

5

Теоретический и прикладной
научно-технический журнал

ISSN 1694-55-57

ИЗВЕСТИЯ

Кыргызского Государственного Технического
Университета им. И.Раззакова

№ 24

Материалы Международной конференции

«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»

Посвящается 70-летию академика А. Жайнакова

г. Бишкек, Кыргызстан 5 – 9 октября 2011 года

Копия верна
И.С.К.Ду
18.04.12



Бишкек 2011

18	Н.С. Асылбеков, Т.Т. Оморов К проблеме анализа нейронной сети при диагностике цифровых систем	270
19	Жумалиев К.М., Сагымбаев А.А., Сагымбаева К.А., Мамырбеков М.Т. Экспериментальное исследование характеристик акустооптического перестраиваемого фильтра	274
20	Орозобаков Т., Султангазиева Р.Т., Турдалиева А.А. Особенности расчета цифровых радиорелейных линий в горной местности	277
21	Джолдошева А.Б. Применение САПР в технологической подготовке швейного производства	281
22	М.М. Молдабеков, Д.Ш. Ахмедов, А.К. Тулешов Современные подходы к компьютерному проектированию подсистем космических аппаратов	284
23	Батырканов Ж.И., Кадыркулова К.К. Траекторное управление объектом по таблично заданным программам	290
Секция 4: Информационные технологии в образовании		
1	И.В. Бычков, Г.М. Ружников, Т.И. Маджара, Р.К. Фёдоров, А.Е. Хмельнов Инфраструктура пространственных данных Иркутского научно-образовательного комплекса	296
2	А.А. Кашкароева к вопросу информационных технологий и образования	303
3	Ч.Н. Жумабаева Информационные технологии в задачах управления общеобразовательным учреждением	306
4	Г.Д. Кабаева, Б.С. Жамгырчиева Сравнительный анализ известных методов обучения, их преимущества и недостатки	309
5	Б. Ш. Баратова, З.М. Казакбаева Использование ИКТ в учебном процессе	313
6	З.Дж. Макиева, Э.Н. Турсалиева Электронное образование как форма дистанционного обучения	315
7	Ж.З. Бакиева, К.К. Талыпов Об одной интегрированной информационной системе для вуза	319
8	Ш.Х. Насиров, Ч.Н. Жумабаева, У. Ж. Чолпонбаев Компьютерная сеть средних образовательных учреждений г. Бишкек	322
9	Мааткеримов Н.О. Подготовка будущих учителей к нормированию процесса обучения физике	325
10	Е. Е. Син Использование математической модели в управлении учебным процессом	328
11	О.Л. Жижимов, А.М. Федотов Об обеспечении интероперабельности электронных библиотек	331
12	Ж. Сагындыков, Э. Мамбетакунов, С. Кадышев Электролиз процесстерин анимациялык программалардын жардамында окутуу	335
13	Г.Дж. Бейшекеева, М.К. Карипова, Э.С. Усеналиева Создание виртуальных моделей фундаментальных опытов по атомной физике	339
14	А.И. Арыкова Экологическая культура как духовная основа охраны окружающей среды	342
15	Раева М.Т., Кошоманова Р, Раева Ч. Компьютердик технологиянын жардамы менен теңдемелерди графиктик ыкма менен чыгарууда окуучулардын активдүүлүгүн жана ой жүгүртүүсүн өстүрүү	346
16	Раева М.Т., Раева Ч.Т., Курманалиева А.О. Методические особенности обучения студентов инженерных специальностей общеобразовательному курсу информатики	348
17	Ж.И. Жумалиева Построение моделей управления информационной системы для органов местного самоуправления (на примере г.Бишкек)	351
18	К.Н. Байсалбаева К.Н. Использование 3d моделирования в проектной деятельности студентов на занятиях по компьютерной графике	355
19	Анализ содержания обучения студентов компьютерной графике К.Н. Байсалбаева К.Н.	357
20	К.Н. Байсалбаева К.Н., М.Н. Калимолдаев Модель методики обучения студентов компьютерной графике в условиях кредитной технологии	360

11	Айдосов А.А., Айдосов Г.А., Заурбеков Н.С. Математическое моделирование влияние деятельного слоя почвенного покрова на загрязнение региона с учетом аэрологии ограниченной области в нижнем слое атмосферы при аварийном разливе углеводородного сырья	186
12	К.Ч.Кожогулов, С.Ф.Усманов Информационные технологии при оценке устойчивости бортов карьеров	190
13	Джуматаев М.С., Саадабаев Н.Т. Динамическая модель центробежно-ударной дробилки	193
14	Сыдыков Ж.Д., Самбаева Д.А., Майменов З.К. Естественное разрушение арагонитовой фазы кальцита в природных условиях - как источник выделения диоксида углерода в атмосферу	196
15	Кабаев О.Д. О состоянии и проблемах освоения минерально-сырьевых ресурсов Кыргызстана	199
16	Айдосов А.А., Айдосов Г.А., Сембина Г.К. Математическое моделирование влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения	204
Секция 3: Интеллектуальные системы поддержки принятия решений; распределенные вычислительные и информационные ресурсы		
1	О.П. Воробьева, В.В. Парамонов, Е.А. Черкашин Применение методики MDA для разработки информационных систем поддержки научных исследований	209
2	I.G.Ten, I.R.Musina Inventory control support system under uncertainty	212
3	Кененбаева Г.М., Лукьяненко А. Математизация мысли и критерии оптимального усвоения знаний	216
4	Б.Н.Бабаев, Ж.З.Бакиева, Б.Б. Омуралиева, Н.Мамбеталиева Разработка программы с применением ГИС для автодорог города Бишкек	220
5	M. Milosz, N.Israilova Building a bridge between it and non-it specialists – tempus eramis project	224
6	К. З. Момуналиев, У.Н. Бримкулов Создание электронных энциклопедий на базе программы Stardict: автоматизация процесса создания баз данных	227
7	Десятков Г.А., Пономарев А.Я. К вопросу разработки основ создания самоорганизующихся и самообучающихся буровых машин - информаторов	229
8	Ю.И.Молородов, П.Е. Ширшов Информационная система для хранения и обработки данных о состоянии окружающей среды	236
9	Рыбин А.К., Костюк А.Д., Матюков В.Е., Десятков Г.А., Лыченко Н.М., Манжикова С.Ц., Медведева О.А. Разработка информационной системы геофизического мониторинга земной коры сейсмоактивных регионов	240
10	Сагымбаев А.А., Асхаб Ахмад Али Формы автоматизации регистрации документов	244
11	Сагымбаев А.А., Асхаб Ахмад Али Информационно-технологическая инфраструктура	245
12	Асхаб Ахмад Али Состояние и перспективы развития электронного правительства в Иорданском Хашимтском королевстве	249
13	З.С.Мамбеталиев, М.Ж.Жумабаев, М.Н.Джылышбаев Расчет эффективности применения фильтров для защиты от помех в сотовых сетях связи	252
14	Ч.А.Бекташов, А.А.Дыйканбаев Распространение новых технологий передачи данных и их влияние на информационное общество	256
15	А.К.Тиленбаев, А.А.Кадыркулов Интернет в образовательных учреждениях Кыргызской республики. спутниковый или наземный?	258
16	А.А. Лисс, Т.М. Пестунова Разработка экспериментальной сетевой среды для учебно-исследовательского полигона по компьютерной и сетевой безопасности	263
17	И.А.Пестунов, С.А.Рылов Сегментация изображений на основе кластеризации в пространстве спектральных и текстурных признаков	266

- измерительных приборов и аппаратуры тестирования и испытаний РЭС (радиоэлектронных систем);
- приборов и аппаратуры разработки спутниковых навигационных технологий;
- приборов и аппаратуры для разработки радиочастотных трактов приемо-передающей аппаратуры;
- обеспечения каналов связи с КА;
- аппаратуры и оборудования для изготовления экспериментальных образцов новых изделий;
- приборов и оборудования для научно-экспериментальных работ по созданию новых материалов;
- программного обеспечения решения задач моделирования и проектирования.

Наличие научно-экспериментальной лаборатории разработки и испытания позволит в полном объеме использовать возможности современных технологий проектирования, создания, тестирования и испытания новых образцов космической техники и технологий. На рисунке 9 показана взаимосвязь современных технологий проектирования, изготовления и тестирования на основе аппаратно-программного моделирования и научно-экспериментального лабораторного оборудования и аппаратуры при решении задач по выполнению опытно-конструкторских работ по созданию новых образцов космической техники и технологий.

В заключении отметим следующее. Анализ опыта ряда зарубежных организаций и фирм космического профиля показывает, что на сегодняшний день одной из самых эффективных технологий по выполнению опытно-конструкторских работ, проектированию и тестированию различных подсистем космических аппаратов является технология аппаратно-программного моделирования. Данная технология позволяет в короткие сроки выполнить большой объем предпроектных исследований, решить вопросы концептуально или архитектурно ориентированного прототипирования, разработать и провести качественное тестирование новых образцов изделий космической техники. Это позволяет не только существенно сократить финансовые затраты на создание новых образцов космической техники, но и уже на ранних стадиях разработки полностью отработать вопросы совместимости и согласованности программного и технического обеспечения создаваемого образца.

Литература:

1. Карпенко С.О., Овчинников М.Ю. Лабораторный стенд для полунатурной отработки систем ориентации микро- и наноспутников. Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН (http://www.keldysh.ru/papers/2008/prep38/prep2008_38.html)
2. J.L. Schwartz, C. D. Hall. The Distributed Spacecraft Attitude Control System Simulator: Development, Progress Plans, 2003 Flight Mechanics Symposium, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, October 28-30, 2003
3. J. L. Schwartz, C. D. Hall, Comparison of System Identification Techniques for a Spherical Air-Bearing Spacecraft Simulator, 2003 AAS/AIAA Astrodynamics Specialists Conference, Big Sky, Montana, August 2003
4. J.L. Schwartz, C. D. Hall. System Identification of a Spherical Air-Bearing Spacecraft Simulator, 2004 AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Maui, Hawaii, February 2004.
5. J. Prado etc., Three-axis air-bearing based platform for small satellite attitude determination and control simulation, Journal of Applied Research and Technology, Dec. 2005, Vol.3, pp. 222-237.
6. A. Brandt, I. Kossev, Albert Falke etc., Preliminary system simulation environment of the university micro-satellite Flying Laptop. In book: R. Sandau etc. Small Satellites for Earth Observation, 2008, 342 p.
7. P. Tavares, B. Sousa, P. Lima, A simulator of satellite attitude dynamics. Proc. of 3rd Portuguese Conference on Automatic Control, CONTROLO'98, Coimbra, Portugal, 1998.
8. Склярченко Е.Г. Автоматизация тестирования систем управления на примере систем управления роботом (<http://www.masters.donntu.edu.ua/2008/mech/evtushen/library/s8.htm>)

ТРАЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОМ ПО ТАБЛИЧНО ЗАДАНЫМ ПРОГРАММАМ

Батырканов Ж.И. д.т.н., профессор КГТУ им. И.Раззакова
Кадыркулова К.К. соискатель КГТУ им. И.Раззакова

В данной работе предлагается новый подход синтеза законов управления по осуществлению движения объекта по табличным заданным программам.

In this article purpose a new approach to the synthesis of control system for the implementation of the movement of an object on the specified program movements.

Во многих областях науки и техники, таких как, робототехника, лазерные технологии в производстве интегральных схем и других возникает проблема управления движением объекта по предписанным траекториям.

Для синтеза (определения) управляющих законов (алгоритмов) по осуществлению движения объекта по предписанной траектории необходимы, во-первых, математическая модель динамики объекта и во-вторых, математическая модель предписанной траектории движения. Математические модели представляются в однотипных стандартных формах записи. На сегодняшний день разработаны достаточное количество различных методов синтеза, когда предписанная траектория задается в аналитической форме. Но, на практике встречаются множество случаев, когда невозможно предписанную траекторию представить в аналитической форме. В этих случаях единственным выходом является описание предписанной траектории табличным

способом. В данной работе предлагается новый подход синтеза законов управления на основе табличного представления предписанных траекторий движения.

Предлагаемый подход синтеза ориентирован на компьютерный способ реализации синтезированного закона управления.

На данное время есть отдельные подходы, методы решения вышеописанных [1] задач управления. В основном, они приспособлены для решения задач управления, когда предписанные программы движения заданы в строго аналитической форме:

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (1)$$

$$\varphi(x, t) = 0 \quad (2)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - вектор состояния, $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$ - вектор управления, уравнение (1) - уравнение объекта управления; уравнение (2) - уравнение предписанной программы движения.

В тоже время, на практике, во многих случаях аналитическое представление в виде (2) предписанных программ движения очень сложно. В этих случаях, предписанную программу движения представляют в табличной форме. В данной работе ставится и решается следующая задача.

Пусть управляемый объект описывается уравнением:

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (3)$$

требуется синтезировать закон $u(k)$ - ? при котором осуществляется движение объекта (3) управляемой системы по предписанной траектории заданной в табличной форме:

Таблица 1

t_k	t_0	t_1	t_2	...	t_k
\bar{x}_k	\bar{x}_0	\bar{x}_1	\bar{x}_2	...	\bar{x}_{k_0}

где $k=0,1,2,\dots, t_k$ - дискретные моменты времени, \bar{x}_k - значение вектор состояния в моменты t_k .

Представим математическую модель объекта в конечно - разностном виде

$$\bar{x}_{k+1} = \bar{x}_k + f(x_k, u_k, t_k) \Delta t_k \quad (4)$$

где $\Delta t_k = t_{k+1} - t_k$

В дальнейшем для упрощения возьмем $\Delta t_k = \Delta = \text{const}$, тогда

$$\bar{x}_{k-1} = \bar{x}_k + f(x_k, u_k, t_k) \Delta \quad (5)$$

Искомые значения управления $u(k)$ в дискретные моменты времени будем отыскивать, используя (5)

и заданную таблицу. При этом $u(k)$ отыскивается из условия, что значения \bar{x}_{k+1} - берутся из таблицы, а

\bar{x}_k - это фактические значения вектора состояния x к дискретному моменту времени t_k .

Поэтому, искомые управления будем искать путем минимизации квадрата невязки между требуемыми и текущими дискретными значениями состояния.

Метод исследования.

$$\|x_{\text{табл}}(k+1) - x_{\text{текущи}}(k+1)\|^2 \Rightarrow \min_{u(k)} \quad (6)$$

где $x_{\text{табл}}(k+1)$ - табличное значение; $x_{\text{текущи}}(k+1)$ - текущее значение.

Распишем выражение (6) подробно

$$\begin{aligned} & (x_{мабл}(k+1) - x_{мекуц}(k+1), x_{мабл}(k+1) - x_{мекуц}(k+1)) = \\ & (x_{мабл}(k+1) - x(k) - f(x(k), u(k), k)\Delta, x_{мабл}(k+1) - x(k) - f(x(k), u(k), k)\Delta) \Rightarrow \min_{u(k)} \end{aligned}$$

Затем, взяв частную производную по $u(k)$, из этого выражения, найдем необходимое управление

$$\frac{\partial(\cdot)}{\partial u(k)} = 0 \Rightarrow u(k) - ?$$

Распишем эту процедуру для линейного объекта

$$x(k+1) = x(k) + Ax(k) + Bu(k)\Delta \quad \text{или}$$

$$x(k+1) = (A\Delta + E)x(k) + Bu(k)\Delta$$

Подставив конкретные выражения, используя скалярные произведения получим общее выражение квадрата невязки

$$\begin{aligned} & (x_{мабл}(k+1) - x_{мабл}(k+1), x_{мабл}(k+1) - x_{мабл}(k+1)) = \\ & (x_{мабл}^T(k+1) - x^T(k)(A^T\Delta + E) - u^T(k)B^T\Delta, x_{мабл}(k+1) - (A\Delta + E)x(k) + B\Delta u(k)) = \\ & x_{мабл}^T(k+1)x_{мабл}(k+1) - x_{мабл}^T(k+1)(A\Delta + E)x(k) - x_{мабл}^T(k+1)B\Delta u(k) - \\ & - x^T(k)(A^T\Delta + E)x_{мабл}(k+1) + x^T(k)(A^T\Delta + E)(A\Delta + E)x(k) + x^T(k)(A^T\Delta + E)B\Delta u(k) - \\ & - u^T(k)B^T\Delta x_{мабл}(k+1) + u^T(k)B^T\Delta(A\Delta + E)x(k) + u^T(k)B^T\Delta B\Delta u(k) \end{aligned}$$

Возьмем частную производную по $u(k)$

$$\begin{aligned} & -B^T\Delta x_{мабл}(k+1) + B^T(A\Delta + E)\Delta x(k) - B^T\Delta x_{мабл}(k+1) + B^T(A\Delta + E)\Delta x(k) + \\ & + B^TB\Delta^2 u(k) + B^TB\Delta^2 u(k) = 0 \end{aligned}$$

Окончательно, управление определяется в виде:

$$\begin{aligned} u(k) &= -\frac{1}{2\Delta^2} (B^TB)^{-1} [2B^T\Delta x_{мабл}(k+1) - 2B^T(A\Delta + E)\Delta x(k)] = \\ &= -\frac{1}{\Delta^2} (B^TB)^{-1} [B^T\Delta x_{мабл}(k+1) + B^T(A\Delta + E)\Delta x(k)] \end{aligned}$$

где $\Delta=1$; $k=0,1,2,\dots,n$.

В качестве конкретной задачи синтеза, рассмотрим задачу осуществления движения механизма на валу двигателя постоянного тока по предписанной программе движения.

Как известно, уравнение динамики двигателя постоянного тока описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} U_{я} = i_{я} \cdot R_{я} + L_{я} \frac{di_{я}}{dt} + K_e \cdot \omega \\ J \frac{d\omega}{dt} = K_M \cdot i_{я} - M_n \\ \frac{d\varphi}{dt} = K_p \omega \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} \frac{di_{я}}{dt} = -\frac{R_{я}}{L_{я}} i_{я} - \frac{K_e}{L_{я}} \omega + \frac{1}{L_{я}} U_{я} \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{K_M}{J} i_{я} - \frac{1}{J} M_n \\ \frac{d\varphi}{dt} = K_p \omega \end{cases} \quad (9)$$

где K_e , K_M - конструктивные постоянные; M_n - момент нагрузки на валу; J - приведенный к валу момент инерции; $R_{я}$, $L_{я}$ - омическое и индуктивные сопротивления якорной цепи; ω - угловая скорость вала; φ - угловая положение; $i_{я}$ - сила тока в якорной цепи.

Эта система соответствует динамике двигателя постоянного тока при якорном управлении.

Взяв $K_p=1$, а также преобразовав уравнение (9), после преобразований мы получим конечно - разностное уравнение ДПТ.

$$\begin{cases} i_n(k+1) = i_n(k) - \frac{R_n}{L_n} i_n(k) \cdot \Delta t - \frac{K_e}{L_n} \omega(k) \Delta t + \frac{1}{L_n} U_n(k) \cdot \Delta t \\ \omega(k+1) = \omega(k) + \frac{K_m}{J} i_n(k) - \frac{1}{J} M_n \Delta t \\ \varphi(k+1) = \varphi(k) + \omega(k) \Delta t \end{cases} \quad (10)$$

находим из 1-го уравнения (10)

$$i_n(k+1) = i_n(k) - \frac{R_n}{L_n} i_n(k) \cdot \Delta t - \frac{K_e}{L_n} \omega(k) \cdot \Delta t + \frac{1}{L_n} U_n(k) \cdot \Delta t$$

где $\Delta t = 1$

$$i_n(k+1) = i_n(k) - \frac{R_n}{L_n} i_n(k) - \frac{K_e}{L_n} \omega(k) + \frac{1}{L_n} U_n(k)$$

отсюда

$$i_n(1) = i_n(k=0+1) = i_n(0) - \frac{R_n}{L_n} i_n(0) - \frac{K_e}{L_n} \omega(0) + \frac{1}{L_n} U_n(0) = \frac{1}{L_n} U_n(0)$$

$$\text{При } k=0 \Rightarrow U(k=0)$$

при $k=0$ из таблицы находим

$$x(0) = \begin{pmatrix} i_n(k) \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}; x(1) = \begin{pmatrix} i_n(k) \\ 0 \\ -8 \end{pmatrix}; x(2) = \begin{pmatrix} i_n(k) \\ -2 \\ 0 \end{pmatrix}; x(3) = \begin{pmatrix} i_n(k) \\ 0 \\ 8 \end{pmatrix}; x(4) = \begin{pmatrix} i_n(k) \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$i_n(0)$ - не задано но в начале на двигателе нет напряжения поэтому $i_n(0) = 0$. В дальнейшем $i_n(k)$ $k=0,1,2,\dots,n$.

Рассмотрим конкретную предписанную программу движения в виде следующей таблицы (2)

Таблица 2

i_n	k=0	k=1	k=2	k=3	k=4
ω_k	0	-8	0	8	0
φ_k	2	0	-2	0	2

С учетом конкретных числовых значений параметров двигателя

ДПМ25

$$J = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н*м*с}^2; k_m = 0,023 \text{ Н*м*A}^{-1}; R = 3,8 \text{ Ом}; L = 0,0057 \text{ Гн}; k_w = 0,098 \text{ в*с*рад}^{-1}.$$

Значены для закона управления (8) следующие значения управления в заданные дискретные моменты времени:

$k=1, k=2, k=3, k=4$ в виде

$$K_p = 1 \quad \Delta = 1$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{R_n}{L_n} & -\frac{K_e}{L_n} & 0 \\ \frac{K_m}{J} & 0 & 0 \\ 0 & K_p & 0 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{1}{L_n} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Определим управление $U(0)$, т.е. значение управляющего вектора в момент $k=0$, при начальном положении:

$$U_0 = \frac{-1}{1^2} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right]^{-1} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -7 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -666.7 & -17.1 & 0 \\ 3.71 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot 1 + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$U_0 = (-5.701 \times 10^{-3})$$

$$ix_1 = 0 - \frac{3.8}{0.0057} \cdot 0 - \frac{0.098}{0.0057} \cdot 0 + \frac{1}{0.0057} (-5.701 \times 10^{-3})$$

При $k=1$ имеем:

$$U_1 = \frac{-1}{1^2} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right]^{-1} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -666.7 & -17.1 & 0 \\ 3.71 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot 1 + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} -1 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$U_1 = (-4.575)$$

$$ix_2 = (-1) - \frac{3.8}{0.0057} (-1) - \frac{0.098}{0.0057} \cdot -8 + \frac{1}{0.0057} (-4.575)$$

$$ix_2 = (0.579)$$

При $k=2$ имеем:

$$U_2 = \frac{-1}{1^2} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right]^{-1} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1.579 \\ 9 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -666.7 & -17.1 & 0 \\ 3.71 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot 1 + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} 0.579 \\ 0 \\ -2 \end{pmatrix}$$

$$U_2 = (2.188)$$

$$ix_3 = 0.579 - \frac{3.8}{0.0057} \cdot 0.579 - \frac{0.098}{0.0057} \cdot 0 + \frac{1}{0.0057} \cdot 2.188$$

$$ix_3 = -1.561$$

При $k=3$ имеем:

$$U_3 = \frac{-1}{1^2} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right]^{-1} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -0.561 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -666.7 & -17.1 & 0 \\ 3.71 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot 1 + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$U_3 = (-5.141)$$

$$ix_4 = (-1.561) - \frac{3.8}{0.0057} (-1.561) - \frac{0.098}{0.0057} \cdot 8 + \frac{1}{0.0057} (-5.141)$$

$$ix_4 = (-0.368)$$

При $k=4$ имеем:

$$U_4 = \frac{-1}{1^2} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right]^{-1} \left[\begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.632 \\ -7 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 175.4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -666.7 & -17.1 & 0 \\ 3.71 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot 1 + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} -0.368 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$U_4 = (-1.4)$$

$$ix_5 = (-0.368) - \frac{3.8}{0.0057} (-0.368) - \frac{0.098}{0.0057} \cdot 0 + \frac{1}{0.0057} (-1.4)$$

$$ix_5 = (-0.649)$$

$$x(0) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}; x(1) = \begin{pmatrix} -1 \\ -8 \\ 0 \end{pmatrix}; x(2) = \begin{pmatrix} 0.579 \\ 0 \\ -2 \end{pmatrix}; x(3) = \begin{pmatrix} -1.561 \\ 8 \\ 0 \end{pmatrix}; x(4) = \begin{pmatrix} -0.368 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Таким образом, мы получили конкретные выражения функции управления для двигателя в заданных дискретных моменты времени.

Предлагаемый подход дает возможность синтеза физически реализуемого закона управления, по которому двигатель предписанной программе движения.

Литература

1. Шарденалиев Ж.Ш., Батырканов Ж.И. Синтез систем управления заданными показателями качества. Мехатроника, 1991-194 с.