

Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби

Университет Туран

Люблинский технический университет, Польша

«Ғылым ордасы»



МАТЕРИАЛЫ

IV международной научно-практической конференции
"Информатика и прикладная математика",
посвященной 70-летию юбилею профессоров
Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н.
25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

Часть 1

Алматы 2019

Sotnyk M.I., Telizhenko O.M., Drozdenko O.O., Baistriuchenko N.O., Koplyk I.V., Abdildayeva A.A., Zhukabayeva T.K.	SIMULATION OF HEAT AND ELECTRICITY CONSUMPTION BY SEPARATE ENTITIES BASED ON OPERATIONAL MONITORING SUBSYSTEMS	86
Syzdykov M.	SOLUTION TO P-NP PROBLEM	91
Tunçbilek E., Arici M.	SOLAR RADIATION CURVE FITTING BY USING POSITIVITY PRESERVING CUBIC SPLINE INTERPOLATION	96
Zhampeissova N.A.	CONDITIONS AND ASPECTS OF USE OF MULTIMEDIA TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF TRAINING	103
Алимхан К., Тасболатұлы Н.	АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРГЕ КЕҢ АУҚЫМДЫ ПРАКТИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ОЛАР ҮШІН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕН ҚҰРУ	108
Алимхан К., Тасболатұлы Н., Ерденова А.К., Ахметкалиева А.С.	АЙНЫМАЛЫ УАҚЫТ КЕШІГҮІ БАР ШЫН МӘНІНДЕ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ШЫҒЫСЫН КҮЙ КЕРІ БАЙЛАНЫС АРҚЫЛЫ ІЗГЕ ТҮСІРУ	117
Ахмет М.У., Дауылбаев М.К., Мирзакулова А.Е.	ҚҰРАҚ-ТҰРАҚТЫ АРГУМЕНТТІ СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН СЫЗЫҚТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУ ҮШІН КОШИ ЕСЕБІ ШЕШІМНІҢ АСИМПТОТИКАЛЫҚ ЖІКТЕЛУІ	131
Бакирова Э.А., Асанова А.Т., Агайдарова А.	ПАРАБОЛАЛЫҚ ТЕКТЕС ИНТЕГРАЛДЫҚ- ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ҮШІН БАСҚАРУ ЕСЕБІНІҢ ШЕШІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ	138
Садыков М.П.	ЖЕРАСТЫ УРАН ҰҢҒЫМАЛАРЫН ШАЙМАЛАУ ПРОЦЕСІНІҢ ЖОҒАРЫ ТИІМДІ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН 3D-МОДЕЛЬДЕУ	148
Айтчанов Б.Х., Тергеусизова А.С.	ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА	152
Ахмеджанов А.Х., Караданов Т.К.	ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА В АТМОСФЕРЕ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	168
Ашимов А.А., Боровский Ю.В., Оналбеков М.А.	ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕРЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМ САНКЦИЯМ	174

3. Krasilnikova V.A. The use of information and communication technologies in education: a training manual / V.A. Krasilnikova; Orenburg state un-t - 2nd ed. reslave. and add. - Orenburg: OSU, 2012 .-- 291 p.
4. Savelyev A. Ya. Higher education: State and problems of development / A.Ya. Savelyev. - М.: НИИ ВО, 2001 .-- 120 p.
5. Starikov D.A. On the concept of multimedia technology and their use in the educational process / D.A. Starikov // Scientific researches in education: pedagogy, psychology, economics. - 2011. - No. 2. - S. 53-55.

АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРГЕ КЕҢ АУҚЫМДЫ ПРАКТИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ОЛАР ҮШІН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕН ҚҰРУ

Алимхан К.¹, Тасболатұлы Н.^{2,3}

E-mail: keylan@live.jp, tasbolatuly@gmail.com

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

²Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Қазақстан

³Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан

***Аннотация.** Бұл жұмыста сызықтық емес жүйелер түсінігі анықталып, ізіне түсу мәселесін шешуде қолданылатын негізгі леммалар, алгоритм құрылды. Сонымен қатар, кері байланыс принципі негізінде робастты басқару, уақыт кешігуі бар жүйелерде ізіне түсу мәселелері қарастырылды. ++ және Matlab GUI бағдарламалары жәрдемінде ізіне түсу есептері орындалып, нәтижелер алынды.*

1. Кіріспе

Сызықтық емес жүйелерді бақылау мәселесі бірнеше онжылдықта ғылыми қоғамдастық тарапынан үлкен қызығушылыққа ие болып келеді. Алайда соңғы екі онжылдық көлемінде сызықтық емес бақылау теориясының әр түрлі әдістерін әзірлеу мен қолдануда айтарлықтай оң өзгерістер байқалуда. Бір жағынан, мұндай жетістік, сөзсіз, сызықтық емес процестерді тез және толық зерттеуге мүмкіндік беретін есептеуіш техникалардың қарқынды дамуымен және бақылау сапасына қойылатын талаптардың артуымен байланысты.

Сызықтық емес жүйенің жалпылама формасын келесі түрде анықтауға болады:

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

мұндағы x_i , $i = 1, \dots, n$ жүйенің күйі, $\phi_i : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, $i = 1, \dots, n$ - анықталмаған тегіс функциялар, u - кіріс шамасы немесе басқару, y - жүйе шығысы,

$p_i \in R_{odd}^{\geq 1} := \{p/q \in [0, \infty) : p \text{ және } q \text{ бүтін сандар, } p \geq q\}$, $(i = 1, \dots, n-1)$ жүйенің жоғары реттілігін көрсетеді. Біздің мақсатымыз жүйелерде шекті уақыттан соң барлық күйлер шектелген аймақта болатындай және жүйенің шығыс шамасы u -ті көзделген тірек сигналдың ізіне түсіретін басқаруды табу болып табылады. Жүйенің шығыс шамасы u -ті бақылау қарапайым жағдайда «асимптотикалық» мәнге ие болады, яғни уақыт шексіздікке ұмтылған сайын бақылау қателігі нөлге ұмтылады. Бұл асимптоталық бақылау мәселесі уақытқа байланысты инвариантты сызықтық жүйелер үшін шамамен 40 жылдан аса уақыт бұрын толығымен шешімін тапты [1],[2]. Ал сызықтық емес жүйелер үшін тиісті проблема, соңғы 30 жыл көлемінде бірқатар зерттеушілер тарапынан зерттелініп келеді [3]-[9]. Күйі бойынша кері байланысты басқарумен салыстырғанда, шығыс шамасы бойынша кері байланысты басқару теориясы баяу дамыды, себебі сызықтық емес бақылаушыны жобалаудың жалпы және тиімді әдісі жоқ. Көптеген сандық есептеулерде бақылау процесінің өз деңгейінде орындалуын анықтау мақсатында тірек сигналы (*опорный сигнал – reference signal*) қолданылады. [4]-[7] еңбектерде тірек сигналы тұрақты саналатын қарапайым жағдай қарастырылған. Кейінірек сызықтық емес жүйелер үшін тірек сигналдары уақытқа байланысты өзгеріске ұшырайтын жағдайды алғаш рет А.Исидори және С.И.Бирнс [8] зерттеді.

Жоғарыда келтірілген жұмыстарда сызықтық емес жүйенің Якобиан сызықтандырылуы орнықтанады және анықталады деп болжам жасалады [10]. Осы екі болжам күйі немесе қателігі бойынша кері байланыс арқылы сызықтық емес жүйені реттеу мәселесін шешуде негізгі ұйғарым болып табылды. Алайда, сызықтық емес жүйелердің сызықтандырылған жүйелері орнықтанбайтын және/немесе анықталмайтын жағдайында бақылау проблемасы және тіпті орнықтандыру проблемасы әлдеқайда күрделі және шешу қиын.

Салыстырмалы түрде жақында жарық көрген еңбектерде ғалымдар [12], [13] практикалық бақылау мәселесін (1) жүйеге қарағанда келесі түрдегі аздап өзгертілген жүйеге қатысты зерттеді:

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

Авторлар бұл еңбекте Ян және Лин [11] сипаттаған әдіске ұқсас әдісті пайдаланып, әлдеқайда еркін шарттар қою арқылы шекті тірек сигналына қатысты шығыс шамасын кең ауқымды робастты практикалық бақылауды шығыс компенсаторы арқылы қол жеткізуге мүмкін болатындығын дәлелдеді. Ол шарт бойынша:

$$|\phi_i(t, x, u)| \leq C_1 (|x_1|^p + \dots + |x_i|^p) + C_2, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

мұндағы, $C_1 \geq 0$, $C_2 \geq 0$ константалар. Мұндағы (3) өсу шарты қосымша константа $C_2 \geq 0$ қосу арқылы қатаң емес шарт болып табылады және бұл шығыс компенсаторымен практикалық бақылау мәселесін шешу үшін маңызды рөл ойнады.

2. Негізгі математикалық алғышарттар

Бұл мақалада келесі біртекті функция анықтамасын және бірнеше пайдалы леммаларды қолданамыз.

Біртекті жүйе – сызықтық емес жүйелердің арнайы класы және келесі түрдегі жақсы қасиеттерге ие:

1) жергілікті асимптоталық орнықтылық кең ауқымды асимптоталық орнықтылықты білдіреді [76].

2) жоғары реттілік мүшелерінің өзгерісі кезінде жергілікті орнықтылық өзгермейді [76].

Анықтама ([16]). $x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n$ координаттар жиыны және n -өлшемді $r = (r_1, \dots, r_n)$ оң нақты сандары үшін біз келесі анықтамаларды енгіземіз:

(i) $\Delta_s(x)$ кеңейтуі бейнелеу болып табылады және $\Delta_s(x) = (s^{r_1}x_1, \dots, s^{r_n}x_n)$, $\forall s > 0$ түрінде анықталады. Мұндағы, r_i - координаттың салмақтары деп аталады. Бейнелеу қарапайымдылығы үшін, кеңейту салмағы $\Delta = (r_1, \dots, r_n)$ арқылы белгіленеді.

(ii) $V \in C(R^n, R)$ функциясы τ біртекті дәрежелі деп аталады, егер мұндағы $\tau \in R$ нақты сан келесі түрде бар болса $V(\Delta_s(x)) = s^\tau V(x_1, \dots, x_n)$, $\forall x \in R^n - \{0\}$.

(iii) $f \in C(R^n, R^n)$ векторлық өріс τ біртекті дәрежелі деп аталады, егер мұндағы $\tau \in R$ нақты сан $i = 1, \dots, n$ үшін келесі түрде бар болса $f_i(\Delta_s(x)) = s^{\tau+r_i} f_i(x_1, \dots, x_n)$, $\forall x \in R^n - \{0\}$.

(iv) Біртекті p -норма $\|x\|_{\Delta, p} = \left(\sum_{i=1}^n |x_i|^{p/r_i} \right)^{1/p}$, $\forall x \in \mathbb{R}^n$, $p \geq 1$ түрінде анықталады.

Әрі қарай, біз басқарудың соңғы нұсқасында жиі қолданылатын және маңызды рөл атқаратын бірнеше техникалық леммаларды ұсынамыз.

Лемма 1 [16]. $\Delta = (r_1, \dots, r_n)$ кеңейту салмағын ескере отырып, $V_1(x)$ және $V_2(x)$ тиісінше τ_1 және τ_2 дәрежелері біртекті деп болжаймыз. Олай болса, $V_1(x)$ $V_2(x)$ -де сол $\Delta = (r_1, \dots, r_n)$ кеңейтуге қатысты біртекті. Сонымен қатар, $V_1(x)$ $V_2(x)$ -нің біртекті дәрежесі $\tau_1 + \tau_2$ -ге тең.

Лемма 2 [16]. $V : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ функциясы Δ кеңейту салмағына қатысты τ дәрежесінің біртекті функциясы деп болжайық. Содан кейін келесі орындалады:

(1) $\frac{\partial V}{\partial x_i}$ сондай-ақ $\tau - I_i$ дәрежесі арқылы біртекті болып табылады, мұндағы

x_i -дің біртекті салмағы I_i -ге тең.

(2) Мұндағы $\sigma > 0$ тұрақты және ол келесіні қанағаттандырады $V(x) \leq \sigma \|x\|_{\Delta}^{\tau}$. Сонымен қатар, егер $V(x)$ оң анықталған болса, онда $\rho > 0$ тұрақтысы бар және ол келесіні қанағаттандырады $\rho \|x\|_{\Delta}^{\tau} \leq V(x)$.

Лемма 3 [14]. Барлық $x, y \in R$ және тұрақты $p \geq 1$ үшін келесі теңсіздіктер орындалады:

$$(i) \quad |x + y|^p \leq 2^{p-1} |x^p + y^p|, (|x| + |y|)^{1/p} \leq |x|^{1/p} + |y|^{1/p} \leq 2^{(p-1)/p} (|x| + |y|)^{1/p}$$

Егер $p \in R_{odd}^{\geq 1}$, онда

$$(ii) \quad |x - y|^p \leq 2^{p-1} |x^p - y^p| \text{ және } |x|^{1/p} - |y|^{1/p} \leq 2^{(p-1)/p} |x - y|^{1/p}.$$

Лемма 4 [15]. a, b оң тұрақты сандар болсын. Онда, кез келген нақты функция $\gamma(x, y) > 0$ үшін келесі теңсіздік орындалады:

$$|x|^a |y|^b \leq \frac{a}{a+b} \gamma(x, y) |x|^{a+b} + \frac{b}{a+b} \gamma^{-a/b}(x, y) |y|^{a+b}.$$

Бұл мақалада (2) түрдегі жоғары ретті сызықтық емес жүйелер үшін кері байланыс күйі арқылы шығыс мәліметтерін практикалық бақылау мәселесі қарастырылады. Мұнда біз осы мәселенің дәл анықтамасын береміз.

Шығыс кері байланыс арқылы кең ауқымды практикалық бақылау мәселесі: (2) жүйені қарастырайық және $y_r(t)$ тірек сигналы уақыт бойынша өзгертін C^1 функциясы $[0, \infty)$ аралағында шектелген болсын. Кез келген берілген $\varepsilon > 0$ үшін келесі құрылымға ие шығыс шамасын бақылау контроллерін құрамыз:

$$\begin{cases} \dot{\zeta} = \alpha(\zeta, y), \zeta(0) \in R^{n-1} \\ u = \beta(\zeta, y) \end{cases} \quad (4)$$

мұндағы α, β қайсыбір тегіс функциялар, сондай:

1. (1) жабық тұйықталған жүйенің $[x(t), \zeta(t)] \in R^{2n-1}$ барлық күйлері (4) шығыс контроллерімен $[0, \infty)$ аралығында жақсы анықталған және кең ауқымды шектелген.

2. Кез келген $[x(0), \zeta(0)]$ бастапқы күй үшін $T := T(\varepsilon, x(0), \zeta(0)) > 0$ шекті уақыт келесі түрде болады:

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

Шығыс шамасын глобалды практикалық бақылау мәселесін шешу үшін біз мынадай болжамдар жасадық:

Болжам 3.1. $i = 1, \dots, n$ үшін C_1, C_2 тұрақтылары және $\tau \geq -\frac{1}{\sum_{l=1}^n p_l \cdots p_{l-1}}$

келесі түрде бар болады:

$$|\phi_i(t, x, u)| \leq C_1 \left(|x_1|^{\frac{r_i + \tau}{r_i}} + \dots + |x_i|^{\frac{r_i + \tau}{r_i}} \right) + C_2 \quad (6)$$

мұндағы, $r_1 = 1, r_{i+1} = \frac{r_i + \tau}{p_i} > 0, i = 1, \dots, n.$

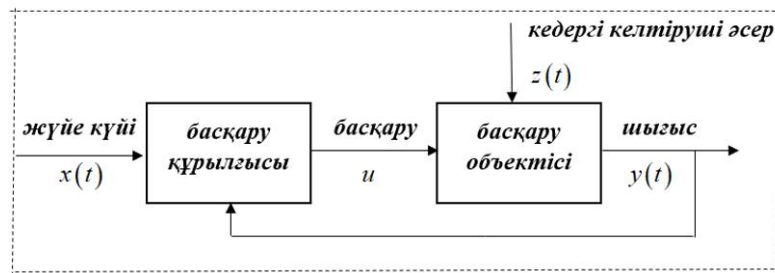
Болжам 3.2. $y_r(t)$ тірек сигналы үздіксіз дифференциалданады, сонымен қатар, белгілі бір тұрақты $D > 0$ бар және келесі түрде анықталады:

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

3. Күй шамасын кері байланыс арқылы берілген тірек сигнал ізіне түсірудің басқаруын жобалау алгоритмі

Кері байланыс арқылы басқару.

Бақылаудағы ең маңызды міндет жүйелік белгісіздіктер болған жағдайда кері байланыс арқылы басқарылатын объектінің орнықтылығын қамтамасыз ету болып табылады. Кері байланыс жүйенің күйі бойынша немесе шығыс шамасы арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Яғни, бақыланатын анықталмаған жүйенің шығыс шамасын немесе күйін пайдаланып кері байланысты басқару заңын құру болып табылады.



1 сурет. Кері байланыс арқылы басқару схемасы

Күй шамасын кері байланыс арқылы берілген тірек сигнал ізіне түсірудің басқаруын жобалау алгоритмі:

- Қарастырып жатқан сызықтық емес жүйенің номинал жүйесін асимптотикалық орнықтандыратын басқаруды жобалау;
- Қарастырып жатқан жүйеміздің бірінші күй теңдеуіне Ляпунов кандидат функциясын тауып, сол функцияның туындысын 0-ден кіші ете алатындай виртуалды басқаруды табу;

- Бірінші қадамда табылған виртуалды басқару көмегімен екінші күй теңдеуіне Ляпунов кандидат функциясын табу және сол функцияның туындысын 0-ден кіші ететіндей виртуалды басқаруды табу.

- Осы іс-әрекетті соңғы нақты басқару қатысқан теңдеуге дейін жалғастырып, одан әрі бүтін жүйені басқаратын нақты басқару теңдеуін табу;

- Табылған басқарудың көмегімен жүйенің шығыс сигналын көзделген тірек сигнал ізіне түсіру;

Басқару мәселесінің негізгі мақсаттарының бірі – бақыланатын $y(t)$ шығыс шамасын берілген $y_r(t)$ тірек сигналының ізіне түсіретіндей басқаруды құру болып табылады, яғни: $k(t) = y(t) - y_r(t) \approx 0, \forall t \geq t_0$. Мұндағы t_0 - бақылау басталатын уақыт.

4. Сызықтық емес жүйелердің шығыс шамасын робастты практикалық бақылау

(2) түрдегі жүйені қарастырайық. Ондағы $p_n = 1$ деп аламыз (бұл шектеу болып табылмайды, өйткені біз $p_n \neq 1$ жағдайында $v := u^{p_n}$ деп белгілей аламыз) және U_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 шамасы мен U_r тірек сигналы арасындағы $Y = X_1 - U_r$ қателікті өлшеуге болады деп есептеледі. Сәйкесінше, тек y -ті компенсаторды жобалау кезінде қолдануға рұқсат етіледі. Алайда, біздің реттеуіміз қарапайым жағдайдан тұратындығы белгілі, өйткені U_r белгілі, X_1 -ді $X_1 = Y + U_r$ арқылы алуға болады. Осыған қосымша ретінде, кейбір практикалық бақылау программаларында қателік сигналы $Y = X_1 - U_r$ тек ақпарат деп саналып, міндетті түрде есептелуге жатады. Мысалы, ракетаны бағыттау жүйесінде борттық радар қозғалыстағы нысанның абсолютті позициясын, яғни U_r сигналын өлшеудің орнына ракета мен нысанның арасындағы арақашықтықты/қателікті өлшеуді жалғастыра береді [17]. Басқа жағдайда тек қателік сигналы датчик құрылымын қарапайым етеді, өйткені, контроллер жіті бақылануы тиіс сигналдан тәуелсіз деп тұжырымдалады. Осылайша, контроллер түрлі тірек сигналдарына робастты бейімделген болып табылады.

5. Уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелердегі бақылау

Табиғатта кездесетін көптеген сызықтық емес процестерде уақыт кешігуі құбылыстары болады. Жоғарыда аталған нәтижелерде уақыт кешігуінен болатын әсер қарастырылмаған. Мысалы, уақыт кешігуі құбылыстары электр жүйелерінде, микротолқынды осциллятордың жұмысында, гидротехникалық жүйелерде және т.б. сол сияқты көптеген практикалық жүйелерде кездеседі және бұл уақыт кешігуі

құбылысы жүйенің жұмысына айтарлықтай әсер етеді. Сол себепті, сызықтық емес жүйелерді зерттеу барысында уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйелерді орнықтандыру мәселесі және олардың шығыс шамасын бақылау мәселелері практикалық маңызға ие және соңғы жылдары бұл мәселеге көп көңіл бөлінуде. Уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелер деп $x(t)$ жүйе күйінің келесі өзгерісі олардың ағымдық шамасынан ғана емес, алдыңғы шамасынан да тәуелді болатын жүйелерді айтамыз. Жоғарыда келтірілген (2) жүйені уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйе түрінде сипаттайтын болсақ, онда келесі түрдегі жүйені аламыз:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_n^{p_1}(t) + \varphi_1(t, x(t), x(t-d), u(t)), \\ &\vdots \\ \dot{x}_{n-1}(t) &= x_n^{p_{n-1}}(t) + \varphi_{n-1}(t, x(t), x(t-d), u(t)), \\ \dot{x}_n(t) &= u + \varphi_n(t, x(t), x(t-d), u(t)), \\ y(t) &= x_1(t) - y_r(t) \end{aligned} \quad (7)$$

мұндағы $x(t) := (x_1(t), \dots, x_n(t))^T \in R^n$, $u \in R$, және $y(t) \in R$ - сәйкесінше жүйенің күйі, басқарудың кіріс шамасы және шығыс шамасы. Тұрақты сан $d \geq 0$ жүйенің уақыт кешігуі және мұндағы $x(\theta) = \varphi_0(\theta)$, $\theta \in [-d, 0]$, $d \geq \max\{d_1, \dots, d_n\}$ жүйенің алғашқы шарты. Мұндағы $\varphi_i(\cdot)$ белгісіз үздіксіз функциялар болып табылады,

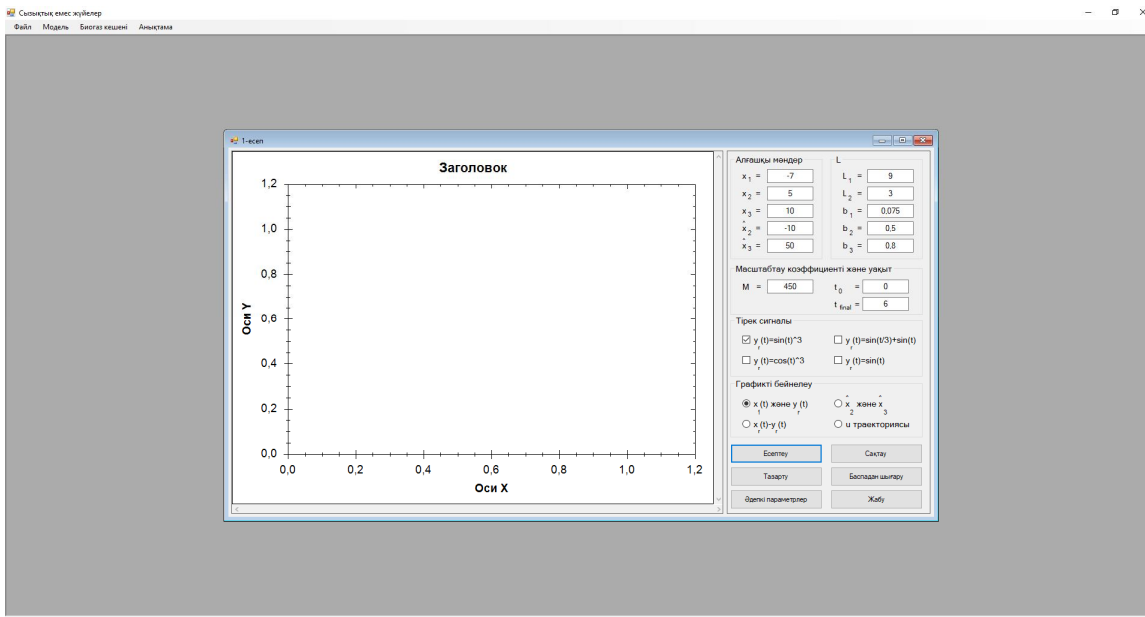
$p_i \in R_{odd}^{\geq 1} := \{\frac{p}{q} \in [0, \infty) : p \text{ және } q \text{ тақ бүтін сандар, } p \geq q\}$, $(i = 1, \dots, n-1)$ жүйенің

жоғары реттілігін көрсетеді. Біздің мақсатымыз жүйелерде d уақыт кешігуі болған жағдайда да шекті уақыттан соң барлық күйлер шектелген аймақта болатындай және жүйенің шығыс шамасы $y(t)$ -ді көзделген тірек сигналдың ізіне түсіретін басқаруды табу болып табылады. Бұл мақсатқа жету үшін жоғарыда келтірілген алгоритм бойынша Ляпунов функциясын құрып, берілген жүйе бойынша басқару теңдеуін табамыз. Табылған басқару теңдеуін пайдаланып жүйенің шығыс сигналы мен көзделген тірек сигнал арасындағы қателікті есептейміз. Қателік барынша аз болған сайын ізіне түсу есебі шешімі табылды, яғни қойылған мақсатқа жеттік деп есептейміз.

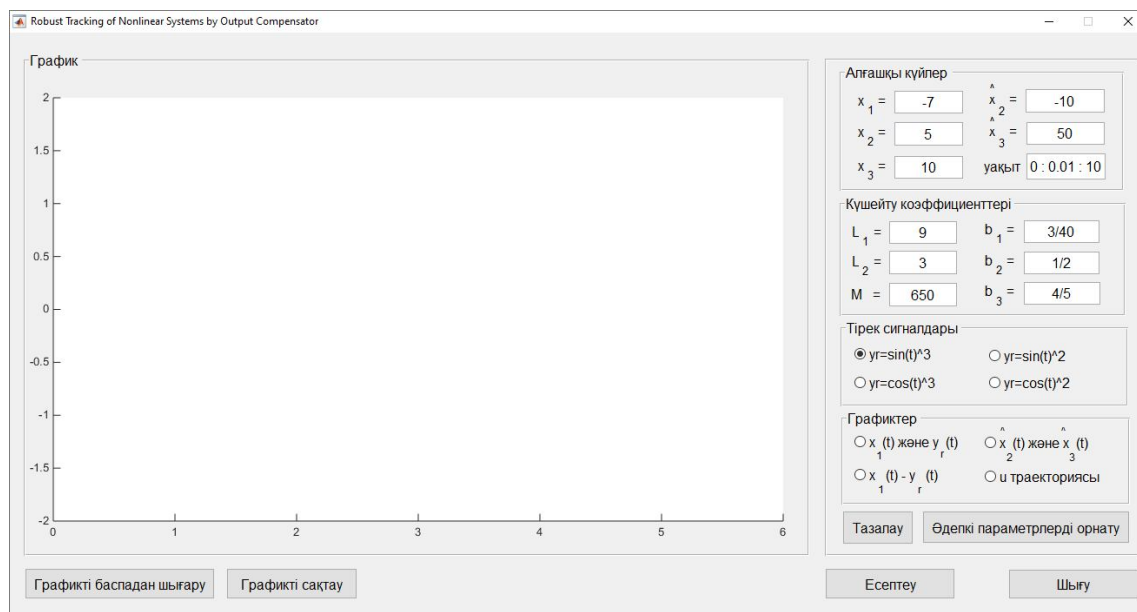
6. Бағдарламалық кешен құру

Жоғарыдағы алгоритм бойынша сызықтық емес жүйе ізіне түсу есептерінің шешімдері қарапайым түсінікті болу үшін объектілі-бағытталған бағдарламалық орта C++ және Matlab GUIDE қосымшасында бағдарламалық кешен құрылды. Төменде бағдарламалық кешен құру процесі және алынған нәтиже көрсетіледі.

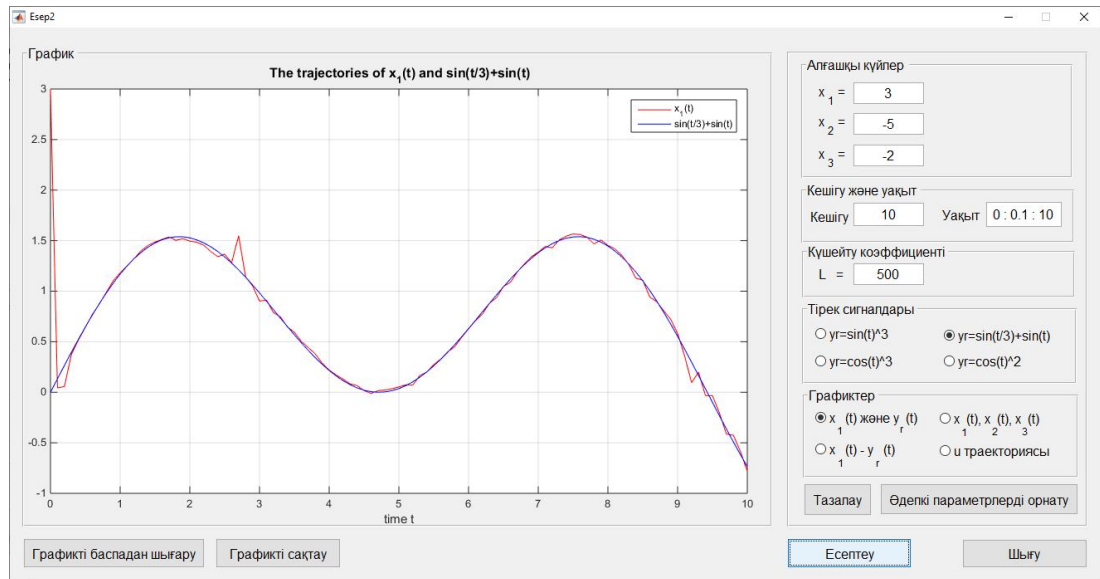
IV Международная научно-практическая конференция
 "Информатика и прикладная математика",
 посвященная 70-летию юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
 и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентября 2019, Алматы, Казахстан



Сурет 1. C++ бағдарлама ортасын пайдаланып ізіне түсу есебін жобалау



Сурет 2. Matlab GUI қосымшасында берілген есеп интерфейсін жобалау



Сурет 3. Алынған нәтиже

7. Қорытынды

Қорыта келе сызықтық емес жүйелерге кең ауқымды практикалық бақылау және ол үшін бағдарламалық кешен құру есебін шешу үшін алдымен сызықтық емес жүйелер ұғымы түсіндіріліп, математикалық алғышарттар және алгоритм құрылды. Біз қарастырған есептер осы еңбекте арнайы құрылған алгоритм негізінде Ляпунов функциясын қолданып біртекті үстемдік әдісі арқылы шешімін тапты. Нәтиженің дұрыстығына көз жеткізу үшін бағдарламалық кешен құрылып, нәтижелер алынды.

Қаржыландыру

Эксперименттік зерттеулер Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының BR05236839 «Цифрлық Қазақстанды дамытудың негіздерінің бірі ретінде жеке тұлғаның тұрақты дамуына ықпал ететін ақпараттық технологиялар мен жүйелерді құру» бағдарламалық мақсатты қаржыландыру аясында өткізілді.

Әдебиеттер

- 1 Davison E.J. The robust control of a servomechanism problem for linear time-invariant multivariable systems // IEEE Trans. Automat. Control. – 1976. – Vol. 21. – P. 25-34.
- 2 Francis B.A., Wonham W.M. The internal model principle of control theory // Automatica. – 1976. – Vol. 12. – P. 457-465.
- 3 Anantharam V., Desoer, C.A. Tracking and disturbance rejection of MIMO nonlinear systems with a PI or PS controller // Proclamation of the 24th IEEE Conference Decision and Control. – 1985. – P. 1367-1368.
- 4 Desoer C., Lin C. Tracking and disturbance rejection of MIMO nonlinear systems with PI controller // IEEE Trans. Automat. Control. – 1985. – 30 (9). – P. 861-867.

- 5 Di Benedetto M.D. Synthesis of an internal model for non-linear output regulation // *Int. J. Control.* – 1987. – Vol. 45 (3). – P. 1023-1034.
- 6 Huang J., Rugh W.J. On a non-linear multivariable servomechanism problem // *Automatica.* – 1990. – Vol. 26 (6). – P. 963-972.
- 7 Hepburn J., Wonham W.A. Error feedback and internal model on differentiable manifolds // *IEEE Trans. Automat. Control.* – 1984. – Vol. 29 (5). – P. 397-403.
- 8 Isidori A., Byrnes C.I. Output regulation of non-linear system // *IEEE Trans. Automat. Control.* – 1990. – Vol. 35 (2). – P. 131-140.
- 9 Byrnes C.I., Isidori A. Output regulation of non-linear system: An overview // *Int. J. Robust Non-linear Control.* – 2000. – Vol. 10 (5). – P. 323-337.
- 10 Byrnes C., Delli Priscoli F., Isidori A. Output regulation of uncertain nonlinear systems. Monograph. – Birkhauser, Boston. – 1997. – 120 p.
- 11 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. – P. 619-630.
- 12 Alimhan K., Inaba, H. Robust practical output tracking by dynamic output feedback for uncertain non-linear systems with unstabilisable and undetectable linearisation // *International Journal of Modelling, Identification and Control.* – 2008. – Vol. 5 (1). – P. 1-13.
- 13 Alimhan K., Inaba H. Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently non-linear systems // *International Journal of Modelling, Identification and Control.* – 2008. – Vol. 4 (4). – P. 304-314.
- 14 Polendo, J., Qian, C. A universal method for robust stabilization of nonlinear systems: unification and extension of smooth and non-smooth approaches / J. Polendo, C. Qian // *Proc. of the American Control Conference, 2006.* – P. 4285-4290.
- 15 Polendo, J., Qian, C. A generalized homogeneous domination approach for global stabilization of inherently nonlinear systems via output feedback / J. Polendo, C. Qian // *Int. J. of Robust and Nonlinear Control, 2007.* – Vol. 7, N. 7. – P. 605–629.
- 16 Rosier, L. Homogeneous Lyapunov function for homogeneous continuous vector fields / L. Rosier // *Systems & Control Letters, 1992.* – N. 19. – P. 467–473.
- 17 Gong Q., Qian C. Global practical output regulation of a class of non-linear systems by output feedback // *Proc. the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference.* – Seville, Spain. – 2005. – P. 7278-7283.

АЙНЫМАЛЫ УАҚЫТ КЕШІГҮІ БАР ШЫН МӘНІНДЕ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ШЫҒЫСЫН КҮЙ КЕРІ БАЙЛАНЫС АРҚЫЛЫ ІЗГЕ ТҮСІРУ

**Алимхан К.^{1,2}, Тасболатұлы Н.^{3,4}, Ерденова А.К.¹,
Ахметкалиева А.С.¹**

keylan@live.jp, tasbolatuly@gmail.com, erdenova_aigerim@mail.ru,
almira_vko@mail.ru