова М.С., Танатбеков С.Т.</i>	
О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	344
<i>Толен Г. Б.</i>	
ПОГРЕШНОСТИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИОДА ПРИ ВИДЕОИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	348
<i>Бахытжан М.Г., Беделбаев А.А.</i>	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИВНЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ХРАНЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ КАЗНУ НА БАЗЕ SQL SERVER FOR TOOLS 2012 КОМПАНИИ MICROSOFT... ..	351
<i>Аскарлова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Шортанбаева Ж.К., Оспанова Ш.С.</i>	
<i>Нурмуханова А.З., Максутханова А.М., Нұғыманова А.О., Чигамбаева Н.Н.</i>	
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА.....	358
<i>Алимхан К., Тасболатулы Н.</i>	
РОБАСТНОЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА.....	362
Химико-металлургические науки	
<i>Ерланова М.Е., Каймолдаев Ж.Ж., Гусейнов Н.Р., Абдуллин Х.А., Калкозова Ж.К.</i>	
КОНТРОЛИРУЕМЫЙ РОСТ МАССИВОВ НАНОСТЕРЖНЕЙ ОКСИДА ЦИНКА МЕТОДОМ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СИНТЕЗА.....	369
<i>Кыдыралиев А.М., Тлеуова А.Б., Сатаев М.С., Кошкарбаева Ш.Т., Абдуразова П.А.</i>	
ПОЛУЧЕНИЕ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ОКСИДНОМ ТРАНСПОРТЕРЕ	373
<i>Айдарова С.Б., Муталиева Б.Ж., Тлеуова А.Б., Кудашева Д., Дуйсенбек М.</i>	
МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЕ ФУНГИЦИДА С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	376
<i>Баримбеков М.Т., Тлеуова А.Б., Сатаев М.С., Абдуразова П.А., Кошкарбаева Ш.Т.</i>	
ФОТОЛИЗ ГАЛОГЕНИДОВ МЕДИ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ	380
<i>Байысбай О.П., Турсынбаев Ж., Ескендиоров М.З., Суйгенбаева А.Ж., Болысбек А.А., Бекжигитова К.А.</i>	
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА МАССООТДАЧИ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ В АППАРАТЕ С РЕГУЛЯРНОЙ НАСАДКОЙ.....	383
<i>Тлеуов А.С., Арыстанова С.Д., Тлеуова С.Т., Назарбек У.Б., Улбекова М.М.</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ФОСФОРА ИЗ ШЛАМОВ.....	387

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Кулекеев Ж.А., Пивень Г.Г., Нургужин М.Р., Капанова Ш.М., Падиарова И.П. Системы менеджмента качества организаций высшего профессионального образования. – Караганда: КарГТУ, 2004. – 105 с.
- [2] Швандара В.А. Стандартизация и управление качеством продукции: Управление качеством продукции. - М.: ЮНИТИ, 2000. -214 с.
- [3] Салимова Т.А., Еналеева Ю.Р. Самооценка деятельности организации: учебное пособие. – М.: Академический проект, 2006. – 279 с.
- [4] Бирюкова Л. И. Сертификация систем качества: учеб.-метод. пособие. – 2-е изд., испр. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 64 с.
- [5] Акишев К., Дарибаева Г. Стандарттау, метрология және сәйкестікті бағалау: учебное пособие. - Астана: Фолиант, 2008. - 256 с.
- [6] Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управления качеством. - М.: Изд. Стандартов, 1990. - 325 с.
- [7] Gardner R. Resolving The Process Paradox // Quality Progress. - 2001. - № 3. - P. 51-59.

Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Шортанбаева Ж.К., Оспанова Ш.С.
Нурмуханова А.З., Максутханова А.М., Нұғыманова А.О., Чигамбаева Н.Н.

Пути повышения эффективности системы менеджмента качества

Резюме: В данной статье рассмотрены определение стратегических целей компании, пути развития применения ключевых показателей деятельности (KPI) для повышения эффективности деятельности организации. Приведены основные принципы системы менеджмента качества, положения системы стимулирования и поощрения персонала на основе стандартов СТ РК ИСО 9001:2000, 9004:2000.

Ключевые слова: менеджмент качества, мотивация, KPI, стимулирование, вознаграждение.

Askarova A. S., Bolegenova S. A., Bolegenova S. A., Shortanbayeva Zh.K., Ospanova Sh. S.
Nurmukhanova A.Z., Maksutkhanova A.M., Nugymanova A.O., Chigambayeva N.N.

Ways of improving the efficiency of the quality management system

Summary: This article considers the definition of the company's strategic goals, the development of the application of key performance indicators (KPI) to improve the effectiveness of the organization. The main principles of the quality management system, the provisions of the system of incentives and staff incentives based on the standards of ST RK ISO 9001: 2000, 9004: 2000 are given.

Keywords: quality management, motivation, the KPI, promotion, rewards.

УДК 681.5

¹К. Алимхан, ^{2,3}Н. Тасболатұлы

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
²Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,
³Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
email: *tasbolatuly@gmail.com*)

ЖОҒАРЫ ДӘРЕЖЕЛІ АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ КҮШТІ ПРАКТИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ

Түйіндеме. Берілген жұмыста жоғары дәрежелі анықталмаған сызықты емес жүйелерді басқару контроллері жәрдемінде күшті практикалық бақылау мәселесі зерттелді. Сонымен қатар, жоғары дәрежелі анықталмаған сызықты емес жүйелерге күшті практикалық бақылауды орындау үшін қатаң емес шарт қойып басқару контроллерін құру мүмкіндігі қарастырылды және бұл контроллер алдын белгілі контроллер-бақылаушы әдісіне сүйеніп құрылды. Мақаланың соңында нәтиженің тиімділігіне көз жеткізу үшін қарапайым сандық мысал Matlab қосымшасында есептелініп, қателік салыстырылды.

Түйін сөздер: басқару теориясы, кері байланыс, басқару контроллері, күшті практикалық бақылау, тірек сигналы.

Кіріспе. Бұл жұмыста жоғары дәрежелі анықталмаған сызықты емес жүйелерді басқару контроллері немесе кері байланыс шығысы жәрдемінде кең ауқымды практикалық бақылау проблемасын қарастыратын боламыз. Жоғары дәрежелі анықталмаған сызықты емес жүйелердің математикалық моделі келесідей түрде беріледі:

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

мұндағы, $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in R$ – жүйенің күйі, $u \in R$ – жүйенің басқару кірісі, $y \in R$ – шығыс сигналы, $i = 1, \dots, n$ үшін $\phi_i(t, x, u)$ – белгісіз үзіліссіз функциялар және $p_i \in R_{\text{odd}}^{\geq 1} := \{p/q \in [0, \infty), p \geq q\}$, $i = 1, \dots, n-1$ – жүйенің жоғары реттілігін көрсетеді, ал y_r – ізіне түсуге арналған тірек сигналы. Әдетте ізіне түсу мәселесінің қарапайым жағдайында эталондық сигнал $y_r(t)$, $t \in [0, \infty)$ және оның туындылары белгілі, бірақ біздің қарастыратын мәселемізде x_1 шығыс сигналы мен y_r тірек сигналы арасындағы $y = x_1 - y_r$ қателікті өлшеуге болады деп есептеледі. Сәйкесінше, тек y -ті контроллерді жобалау кезінде қолдануға рұқсат етіледі. Алайда, біздің басқаруымыз 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 арақашықтық/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].

Сызықты емес жүйелер басқару теориясының маңызды бөлігі саналады. Табиғатта кездесетін барлық физикалық жүйелер сызықты емес. Ізіне түсу мәселесі сызықты емес басқару теориясының ең маңызды есептерінің бірі болып табылады және бұл мәселені шешу үшін соңғы онжылдықтарда кеңінен зерттеулер жүргізілуде. Оны мәселенің шешімінің практикада қолданылу маңыздылығымен түсіндіруге болады. Мысалы, ізіне түсу мәселесі әскери салаларда, әуе қозғалыстарын басқару сияқты салаларда қолданылады. 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 жәрдеміне 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 [5] еңбекте 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 [12-14].

Бұл жұмыспен тығыз байланысты келесі еңбектерді [15-17] 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 үзіліссіз 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 [16] зерттелді:

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

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 [18] 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 [19] (2) жүйеге қарағанда жұмсақтау жүйені ұсынды және мұндағы $p_i = p$ ($i = 1, \dots, n-1$) және $p_n = 1$ деп болжам жасады:

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

және «бақылаушы және контроллер» 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. Мұнда $y_r(t)$ тірек сигналы $t \in [0, \infty)$ аралығымен шектелген C^1 -функция болып табылады, $\dot{y}_r(t)$ туындысы да шектелген деп тұжырымдайық. Онда осы жұмыста қарастырған шығыс сигналын контроллер арқылы күшті практикалық бақылау есебі келесі түрде анықталады: кез келген берілген $\varepsilon > 0$ үшін, контроллер құрылымын келесі түрде аламыз

$$\begin{cases} \dot{\zeta} = \alpha(\zeta, y), \quad \zeta(0) \in R^m \\ u = \beta(\zeta, y) \end{cases} \quad (4)$$

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:

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

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

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

$$|\phi_i(t, x, u)| \leq C_1 (|x_1|^p + \dots + |x_n|^p) + C_2 \quad (6)$$

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

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

Шығыс сигналын күшті практикалық бақылау мәселесі.

Теорема. (1) жүйедегі 1 және 2 болжам бойынша шығысты кең ауқымды күйіті практикалық бақылау мәселесі (4) түрдегі контроллермен шешімге ие және мұндай контроллерді құру процедурасы берілген [12-14].

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

1. Бірінші бөлімде (1) түрден алынған $|\phi_i(t, x, u)| = 0, i = 1, \dots, n$ және $y_r = 0$ үшін номиналды форманы (p – нормал форманы) асимптотикалық тұрақтандыратын шығыс контроллерін 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 [17,18];

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 [20] авторлардың еңбектері негізіне сүйенеді.

Компьютерде моделдеу. Келесі түрдегі сызықты емес жүйені қарастырайық,

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2^3 + \frac{x_2^3}{3(1+x_2^2)}, \\ \dot{x}_2 &= x_3 + \frac{1}{4} \left(x_2^3 \sin x_1^2 + x_2^3 \right), \\ \dot{x}_3 &= u + \frac{1}{7} x_3, \\ y &= x_1 - y_r \end{aligned} \quad (7)$$

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)

• **Физико-математические науки**

сызықтандырылған жүйе $x = 0$ жағдайында тұрақтанбайды және анықталмайды. Ары қарай, анық емес функциялар келесі түрде бағаланады:

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

$$|\phi_2(t, x, u)| = \left| \frac{1}{4} \left(x_2^{\frac{1}{3}} \sin x_1^2 + x_2^3 \right) \right| \leq \frac{1}{4} \left(|x_2|^{\frac{1}{3}} |x_1|^2 + |x_2|^3 \right) \leq \frac{11}{20} (|x_1|^3 + |x_2|^3) + \frac{28}{45}, \quad (8)$$

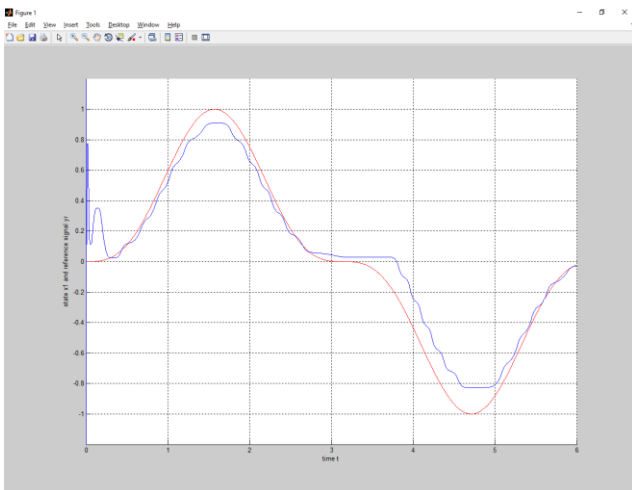
$$|\phi_3(t, x, u)| = \left| \frac{1}{7} x_3 \right| \leq \frac{1}{35} (|x_1|^5 + |x_2|^5 + |x_3|^5) + \frac{8}{35}.$$

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

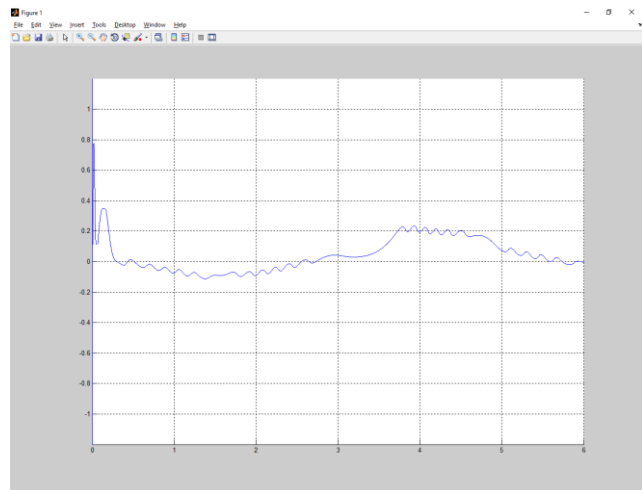
$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_2 &= -ML_1 (\hat{x}_2 + L_1(x_1 - y_r))^3, \\ \dot{\hat{x}}_3 &= -ML_1 (\hat{x}_3 + L_2(\hat{x}_2 + L_1(x_1 - y_r)))^3, \\ u &= -M^{\frac{7}{3}} \left[\beta_3 (\hat{x}_3 + L_2\hat{x}_2 + L_2L_1(x_1 - y_r))^5 + \beta_2 (\hat{x}_2 + L_1(x_1 - y_r))^5 + \beta_1 (x_1 - y_r)^5 \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

мұнда, $L_1 = 9$, $L_2 = 3$ және $\beta_1 = \frac{3}{20}$, $\beta_2 = \frac{5}{8}$, $\beta_3 = \frac{4}{5}$ мәндері контроллерді құру барысында (7)

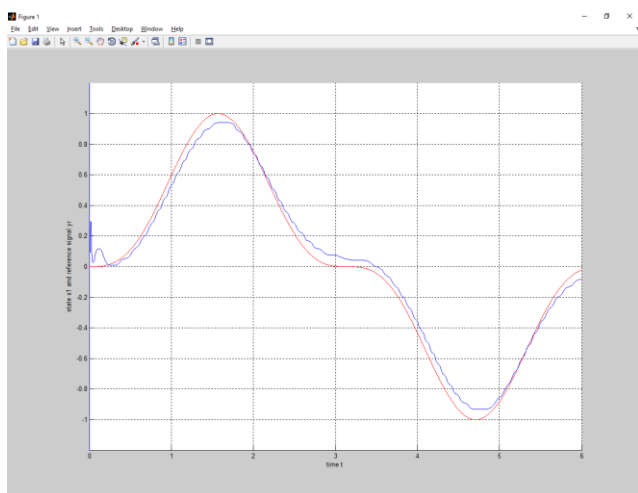
номиналды формасынан алынды және компьютерде есептеу барысында $x_1(0) = -7$, $x_2(0) = 7$, $x_3(0) = 10$, $\hat{x}_2(0) = -10$, $\hat{x}_3(0) = 50$ үшін $M = 450$ мәнінде із кесу қателігі 0,2 шамасында (1б-сурет), $M = 4500$ мәнінде із кесу қателігі 0,1 құрады (2б-сурет).



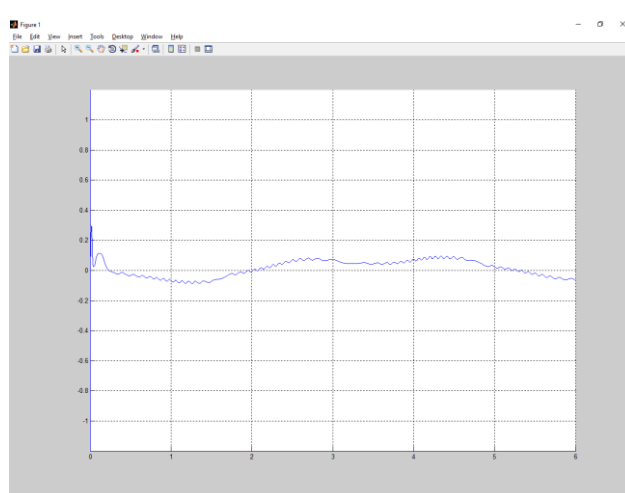
1а сурет. $M = 450$ мәніне сай $x_1(t)$ және $y_r(t) = (\sin(t))^3$ графигі



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



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



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

Қорытынды

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

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Gong Q., 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. – pp. 7278-7283.
- [2] Zhai J., Fei S. Global practical tracking control for a class of uncertain nonlinear systems // IET Control Theory and Applications. – 2011. – vol 5. – Issue 11. – pp.1343 – 1351.
- [3] Khalil H.K. Nonlinear Systems. – 3rd edition. – Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2002. – p.742.
- [4] Byrnes C.I., Isidori A. New results and examples in nonlinear feedback stabilization // Systems and control letters. – 1989. – 12. – pp. 437-442.
- [5] Byrnes C., Isidori A. Output regulation for nonlinear systems: an overview // Int. J. Robust and Nonlinear Control. – 2000. – 10 (5). – pp. 323–337.
- [6] Byrnes C.I., Psicoli F.D., Isidori A. Output Regulation of Uncertain Nonlinear Systems. – Boston: Birkhäuser, 1997.
- [7] Desoer C., Lin C. Tracking and disturbance rejection of MIMO nonlinear systems with PI controller // IEEE Trans. Autom. Control. – 1985. – 30 (9). – pp. 861–867.
- [8] Di Benedetto M. Synthesis of an internal model for nonlinear output regulation // Int. J. Control. – 1987. – 45 (3). – pp. 1023–1034.
- [9] Huang J., Rugh W. On a nonlinear multivariable servomechanism problem // Automatica. – 1990. – 26 (6). – pp. 963–972.
- [10] Hepburn J., Wonham W. Error feedback and internal models on differentiable manifolds // IEEE Trans. Autom. Control. – 1984. – 29 (5). – pp. 397–403.
- [11] Isidori A., Byrnes C.I. Output regulation of nonlinear system // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1990. – 35. – pp. 31-140.
- [12] Alimhan K., Inaba H. Practical output tracking by smooth output compensator for uncertain nonlinear systems with unstabilisable and undetectable linearization // International Journal of Modelling, Identification and Control. – 2008. – 5. – pp. 1-13

- [13] Alimhan K., Inaba H. Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently nonlinear systems // *International Journal of Modelling, Identification and Control*. – 2008. – Vol.4. – No.4. – pp. 304-314
- [14] Alimhan K., Otsuka N., Mamyrbayev O.J. Global Practical Tracking by Output Feedback for Uncertain Nonlinear Systems Under A Weaker Condition // *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*. – Prague, Czech, 2017. – Volume 11. – pp. 88-93.
- [15] Čelikovský S., Huang J. 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
- [16] Lin W., Qian C. Robust regulation of a chain of power integrators perturbed by a lower-triangular vector field // *Int. J. Robust Non-linear Control*. – 2000a. – Vol. 10. – pp. 397–421
- [17] Lin W., Qian C. Adding one power integrator: a tool for global stabilization of high-order triangular systems // *Syst. Contr. Lett.* – 2000b. – Vol. 39. – pp. 339–351
- [18] Qian C., Lin W. Practical output tracking of nonlinear systems with uncontrollable unstable linearization // *IEEE Trans. Automat. Contr.* – 2002a. – Vol. 47. – pp. 21–36.
- [19] Yang B., Lin W. Robust output feedback stabilization of uncertain non-linear systems with uncontrollable and unobservable linearization // *IEEE Trans. Automat. Contr.* – 2005. – Vol. 50. – pp. 619–630
- [20] Polendo J., Qian C. A generalized homogeneous domination approach for global stabilization of inherently non-linear systems via output feedback // *Int. J. Robust Non-linear Control*. – 2007. – Vol.17. – pp. 605–629.

Алимхан К., Тасболатулы Н.

Робастное практическое управление неопределенных нелинейных систем высокого порядка

Резюме. В данной работе исследовано робастное практическое управление неопределенных нелинейных систем высокого порядка с помощью контроллера управления и показано математическое моделирование данного контроллера. В конце статьи приводится простой численный пример для подтверждения результативности исследования.

Ключевые слова: теория управления, обратная связь, контроллер управления, робастное практическое управление, эталонный сигнал.

Alimhan K., Tasbolatuly N.

Robust Practical Tracking for High-Order Uncertain Nonlinear Systems

Summary. In this paper, we studied robust practical control of high-order non-linear systems with the help of a tracking controller and demonstrated the mathematical modeling of this controller. At the end of the article, a simple numerical example is given to confirm the effectiveness of the study.

Key words: control theory, feedback, tracking controller, robust practical control, reference signal.