

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

УДК 62-589.23

doi: 10.21685/2307-5538-2025-3-1

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МНОГОКООРДИНАТНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ

М. В. Мостовской¹, В. В. Слепцов², С. М. Лемешенко³

^{1,2,3} МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

¹mvmost@yandex.ru, ²vsleptsov@gmail.ru, ³lemele1999@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность цели.* Описано актуальное направление развития отечественного станкостроения – разработка и внедрение многокоординатных обрабатывающих центров. Приведены основные направления совершенствования многокоординатных обрабатывающих центров за счет информационно-измерительных и управляющих систем. Доказана необходимость применения имитационного компьютерного моделирования при проектировании каналов управления информационно-измерительных и управляющих систем многокоординатных обрабатывающих центров. *Материалы и методы.* Разработана имитационная модель следящего электропривода (канала управления положением) на базе двигателя постоянного тока, включающая в себя исполнительный механизм типа шарико-винтовая передача. Разработанная модель выполнена с применением библиотеки Simscape Mechanical. *Результаты и выводы.* Представлены результаты исследования, доказывающие работоспособность разработанных моделей и возможность их применения при проектировании каналов управления информационно-измерительных и управляющих систем многокоординатных обрабатывающих центров. Полученные результаты удовлетворяют требованиям, предъявляемым к металлорежущему оборудованию.

Ключевые слова: следящий электропривод, регулятор положения, имитационная модель, шарико-винтовая передача, дрейф линейного перемещения

Для цитирования: Мостовской М. В., Слепцов В. В., Лемешенко С. М. Имитационная модель следящего электропривода многокоординатных обрабатывающих центров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2025. № 3. С. 5–15. doi: 10.21685/2307-5538-2025-3-1

SIMULATION MODEL OF A TRACKING ELECTRIC DRIVE FOR MULTI-COORDINATE MACHINING CENTERS

M.V. Mostovskoy¹, V.V. Sleptsov², S.M. Lemeshchenko³

^{1,2,3} MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

¹mvmost@yandex.ru, ²vsleptsov@gmail.ru, ³lemele1999@yandex.ru

Abstract. *Background.* The article describes the current direction of development of the domestic machine tool industry – the development and implementation of multi-coordinate machining centers. The main directions of improving multi-coordinate machining centers due to information-measuring and control systems are given. The necessity of using computer simulation modeling in designing control channels of information-measuring and control systems of multi-coordinate machining centers is proved. *Materials and methods.* A simulation model of a servo electric drive (position

control channel) based on a DC motor has been developed, including an actuator of the ball screw type. The developed model is made using the Simscape Mechanical library. *Results and conclusions.* The article presents the results of the study proving the operability of the developed models and the possibility of their application in designing control channels of information-measuring and control systems of multi-coordinate machining centers. The obtained results meet the requirements for metal-cutting equipment.

Keywords: servo drive, position controller, simulation model, ball screw transmission, linear motion drift

For citation: Mostovskoy M.V., Sleptsov V.V., Lemeschenko S.M. Simulation model of a tracking electric drive for multi-coordinate machining centers. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2025;(3):5–15. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2025-3-1

Введение

Актуальным направлением развития отечественного и зарубежного станкостроения было и остается разработка, производство и совершенствование технологических машин [1].

Массовое производство деталей специального назначения, таких как лопатки двигателей самолетов, подшипники качения, элементы механических передач, корпуса оптических приборов и другое невозможно представить без использования многокоординатных обрабатывающих центров (МОЦ) и координатных измерительных машин (КИМ). Внедрение подобного рода оборудования в производственные процессы стало общемировым трендом, целью которого является повышение производительности в металлообработке и обеспечение высокого качества конечной продукции [2, 3].

Основной специфической особенностью данных технологических машин является проведение всех типов операций, необходимых для получения готового изделия. К таким операциям относятся: точение, фрезерование, сверление, лазерная обработка всех типов, шлифовка (черновая и чистовая) и др.

Обрабатывающие центры классифицируются по следующим признакам:

- количеству управляемых координат (осей). Большинство металлообрабатывающих станков имеют 3-координатную систему (X , Y , Z) перемещения рабочего инструмента. Современные МОЦ имеют от 4 до 6 координат. Увеличение количества управляемых координат позволяет обрабатывать детали сложной формы и увеличить производительность за счет устранения необходимости в дополнительной обработке;

- расположению шпинделя относительно обрабатываемой детали. Вертикальное расположение шпинделя часто применяется в деревообрабатывающих станках (фрезерная обработка) и лазерных обрабатывающих центрах со сканированием сфокусированного лазерного пятна (в качестве шпинделя используется оптическая система). Подобная компоновка включает в себя от 24 до 30 позиций рабочего инструмента.

В случае горизонтального расположения шпинделя рабочий инструмент перемещается вдоль обрабатываемого изделия. Подобная компоновка применяется для обработки крупных металлических изделий и корпусных деталей. Компоновка имеет от 30 и более позиций рабочего инструмента.

- наличию или отсутствию систем автоматической смены инструмента, контроля и управления режущей кромки, подачи охлаждающих газов или жидкостей и др.;

- количеству рабочих столов. Существуют обрабатывающие центры с одним, двумя и несколькими рабочими столами;

- точности обработки и компоновки контура управления положением. Существуют прецизионные и сверхпрецизионные обрабатывающие центры. Точность обработки зависит от погрешности датчика положения и постоянства его метрологических характеристик, настройки регулятора положения (отсутствие перерегулирования) и качества исполнения механических преобразователей движения (редукторов, передач, сцеплений и др.).

В процессе проектирования и настройки информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) МОЦ разработчики прибегают к синтезу регуляторов и оценке технических характеристик следящих электроприводов с помощью специализированных алгоритмов, основанных на исследовании имитационных компьютерных моделей.

Для решения задачи проектирования элементов следящего электропривода разработано большое количество прикладных компьютерных пакетов, таких как Multisim, OrCAD, TCAD и др. В настоящее время наиболее удобным инструментом для моделирования сложных систем является MATLAB Simulink.

Структурная схема ИИУС МОЦ

На основании проведенного авторами анализа существующих отечественных и зарубежных МОЦ составим общую структурную схему ИИУС (для 3-координатных МОЦ), отражающую взаимосвязи элементов верхнего, среднего и нижнего уровня (рис. 1).

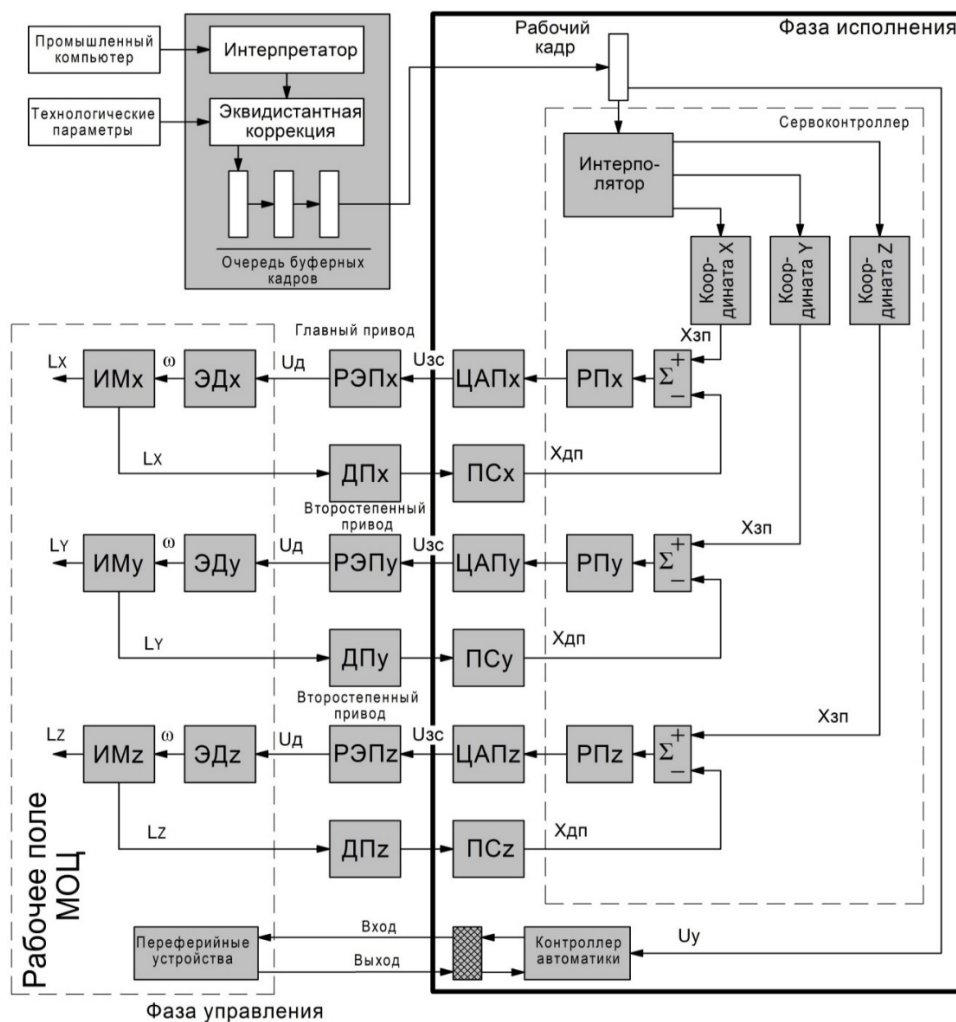


Рис. 1. Структурная схема ИИУС МОЦ

На рис. 1 приняты следующие обозначения: РПх, РПу, РПz – регуляторы положения координат X, Y, Z; ЦАПх, ЦАПу, ЦАПz – цифроаналоговые преобразователи для координат X, Y, Z; ПСх, ПСу, ПСz – преобразователи сигналов датчиков положения координат X, Y, Z; ДПх, ДПу, ДПz – датчики положения для координат X, Y, Z; РЭПх, РЭПу, РЭПz – регулируемый электропривод для координат X, Y, Z; ЭДх, ЭДу, ЭДz – электродвигатели координат X, Y, Z; ИМх, ИМу, ИМz – исполнительные механизмы координат X, Y, Z; $x_{зп}$ – сигнал задания положения; $x_{дп}$ – выходной сигнал датчика положения; $U_{зп}$ – сигнал задания скорости; $U_{д}$ – напряжение управления электродвигателем; ω – скорость вращения электродвигателя; U_y – набор управляющих сигналов для периферийных устройств; L_x, L_y, L_z – перемещение рабочего инструмента в пределах координат X, Y, Z.

ИИУС МОЦ (рис. 1) работает следующим образом. Согласно программе (язык G) обработки детали, составленной оператором, формируются рабочие кадры, которые последовательно обрабатываются интерполятором. Интерполятор задает последовательность управляющих воздействий $x_{зп}$ для перемещения рабочего инструмента (органа) в соответствии с траекторией обрабатываемой детали. Для формирования сигнала управления скоростью перемещения рабочего инструмента в систему вводятся регуляторы положения РПх, РПу, РПz, выполненные программно. Регуляторы положения РПх, РПу, РПz преобразуют значения, полученные с датчиков положения $x_{дп}$, сравнивают их с сигналами задания $x_{зп}$ и вычисляют управляющий сигнал задания скорости для РЭПх, РЭПу, РЭПz. Сигнал задания скорости представляет собой

напряжение, меняющееся во времени согласно управляющей программе (ГОСТ 27803–91). Для формирования сигналов задания в каждый управляющий канал внедрен цифроаналоговый преобразователь (ЦАПх, ЦАПу, ЦАПz).

Далее аналоговый сигнал задания скорости перемещения рабочего инструмента поступает на вход информационного канала электропривода. Данный информационный канал предназначен для управления параметрами электропривода (ток в обмотках электродвигателя, момент электродвигателя, скорость перемещения и др.) в соответствии с требованиями технологического процесса. Электропривод состоит из электродвигателя (ЭДх, ЭДу, ЭДz), передаточного (ИМх, ИМу, ИМz), преобразовательного и информационно-управляющего устройства (ГОСТ 50369–92). Также в состав электропривода входят датчики обратной связи.

РЭПх, РЭПу, РЭПz, входящие в состав ИИУС МОЦ, обеспечивают выполнение следующих технических функций:

- установка требуемой скорости (перемещения или вращения) в пределах заданного диапазона;
- стабилизация установившегося значения скорости с заданной точностью при возмущающих воздействиях, например, изменения внешнего момента на валу электродвигателя;
- регулирование момента и скорости, развиваемых электрическим двигателем для формирования требуемого характера изменения скорости и ускорения.

Преобразовательные устройства (силовой преобразователь) применяются для целенаправленного и экономичного изменения параметров движения электропривода (скорость, момент и др.) Данные устройства представляют собой преобразователь, выполненный на силовых полупроводниковых приборах (тиристоры, транзисторы, запираемые тиристоры, управляемые реле и др.) Информационно-управляющее устройство состоит из блоков обработки информации, преобразования сигналов и защиты. Данное устройство формирует сигналы управления преобразовательным устройством, обрабатывает информацию с датчиков обратной связи (ток, напряжение, скорость и др.), а также проводит диагностику системы. Информационно-управляющее устройство может быть выполнено на аналоговой, комбинированной и цифровой элементной базе.

В качестве исполнительных механизмов МОЦ часто используются ротационные электродвигатели совместно с шарико-винтовой передачей (ШВП) или линейные электрические двигатели.

Для выполнения преобразования вращательного движения электродвигателя в поступательное большинство МОЦ, выполняющие токарные, фрезерные, шлифовальные и комбинированные технологические работы, оснащены ШВП.

Разработка имитационной модели следящего электропривода

Согласно анализу структурной схемы (рис. 1) и научной литературы [4–6] составим имитационную модель следящего электропривода, входящего в состав ИИУС МОЦ для одной координаты. Имитационная модель следящего электропривода, выполненная в программном пакете MATLAB Simulink, представлена на рис. 2.

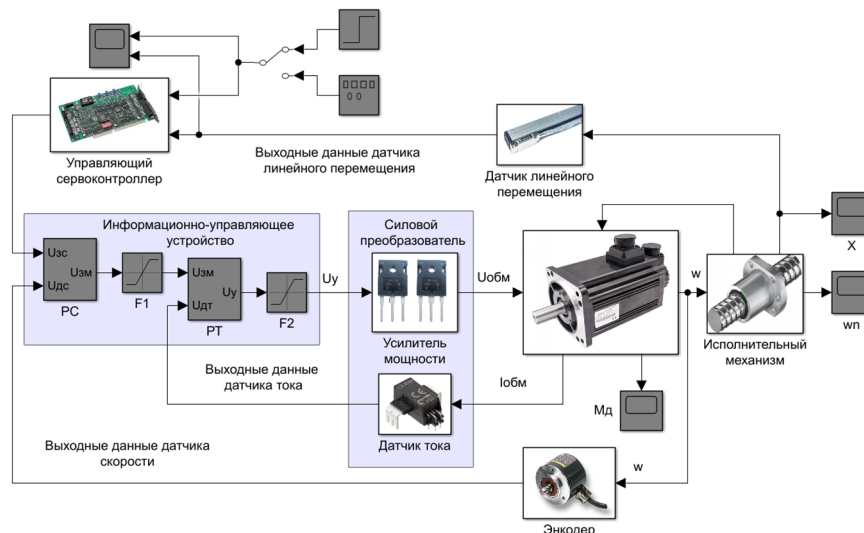


Рис. 2. Имитационная модель следящего электропривода MATLAB Simulink

Основой привода главного движения МОЦ являются электродвигатели постоянного и переменного тока. В данной статье авторами приводится простейшая имитационная модель следящего электропривода на основе двигателя постоянного тока (ДПТ). Математическая модель ДПТ представляет собой систему дифференциальных уравнений вида [7]

$$\begin{cases} \frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{L_{обм}} [u_{обм}(t) - R_{обм}i(t) - k_v\omega(t)]; \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{J} [k_M i(t) - M_c(t) - M_T], \end{cases} \quad (1)$$

где $R_{обм}$, $L_{обм}$ – сопротивление и индуктивность обмотки; $u_{обм}(t)$ – напряжение на обмотке; $i(t)$ – ток в якорной цепи; k_M , k_v – коэффициент передачи ЭДС и момента электродвигателя; $\omega(t)$ – угловая скорость вращения ротора; J – приведенный к валу момент инерции; M_c – момент сопротивления нагрузки; M_T – момент трения.

Реализация имитационной модели объекта управления, выполненная на основе системы дифференциальных уравнений (1), представлена на рис. 3.

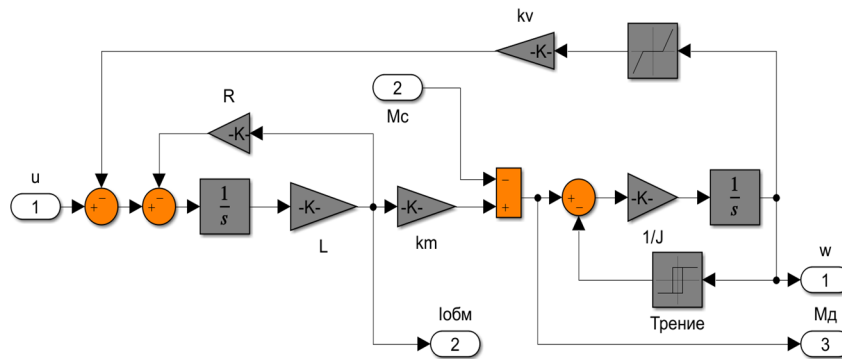


Рис. 3. Имитационная модель объекта управления MATLAB Simulink

Для описания работы полупроводниковых приборов (транзисторов и тиристор), входящих в состав усилителя мощности, а также широтно-импульсного модулятора и логической схемой формирования управляющих сигналов, применяется апериодическое звено первого порядка, дифференциальное уравнение которого имеет вид

$$\frac{du_{обм}(t)}{dt} = \frac{1}{T_{ум}} [k_{ум}u_Y(t) - u_{обм}(t)], \quad (2)$$

где $T_{ум}$ – постоянная времени усилителя мощности; $k_{ум}$ – коэффициент передачи усилителя мощности; $u_Y(t)$ – сигнал управления напряжением на обмотке электродвигателя.

Согласно теории подчиненного регулирования основными элементами информационно-управляющего устройства являются регуляторы тока и скорости, настроенные согласно условиям технического и симметричного оптимума соответственно [6].

Далее составим общую математическую модель регулируемого электропривода (система уравнений) при нулевых начальных условиях:

$$\begin{cases} \omega(s) = [k_M I(s) - M_c(s)] \frac{1}{Js}; \\ I(s) = [U_{обм}(s) - k_v \omega(s)] \frac{1/R_{обм}}{1 + L_{обм}s}; \\ U_{обм}(s) = [k_{ум} U_Y(s) - U_{обм}(s)] \frac{1}{T_{ум}s}; \\ U_Y(s) = [U_{3М}(s) - k_{ДТ} I(s)] W_{ПТ}(s); W_{ПТ}(s) = k_{ПТ}; \\ U_{3М}(s) = [U_{3С}(s) - k_{ДС} \omega(s)] W_{РС}(s); W_{РС}(s) = k_{РС} \frac{T_{РС1}s + 1}{T_{РС2}s + 1}, \end{cases} \quad (3)$$

В табл.1 приведены параметры имитационных моделей электродвигателя (см. рис. 3) и исполнительного механизма (рис. 4), полученные при анализе технической документации и теоретических вычислений.

Таблица 1

Параметры модели

Наименование параметра модели	Значение	Единицы измерения
Индуктивность обмотки	1	мГн
Сопротивление обмотки	1,2	Ом
Коэффициент передачи по моменту	0,23	Н·м/А
Коэффициент передачи по ЭДС	0,29	В·с/рад
Приведенный к валу момент инерции	0,00005	кг·м ²
Передаточное число редуктора	1	–
Ход винта	2	мм/рад
Сила трения Кулона	20	Н
Жесткость механической передачи	10	Н/мм
Момент инерции винта	0,00002	кг·м ²
Масса, закрепленная на ШВП	35	кг
Коэффициент демпфирования	300	Н·с/м ²

Далее проведем исследование разработанной имитационной модели следящего электропривода (см. рис. 2).

Анализ результатов моделирования

Рассмотрим динамику процессов, происходящих в имитационной модели следящего электропривода (положение, скорость электродвигателя, ток в обмотке электродвигателя, скорость перемещения массы) со следующими параметрами: $K_{ДП} = 10\,000$ диск./м; $K_{РП} = 0,025$ В/диск.

На рис. 5–8 представлены результаты моделирования системы при входных значениях перемещения (задание перемещения): 100, 1000, 5000, 10 000 диск.

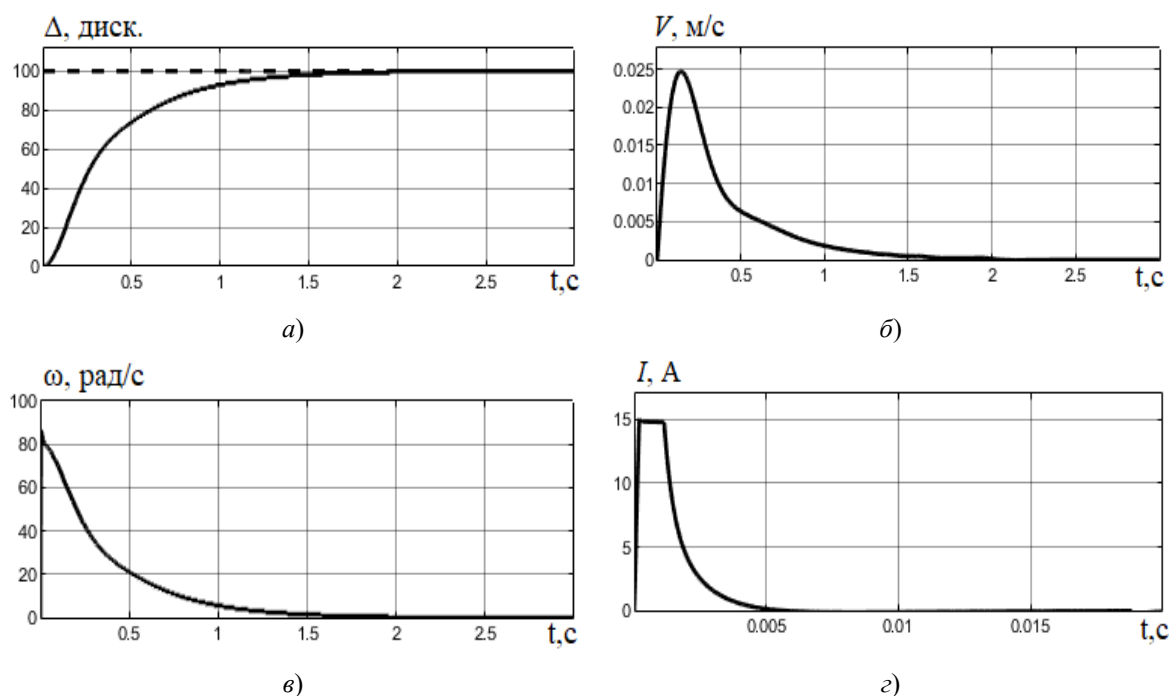


Рис. 5. Результаты моделирования системы при входном значении задания положения 100 диск.:

a – выходной сигнал датчика положения; $б$ – скорость перемещения массы;
 $в$ – скорость вращения электродвигателя; $з$ – ток в обмотке электродвигателя

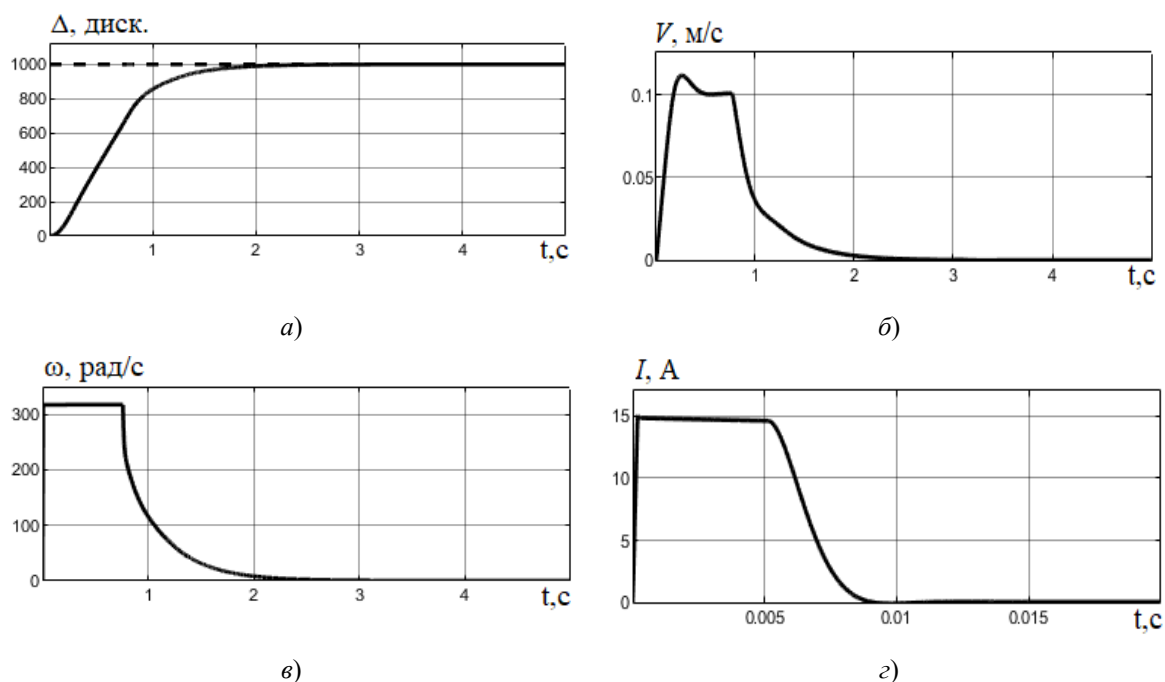


Рис. 6. Результаты моделирования системы при входном значении задания положения 1000 диск.:

а – выходной сигнал датчика положения; б – скорость перемещения массы; в – скорость вращения электродвигателя; г – ток в обмотке электродвигателя

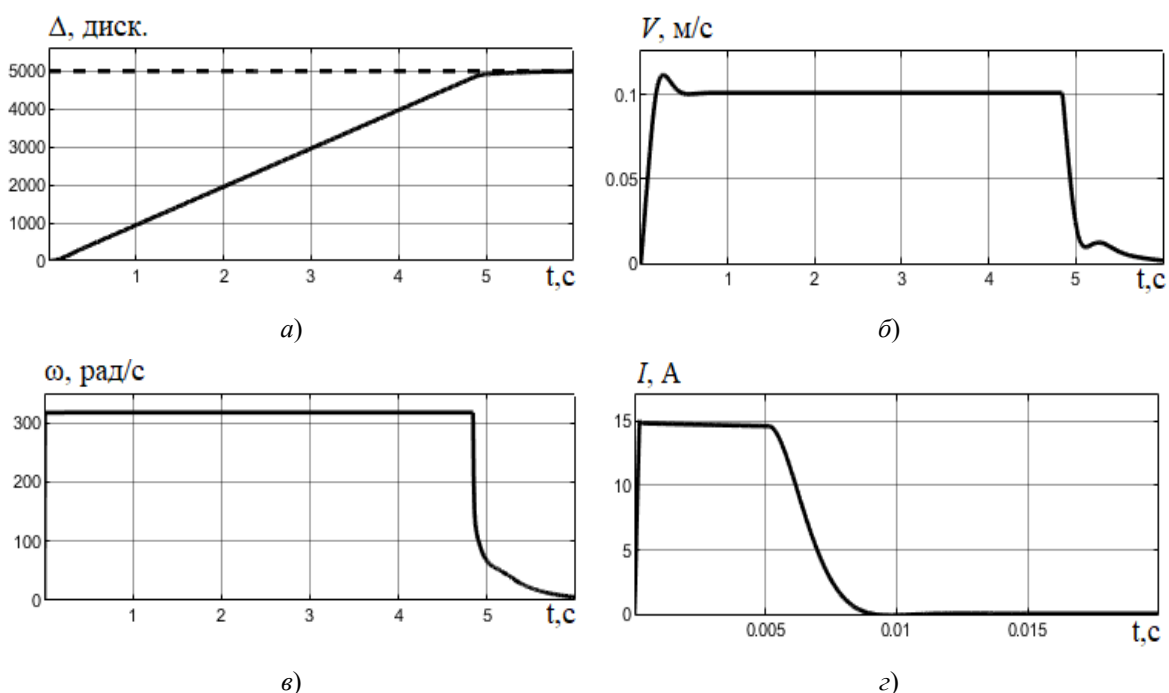


Рис. 7. Результаты моделирования системы при входном значении задания положения 5000 диск.:

а – выходной сигнал датчика положения; б – скорость перемещения массы; в – скорость вращения электродвигателя; г – ток в обмотке электродвигателя

Проанализировав полученные результаты моделирования (рис. 5–8), можно сделать вывод, что разработанные модели исполнительного механизма и регулируемого электропривода работоспособны и могут быть использованы при настройке каналов управления координатой МОЦ. Выходной сигнал датчика положения демонстрирует правильность настройки регулятора исходя из отсутствия перерегулирования (ГОСТ 27803–91), а суммарное значение дрейфа линейного перемещения не превышает ± 2 диск.

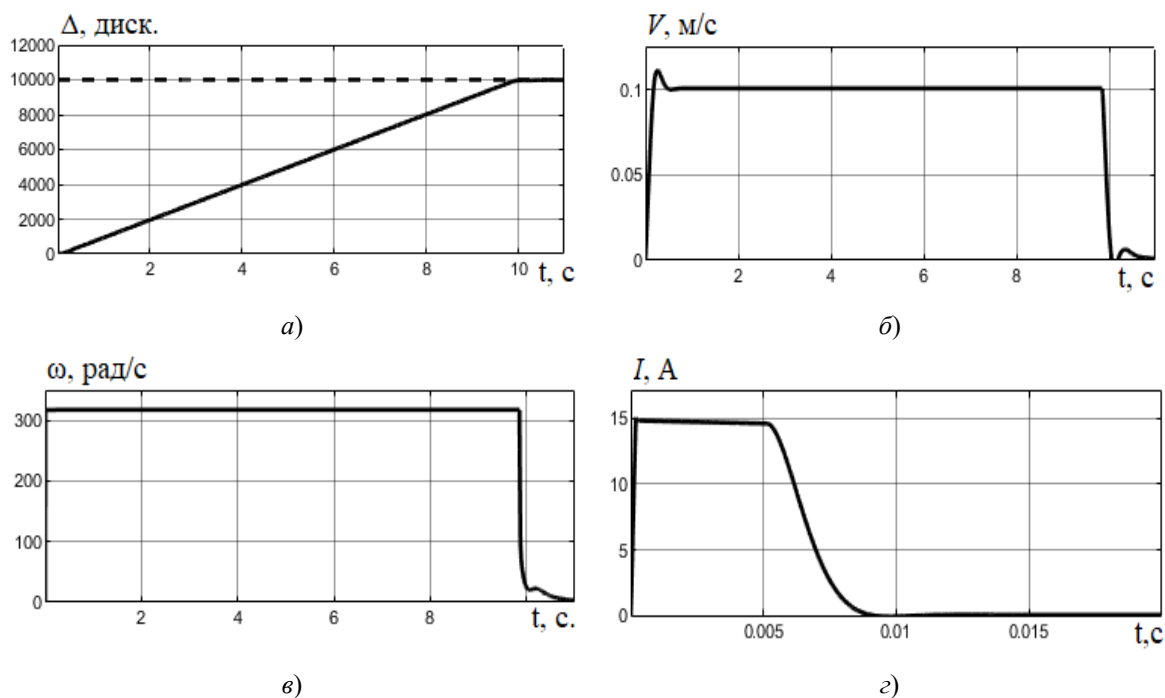


Рис. 8. Результаты моделирования системы при входном значении задания положения 10 000 диск.:

а – выходной сигнал датчика положения; *б* – скорость перемещения массы; *в* – скорость вращения электродвигателя; *г* – ток в обмотке электродвигателя

Заключение

На основании результатов, полученных авторами в данной статье, можно сделать следующие выводы:

- использование имитационных моделей является неотъемлемой частью научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных с проектированием МОЦ всех типов;
- важным направлением совершенствования ИИУС МОЦ является разработка следящих электроприводов;
- рассмотрена обобщенная структурная схема ИИУС МОЦ (см. рис. 1) и приведены математическая и имитационная модели следящего электропривода на базе ДПТ (см. рис. 3);
- разработана имитационная модель исполнительного механизма МОЦ типа ШВП в программном пакете MATLAB Simulink и библиотеки Simscape Mechanical (см. рис. 4);
- полученные результаты моделирования (см. рис. 5–8) не противоречат требованиям, предъявляемым к следящим электроприводам, входящим в состав ИИУС МОЦ (ГОСТ 27803–91).

Полученные авторами результаты и модели могут быть использованы инженерами и научными работниками при проектировании ИИУС МОЦ и другого технологического оборудования, в состав которого входят системы взаимосвязанных следящих электроприводов (координатные системы, роботы манипуляторы и др.).

Список литературы

1. Макаров В. Ф., Песин М. В., Норин А. О. Особенности применения многокоординатных шлифовальных станков с ЧПУ для повышения производительности, качества и точности обработки деталей и узлов авиационных газотурбинных двигателей // Транспортное машиностроение. 2023. № 2. С. 19–26. doi: 10.30987/2782-5957-2023-2-19-26
2. Босинзон М. А. Современные системы с ЧПУ и их эксплуатация : учеб. пособие / под ред. Б. И. Черпакова. 4-е изд., стер. М. : Изд. центр «Академия», 2010. 192 с.
3. Мостовской М. В. Регулируемый электропривод для лазерных технологических установок: оценка метрологических характеристик методом схематехнического моделирования // Измерительная техника. 2022. № 2. С. 8–13. doi: 10.32446/0368-1025it.2022-2-8-13
4. Гусев Н. В. Системы цифрового управления многокоординатными следящими электроприводами : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. 213 с.

5. Аксенов М. И. Моделирование электропривода : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2021. 135 с.
6. Слепцов В. В., Мостовской М. В. Методика оценки метрологических характеристик регулируемого электропривода методом схематехнического моделирования // Законодательная и прикладная метрология. 2021. № 1 (6). С. 22–26.
7. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0 : учеб. пособие. СПб. : Корона Принт, 2017. 320 с.
8. Мостовской М. В., Слепцов В. В., Орлов В. П., Артемова С. В. Теоретическая оценка метрологических характеристик информационно-измерительных и управляющих систем электропривода // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1. С. 5–16.
9. Слепцов В. В., Лукашкин В. Г., Гарипов В. К. [и др.]. Информационно-измерительные и управляющие системы лазерных технологических установок. Концепция проектирования. М. : МГУПИ, 2011. 104 с.

References

1. Makarov V.F., Pesin M.V., Norin A.O. Features of the use of multi-axis CNC grinding machines to improve productivity, quality and accuracy of machining parts and assemblies of aviation gas turbine engines. *Transportnoe mashinostroenie = Transport engineering*. 2023;(2):19–26. (In Russ.). doi: 10.30987/2782-5957-2023-2-19-26
2. Bosinzon M.A. *Sovremennye sistemy s ChPU i ikh ekspluatatsiya: ucheb. posobie = Modern CNC systems and their operation: textbook*. 4th edition, stereotyped. Moscow: Izd. tsentr «Akademiya», 2010:192. (In Russ.)
3. Mostovskoy M.V. Adjustable electric drive for laser technological installations: assessment of metrological characteristics by the method of circuit modeling. *Izmeritel'naya tekhnika = Measuring equipment*. 2022;(2): 8–13. (In Russ.). doi: 10.32446/0368-1025it.2022-2-8-13
4. Gusev N.V. *Sistemy tsifrovogo upravleniya mnogokoordinatnymi sledyashchimi elektroprivodami: ucheb. posobie = Digital control systems for multi-coordinate tracking electric drives: textbook*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhn. un-ta, 2010:213. (In Russ.)
5. Aksenov M.I. *Modelirovanie elektroprivoda: ucheb. posobie = Modeling of an electric drive: textbook*. Moscow: INFRA-M, 2021:135. (In Russ.)
6. Sleptsov V.V., Mostovskoy M.V. Methodology for assessing the metrological characteristics of an adjustable electric drive by the method of circuit modeling. *Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya = Legislative and applied metrology*. 2021;(1):22–26. (In Russ.)
7. German-Galkin S.G. *Komp'yuternoe modelirovanie poluprovodnikovyykh sistem v Matlab 6.0: ucheb. posobie = Computer modeling of semiconductor systems in Matlab 6.0: textbook*. Saint-Petersburg: Korona Print, 2017:320. (In Russ.)
8. Mostovskoy M.V., Sleptsov V.V., Orlov V.P., Artemova S.V. Theoretical assessment of the metrological characteristics of information-measuring and control systems of an electric drive. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2023;(1):5–16. (In Russ.)
9. Sleptsov V.V., Lukashkin V.G., Garipov V.K. [et al.]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy lazernykh tekhnologicheskikh ustanovok. Kontseptsiya proektirovaniya = Information-measuring and control systems of laser technological installations. Design concept*. Moscow: MGUPI, 2011:104. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Владимирович Мостовской

старший преподаватель кафедры приборов
и информационно-измерительных систем,
МИРЭА – Российский технологический университет
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)
E-mail: mvmost@yandex.ru

Mikhail V. Mostovskoy

Lecturer of the sub-department of instruments
and information and measurement systems,
MIREA – Russian Technological University
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

Владимир Владимирович Слепцов

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры приборов
и информационно-измерительных систем,
МИРЭА – Российский технологический университет
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)
E-mail: vsleptsov@gmail.com

Vladimir V. Sleptsov

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department of instruments
and information and measurement systems,
MIREA – Russian Technological University
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

Семен Михайлович Лемешенко

аспирант,

МИРЭА – Российский технологический университет
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)

E-mail: lemele1999@yandex.ru

Semen M. Lemeshchenko

Postgraduate student,

MIREA – Russian Technological University
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 10.03.2025

Поступила после рецензирования/Revised 07.04.2025

Принята к публикации/Accepted 12.05.2025