

[Предложить статью](#)

## Разделы

[Биологические науки](#)  
[Исторические науки](#)  
[Культурология](#)  
[Медицинские науки](#)  
[Науки о Земле](#)  
[Педагогические науки](#)  
[Политические науки](#)  
[Психологические науки](#)  
[Сельскохозяйственные науки](#)  
[Социологические науки](#)  
[Технические науки](#)  
[Физико-математические науки](#)  
[Филологические науки](#)  
[Философские науки](#)  
[Химические науки](#)  
[Экономические науки](#)  
[Юридические науки](#)

## Общая информация

[О журнале](#)  
[Правила публикации](#)  
[Все авторы журнала](#)  
[Список статей](#)  
[Новости](#)  
[Уроки](#)  
[Ключевые слова](#)  
[Счётчик статей](#)  
[Редакция](#)  
[Часто задаваемые вопросы](#)  
[Контакты](#)

## Правовая информация

Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС 77 – 52910 от 20 февраля 2013 года выдано Роскомнадзором

ISSN 2311-2468 (Online)

«Огарёв-online» в РИНЦ

## Последние новости

09.11.2015 10:26

Наше издание вошло в научную электронную библиотеку КиберЛенинка

Уважаемые коллеги, полнотекстовая версия Электронного периодического издания для студентов и аспирантов «Огарёв-online» включена в научную электронную библиотеку КиберЛенинка. КиберЛенинка — это ... [Прочность целиком](#)

## Синтез алгоритмов управления шаговыми приводами 3D-принтера по осуществлению предписанных движений

Опубликовано 13.09.2017 в 17:23

Автор: Батырканов Жениш Исакунович, Белялов Шайбек Асланбекович, Кадыркулова Кыял Кулайбердиевна

Предмет: Элементная база, аппаратные и программные средства технических систем

Ключевые слова: 3D-принтер, драйвер, единичный шаг, предписанная пространственная траектория, управление движением, число фаз, шаговый двигатель, шаговый привод

Выпуск: Элементная база, аппаратные и программные средства технических систем - Выпуск 15

УДК: 681.171.074:004.356.2

Предложена оригинальная математическая модель шагового привода как объекта управления, на основе которой определяется алгоритм управления шаговым двигателем. Рассмотрены вопросы технической реализации синтезированных алгоритмов управлений, приведена структурно-функциональная схема для рассматриваемых функциональных элементов. Также рассматриваются вопросы погрешности позиционирования шагового двигателя и выбора его угловой скорости.

## SYNTHESIS OF CONTROL ALGORITHMS FOR 3D-PRINTER STEP DRIVES FOR IMPLEMENTATION OF PRESCRIBED MOVEMENTS

The paper presents an original mathematical model of the step drive as a control object. Based on this model, the control algorithm for the stepper motor is determined. The issues of technical implementation of the synthesized algorithms are considered. The structural-functional scheme for the considered functional elements is provided. The authors also deal with the error positioning of the stepper motor and the choice of its angular velocity.

Скачать полную версию статьи в формате PDF

## Библиографический список

**Выходные данные статьи:** Батырканов Ж. И., Белялов Ш. А., Кадыркулова К. К. Синтез алгоритмов управления шаговыми приводами 3D-принтера по осуществлению предписанных движений [Электронный ресурс] // Огарёв-online. – 2017. – №15. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/sintez-algoritmov-upravleniya-shagovymi-privodami-3d-printera-po-osushhestvleniyu-predpisannyx-dvizhenij>

← Предыдущая статья на сайте

Следующая статья на сайте →

Распечатана на сайте Журнал

18.04.19

10.06.2015 02:21

[Информационный семинар  
на архитектурно-  
строительном факультете](#)

4 июня 2015 года на кафедре строительных конструкций архитектурно-строительного факультета Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва был проведен информационный семинар

[Прочитать целиком](#)

25.04.2015 11:18

[Информационный семинар  
на юридическом факультете](#)

23 апреля 2015 года на Юридическом факультете Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва проведен информационный семинар по написанию научной статьи в ...

[Прочитать целиком](#)

## Архив номеров

---

[Февраль 2019](#)

[Декабрь 2018](#)

[Август 2018](#)

[Июль 2018](#)

[Июнь 2018](#)

[Май 2018](#)

[Апрель 2018](#)

[Март 2018](#)

[Февраль 2018](#)

[Январь 2018](#)

[Декабрь 2017](#)

[Ноябрь 2017](#)

[Октябрь 2017](#)

[Сентябрь 2017](#)

[Август 2017](#)

[Июль 2017](#)

[Июнь 2017](#)

[Май 2017](#)

[Апрель 2017](#)

[Март 2017](#)

[Февраль 2017](#)

[Январь 2017](#)

[Декабрь 2016](#)

[Ноябрь 2016](#)

[Октябрь 2016](#)

[Сентябрь 2016](#)

[Август 2016](#)

[Июль 2016](#)

[Июнь 2016](#)

[Май 2016](#)

[Апрель 2016](#)

[Март 2016](#)

[Февраль 2016](#)

[Январь 2016](#)

[Ноябрь 2015](#)

[Октябрь 2015](#)

[Июль 2015](#)

[Июнь 2015](#)

[Май 2015](#)

[Апрель 2015](#)

[Март 2015](#)

[Февраль 2015](#)

- [Январь 2015](#)
- [Декабрь 2014](#)
- [Ноябрь 2014](#)
- [Октябрь 2014](#)
- [Сентябрь 2014](#)
- [Август 2014](#)
- [Июль 2014](#)
- [Июнь 2014](#)
- [Май 2014](#)
- [Апрель 2014](#)
- [Март 2014](#)
- [Февраль 2014](#)
- [Январь 2014](#)
- [Декабрь 2013](#)
- [Ноябрь 2013](#)
- [Октябрь 2013](#)
- [Сентябрь 2013](#)
- [Август 2013](#)
- [Июль 2013](#)
- [Июнь 2013](#)
- [Май 2013](#)

RSS-подписка

- [Выпуски](#)
- [Статьи](#)
- [Новости](#)



481 members



Follow on VK



[Прочсть целиком ...](#)

25.04.2015 11:18

[Информационный семинар на юридическом факультете](#)

23 апреля 2015 года на Юридическом факультете Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва проведен информационный семинар по написанию научной статьи в ... [Прочсть целиком ...](#)

## Архив номеров

[Февраль 2019](#)

[Декабрь 2018](#)

[Август 2018](#)

[Июль 2018](#)

[Июнь 2018](#)

[Май 2018](#)

[Апрель 2018](#)

[Март 2018](#)

[Февраль 2018](#)

[Январь 2018](#)

[Декабрь 2017](#)

[Ноябрь 2017](#)

[Октябрь 2017](#)

[Сентябрь 2017](#)

[Август 2017](#)

[Июль 2017](#)

[Июнь 2017](#)

[Май 2017](#)

[Апрель 2017](#)

[Март 2017](#)

[Февраль 2017](#)

[Январь 2017](#)

[Декабрь 2016](#)

[Ноябрь 2016](#)

[Октябрь 2016](#)

[Сентябрь 2016](#)

[Август 2016](#)

[Июль 2016](#)

[Июнь 2016](#)

[Май 2016](#)

[Апрель 2016](#)

[Март 2016](#)

[Февраль 2016](#)

[Январь 2016](#)

[Ноябрь 2015](#)

[Октябрь 2015](#)

[Июль 2015](#)

[Июнь 2015](#)

[Май 2015](#)

[Апрель 2015](#)

[Март 2015](#)

[Февраль 2015](#)

[Январь 2015](#)

[Декабрь 2014](#)

[Ноябрь 2014](#)

[Октябрь 2014](#)

[Сентябрь 2014](#)

[Август 2014](#)

[Июль 2014](#)

[Июнь 2014](#)

[Май 2014](#)

[Апрель 2014](#)

[Март 2014](#)

[Февраль 2014](#)

[Январь 2014](#)

[Декабрь 2013](#)

[Ноябрь 2013](#)

[Голыев Евгений Сергеевич, Долгова Владислава Алексеевна, Куприяшкина Елена Игоревна, Куприяшкина Людмила Ивановна, Седова Анна Алексеевна - Защита конструкций железобетонных резервуаров в условиях хранения воды](#)

[Ледяйкин Александр Сергеевич, Уткина Вера Николаевна - Развитие высотного строительства в России](#)

[Антипов Иван Олегович, Низин Дмитрий Рудольфович, Низина Татьяна Анатольевна, Полова Анастасия Ивановна, Чернов Алексей Николаевич - Влияние интенсивности актинометрических параметров на изменение декоративных характеристик эпоксидных композитов в процессе натурального акспонирования](#)

[Кильдеев Ильдар Рашитьевич, Панчина Анастасия Алексеевна, Терешкин Иван Петрович - Исследование физико-механических свойств и химического сопротивления композитов на основе безгипсовых портландцементных вяжущих с низкой водопотребностью](#)

[Карев Дмитрий Викторович, Коротин Александр Иванович, Седина Елена Александровна - Оптимизация свойств цементных композиций на основе минеральных вяжущих путем применения комплексной добавки «Реламикс М2»](#)

[Лазарев Александр Львович, Полторацкий Дмитрий Михайлович, Тянякин Илья Алексеевич - Практическая реализация методов проектирования внешнего армирования деревянных элементов на основе функционально-градиентных композиционных материалов](#)

[Артамонов Денис Александрович, Башкаев Дмитрий Сергеевич, Григорьева Анастасия Андреевна, Козлятников Иван Сергеевич - Анализ изменения микротвердости эпоксидных полимеров в процессе натурального климатического воздействия](#)

15

## Технические науки → Выпуск 15

**Рубрика:** [Элементная база, аппаратные и программные средства технических систем](#)

06.11.2017

Очередной выпуск раздела «Технические науки» (рубрика «Элементная база, аппаратные и программные средства технических систем») подготовлен по материалам III-й Международной научно-технической конференции «Интеграционные процессы в научно-техническом и образовательном пространстве» (секция «Автоматическое управление, телематика и автоматизация»), которая проходила 17 мая 2017 г. в форме видео-конференции. В него вошли статьи студентов, аспирантов, преподавателей, инженерных работников Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва и Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Республика Кыргызстан). В выпуске нашли отражение результаты исследований, связанных с вопросами построения современных систем управления технологическими процессами и разработкой современного программного обеспечения.

Ответственный редактор выпуска – к.т.н., профессор О. В. Шишов.  
Перевод и корректура – к.филол.н. С. С. Панфилова.

[Афонин Виктор Васильевич, Кевбрин Владислав Андреевич - Параметрическая оптимизация многокомпонентной светодиодной системы](#)

[Жуков Сергей Александрович, Шишов Олег Викторович - Оптимизация режимов работы системы управления наложения полимерной изоляции при изготовлении кабельной продукции](#)

[Слугин Александр Геннадьевич, Шишов Олег Викторович - Повышение эффективности управления котлом стерилизации на производстве консервной продукции](#)

[Батырканов Жениш Исакунович, Белялов Шайбек Асланбекович, Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна - Синтез алгоритмов управления шаговыми приводами 3D-принтера по осуществлению предписанных движений](#)

[Батырканов Жениш Исакунович, Кудакеева Гулида Маданбековна, Субанкулова Жылдызгул Жаныбековна - Подход к распознаванию зрительных образов на основе эталонных образов и обучения](#)

[Джолдошов Бекболот Оморович, Сартов Таштанбай Эсенович, Темиркулова Наргис Темиркуловна - Динамическое проектирование управляющего устройства гидрогенератора с учетом возмущений](#)

[Беспалов Николай Николаевич, Евишев Алексей Владимирович, Зорькин Александр Владимирович, Ильин Михаил Владимирович, Капитонов Сергей Сергеевич - Дистанционная диагностика состояния полупроводниковых приборов устройств силовой электроники](#)

[Кошоева Бибигуль Бейшенбековна, Лайлиев Ахмед Алысбекович - Разработка системы микроконтроллерного управления электроотоплением жилого дома](#)

[Волков Антон Владимирович, Ионова Екатерина Игоревна - Использование метода наблюдения потока для определения температуры ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами](#)

[Карасев Александр Вениаминович - Исследование системы управления обратимым трехфазным выпрямителем в среде PSIM](#)

11

## Технические науки → Выпуск 11

**Рубрика:** [Современные вопросы строительных материалов и конструкций](#)

06.08.2017

В очередном выпуске раздела «Технические науки» представлены статьи студентов, аспирантов и преподавателей архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», а также Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева и Ташкентского архитектурно-строительного института. В выпуске нашли отражение результаты исследования перспективных строительных композитов, в том числе вакуумированных теплоизоляционных панелей, модифицированных цементных композитов и высокопрочных мелкозернистых бетонов на их основе, полимерных композиционных

Предложить статью

13

Технические науки → Выпуск 13

## Разделы

19.07.2018

[Биологические науки](#)  
[Исторические науки](#)  
[Культурология](#)  
[Медицинские науки](#)  
[Науки о Земле](#)  
[Педагогические науки](#)  
[Политические науки](#)  
[Психологические науки](#)  
[Сельскохозяйственные науки](#)  
[Социологические науки](#)  
[Технические науки](#)  
[Физико-математические науки](#)  
[Филологические науки](#)  
[Философские науки](#)  
[Химические науки](#)  
[Экономические науки](#)  
[Юридические науки](#)

## Общая информация

[О журнале](#)  
[Правила публикации](#)  
[Все авторы журнала](#)  
[Список статей](#)  
[Новости](#)  
[Уроки](#)  
[Ключевые слова](#)  
[Счётчик статей](#)  
[Редакция](#)  
[Часто задаваемые вопросы](#)  
[Контакты](#)

## Правовая информация

Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС 77 – 52910 от 20 февраля 2013 года выдано Роскомнадзором

ISSN 2311-2468 (Online)

«Огарёв-online» в РИНЦ

## Последние новости

09.11.2015 10:26

[Наше издание вошло в научную электронную библиотеку КиберЛенинка](#)

Уважаемые коллеги, полнотекстовая версия Электронного периодического издания для студентов и аспирантов «Огарёв-online» включена в научную электронную библиотеку КиберЛенинка. КиберЛенинка — это...  
[Почсть целиком](#)

10.06.2015 02:21

[Информационный семинар на архитектурно-строительном факультете](#)

4 июня 2015 года на кафедре строительных конструкций архитектурно-строительного факультета Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва был проведен информационный семинар...

09

04.06.2018

Технические науки → Выпуск 09

**Рубрика:** [Современные вопросы строительных материалов и конструкций](#)

В очередном выпуске раздела «Технические науки» представлены статьи студентов, аспирантов и преподавателей архитектурно-строительного факультета Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва, а также Азербайджанского университета архитектуры и строительства и Балаковского инженерно-технологического института — филиала Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. В выпуске нашли отражение результаты исследования перспективных строительных композитов, в том числе самоуплотняющихся бетонных смесей, эпоксидных композиционных материалов, вакуумированных теплоизоляционных панелей, композиций на основе модифицированных минеральных вяжущих, в том числе с низкой водопотребностью, а также результаты практической реализации методов проектирования внешнего армирования деревянных элементов на основе функционально-градиентных композиционных материалов, методы прогнозирования ресурса железобетонных монолитных плит перекрытий и способов защиты железобетонных резервуаров, анализ материалов по теме высотного строительства в России.

Ответственный редактор выпуска – д.т.н. доцент Т.А. Низина.  
 Перевод и корректура – к.филол.н. СС. Панфилова.

[Долгов Иван Павлович, Киселев Николай Николаевич, Куприяшкина Людмила Ивановна, Нурлыбаев Руслан Ергалиевич, Селяев Владимир Павлович - Разработка вакуумных панелей на основе микрокремнезема из наноструктурированного порошка частиц диатомита](#)

[Гарынкина Екатерина Николаевна - Прогнозирование ресурса железобетонных монолитных плит перекрытия](#)

[Бальков Артемий Сергеевич, Володин Владимир Владимирович, Гаджиева Улвия Мухлис кызы, Коровкин Дмитрий Игоревич, Низина Татьяна Анатольевна, Смакаев Равиль Маратович - Исследование реотехнологических характеристик цементных и минеральных суспензий при разработке самоуплотняющихся бетонных смесей](#)

**Рубрика:** [Элементарная база, аппаратные и программные средства технических систем](#)

Очередной выпуск раздела «Технические науки» (рубрика «Элементарная база, аппаратные и программные средства технических систем») подготовлен по материалам IV-й Международной научно-технической конференции «Интеграционные процессы в научно-техническом и образовательном пространстве» (секция «Автоматическое управление, телематика и автоматизация»), которая проходила 19 апреля 2018 г. в форме видео-конференции. В него вошли статьи студентов, аспирантов, преподавателей, инженерных работников Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва и Кыргызского государственного технического университета им. И. Разакова (Республика Кыргызстан). В выпуске нашли отражение результаты исследований, связанных с вопросами построения современных систем управления технологическими процессами и разработкой современного программного обеспечения.

Ответственный редактор выпуска – к.т.н. профессор О. В. Шишов.  
 Перевод и корректура – к.филол.н. С. С. Панфилова.

[Бальзамов Александр Юрьевич, Клементьев Владислав Юрьевич, Коротков Максим Валерьевич - Автоматизированная система технической диагностики электрических параметров цепей оперативного постоянного тока](#)

[Беспалов Николай Николаевич, Ваничкин Александр Дмитриевич, Дьяков Петр Филиппович, Кондрашин Денис Сергеевич - Озонаторное устройство с таймерным управлением](#)

[Беспалов Николай Николаевич, Панькин Кирилл Юрьевич - Оптимизация величин некоторых параметров линейных источников питания на основе стабилизаторов напряжения](#)

[Заводунов Артем Олегович, Славкин Александр Сергеевич, Шишов Олег Викторович - Представление современных сетевых технологий АСУ ТП в учебном процессе](#)

[Батырканов Жениш Исакунович, Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна, Мамбетдинов Исламбек Маматбекович - Разработка системы управления шаговыми приводами трехзвенного манипулятора](#)

[Батырканов Жениш Исакунович, Кудакеева Гулида Маданбековна - Проблемы и подходы к распознаванию объектов в задачах обработки аэрокосмических снимков](#)

[Кошоева Бибигуль Бейшенбековна, Мамбетисаев Санжар Нурланович, Текебаев Нурсултан Туратбекович - Разработка системы автоматизации измерения уровня воды на гидрологическом посту с возможностью мониторинга данных в облачном сервисе](#)

[Джолдошов Бекболот Оморович, Темиркулова Наргис Темиркуловна, Терентьева Елена Юрьевна - Структурный синтез устройства управления резервуарами](#)

[Балясов Павел Петрович, Мускатиньев Александр Валентинович - Особенности эксплуатации силовых тиристоров в последовательных цепях мощных преобразователей](#)

[Волков Антон Владимирович, Троянский Алексей Валерьевич, Шишов Олег Викторович - Применение метода сингулярного разложения для контроля качества натриевых ламп высокого давления](#)

**БАТЫРКАНОВ Ж. И., КАДЫРКУЛОВА К. К., БЕЛЯЛОВ Ш. А.  
СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ПРИВОДАМИ 3D-ПРИНТЕРА  
ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ПРЕДПИСАННЫХ ДВИЖЕНИЙ**

**Аннотация.** Предложена оригинальная математическая модель шагового привода как объекта управления, на основе которой определяется алгоритм управления шаговым двигателем. Рассмотрены вопросы технической реализации синтезированных алгоритмов управлений, приведена структурно-функциональная схема для рассматриваемых функциональных элементов. Также рассматриваются вопросы погрешности позиционирования шагового двигателя и выбора его угловой скорости.

**Ключевые слова:** 3D-принтер, шаговый двигатель, шаговый привод, предписанная пространственная траектория, управление движением, единичный шаг, драйвер, число фаз.

**BATYRKANOV ZH. I., KADYRKULOVA K. K., BELIALOV SH. A.  
SYNTHESIS OF CONTROL ALGORITHMS FOR 3D-PRINTER STEP DRIVES  
FOR IMPLEMENTATION OF PRESCRIBED MOVEMENTS**

**Abstract.** The paper presents an original mathematical model of the step drive as a control object. Based on this model, the control algorithm for the stepper motor is determined. The issues of technical implementation of the synthesized algorithms are considered. The structural-functional scheme for the considered functional elements is provided. The authors also deal with the error positioning of the stepper motor and the choice of its angular velocity.

**Keywords:** 3D-printer, stepper motor, stepper drive, prescribed spatial trajectory, movement control, single step, driver, number of phases.

**Введение.** При проектировании и разработке 3D-принтера важное место занимают вопросы разработки систем управления приводами его рабочих органов. На сегодняшний день в качестве приводов многих типов 3D-принтеров используются приводы, построенные на шаговых двигателях (ШД). В конечном итоге система управления должна обеспечивать движение рабочих органов 3D-принтера по заранее заданным предписанным траекторным движениям. Для синтеза необходимых алгоритмов управления движения приводов по предписанным программам (траекториям), в первую очередь, требуется наличие математической модели динамики шагового привода как объекта управления. Насколько нам

известно, в описании промышленно выпускаемых 3D-принтеров информации о математической модели не приводится.

В связи с вышесказанным, целью данной работы является следующее: для 3D-принтера, использующего метод послойного наплавления (см. рис. 1), разработать метод синтеза алгоритмов управления по осуществлению движения шаговых приводов по предписанным программам.

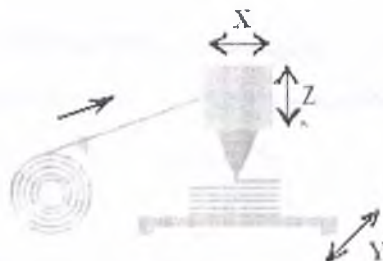


Рис. 1. Упрощенная модель 3D-принтера, использующего метод послойного наплавления.

**Разработка математической модели динамики ШД как объекта управления.** Прежде всего, приведем базовую информацию о ШД. Для всех типов ШД с помощью электронного коммутатора вырабатываются импульсы напряжения, которые подаются на обмотки управления, расположенные на статоре ШД. При этом каждый импульс обеспечивает поворот ротора на определенный угол, зависящий от конструкции ШД.

Для синтеза законов управления рассмотрим ШД с зубчатым передаточным механизмом на валу двигателя. При помощи этого механизма вращательное движение ротора двигателя преобразуется в поступательное движение механизмов 3D-принтера (в конечном счете – его печатающей головки).

Пусть на роторном валу ШД посажено (установлено) зубчатое колесо (шестерня) с радиусом  $R$  и угловым расстоянием между двумя зубьями  $\Delta\alpha$  градусов, т.е. угол поворота ротора ШД при действии единичного импульса составляет  $\Delta\alpha$  градусов. В дальнейшем требуется представить  $\Delta\alpha$  в радианах. Перевод из градусов в радианы осуществляется по следующей формуле:

$$\Delta\alpha[\text{rad}] = \frac{3.14[\text{rad}](\Delta\alpha[\text{grad}])}{180[\text{grad}]} \quad (1)$$

При действии единичного импульса на ШД с посаженной на валу его ротора шестерней с радиусом  $R$ , одиночный угловой шаг поворота ротора преобразуется в поступательное движение шестерни на расстояние равное

$$L_{iu} = \Delta\alpha \cdot R, \quad (2)$$

где:  $\Delta\alpha$  — шаг поворота ротора ШД при подаче единичного импульса (градусы);

$L_o$  — величина линейного шага шестерни при действии одного импульса на ШД [1].

Так как в ШД шаги осуществляются в дискретные моменты времени, то математическая модель ШД как объекта управления описывается с использованием конечно-разностного выражения

$$\varphi_{k+1} = \varphi_k + n_k(\Delta\alpha), \quad (3)$$

где:  $\varphi_k$  — текущее угловое положение ротора ШД на  $t_k$ -ом моменте времени;

$n_k$  — количество управляющих импульсов, подаваемых на ШД за отрезок времени  $[t_k, t_{k+1}]$ ;

$\varphi_{k+1}$  — угловое положение ротора ШД в  $t_{k+1}$ -й момент времени.

Формула (3) используется тогда, когда требуемые перемещения рабочих органов 3D-принтера описаны в угловых координатах. Однако в большинстве случаев необходимые перемещения описываются в линейных координатах, например, когда применяется винтовой редуктор. При этом, аналогично (3), предлагается следующая математическая модель управления движениями рабочих органов 3D-принтера [1]

$$\begin{cases} X_{k+1} = X_k + n_{kx} l_{ux}; \\ Y_{k+1} = Y_k + n_{ky} l_{uy}; \\ Z_{k+1} = Z_k + n_{kz} l_{uz}; \end{cases} \quad (4)$$

где:  $X_k, Y_k, Z_k$  — текущие координаты рабочих органов принтера по осям X, Y, Z в  $k$ -й момент времени;  $X_{k+1}, Y_{k+1}, Z_{k+1}$  — координаты рабочих органов по осям X, Y, Z в  $(k+1)$  момент времени;  $n_{kx}, n_{ky}, n_{kz}$  — количества импульсов поданных на ШД приводов по осям X, Y, Z за указанный промежуток времени;  $l_{ux}, l_{uy}, l_{uz}$  — величины линейных шагов рабочего органа по осям X, Y, Z от действия одиночных импульсов на соответствующие ШД, при этом учитывается соотношение (2).

**Синтез алгоритма управления шаговым приводом на основе предписанной траектории.** Рассмотрим задачу, когда рабочие органы 3D-принтера (печатающие головки) совершают движения согласно табличным представлениям контрольных точек в изготавливаемых изделиях.

Для осуществления этой задачи математическая модель динамики шагового привода



приведена в виде (4).

Таким образом, в практическом плане задача управления ШД сводится к нахождению количества управляющих импульсов  $n_{kx}, n_{ky}, n_{kz}$  из формул (4) и подаче их на соответствующие ШД за отрезок времени  $[t_k, t_{k+1}]$ . При этом значения  $X_{k+1}, Y_{k+1}, Z_{k+1}$  берутся из таблицы предписанных (требуемых) контрольных точек пространственной траектории движения рабочих органов 3D-принтера (таблица 1).

Проиллюстрируем построение предписанной пространственной траектории движения рабочих органов 3D-принтера с помощью рисунка 2.

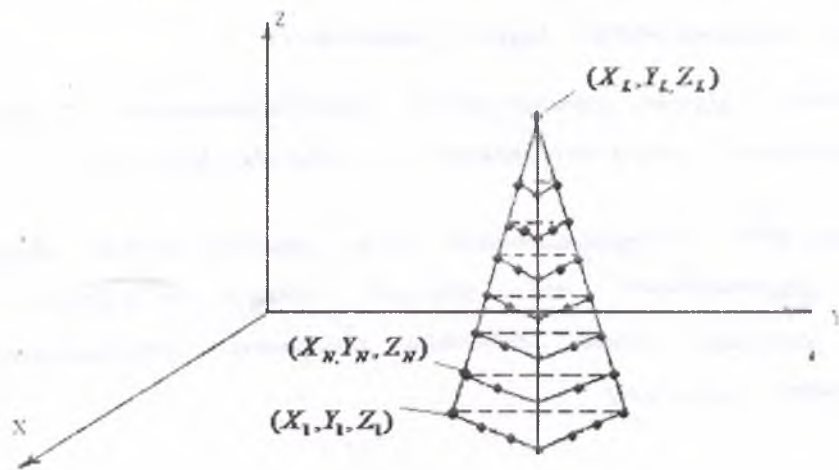


Рис. 2. Пространственная модель детали с нанесенными на нее контрольными точками.

По требуемой пространственной модели объекта с нанесенными на нее контрольными точками строим таблицу для предписанной траектории движения рабочего органа 3D-принтера (см. табл. 1).

Таблица 1

Предписанные координаты в различных точках траектории

$t_s$	$t_1$	$t_2$	...	$t_k$	$t_{k+1}$	...	$t_l$	$t_{l+1}$
$x_s$	$x_1$	$x_2$	...	$x_k$	$x_{k+1}$	...	$x_l$	$x_{l+1}$
$y_s$	$y_1$	$y_2$	...	$y_k$	$y_{k+1}$	...	$y_l$	$y_{l+1}$
$z_s$	$z_1$	$z_2$	...	$z_k$	$z_{k+1}$	...	$z_l$	$z_{l+1}$

Начало движения печатающей головки осуществляется с момента  $t_1$  и начального положения  $(X_1, Y_1, Z_1)$ . Затем выполняется переход в положение  $(X_2, Y_2, Z_2)$ , соответствующее моменту времени  $t_2$ . Далее движение осуществляется аналогично, и в конце первого цикла, соответствующего первому слою воспроизводимого объекта, печатающая головка приходит в начальное положение, т.е.  $(X_1, Y_1, Z_1)$ . Из этого положения осуществляется переход в положение  $(X_N, Y_N, Z_N)$  и затем движение осуществляется по второму слою объекта, воспроизводимого 3D-принтером.

Далее движение выполняется по третьему слою и т.д. Таким образом, слои могут наноситься последовательно, т.е. друг на друга. В конце работы осуществляется переход к конечному положению  $(X_f, Y_f, Z_f)$ .

Для определения  $l_{ux}, l_{uy}, l_{uz}$  в системе (4) нужна конкретная информация о шаговом двигателе и соединенного с валом двигателя редукторе.

Взяв ШД марки ДС4-6В и винтовой редуктор с длиной винта 74 мм и диаметром 3 мм. При этом экспериментально определено, что за одиночный импульс винтовой редуктор перемещает нагрузку на 1,6 мм. Значит  $l_{ux} = l_{uy} = l_{uz} = 1,6$  мм.

Отметим, что подсчет количества необходимых импульсов по формулам (4) для обеспечения перемещений, задаваемых таблицей 1, может приводить к тому, что расчетное количество импульсов (для определенности – по X-оси)

$$n_k = (X_{k+1} - X_k) / l_{ux}$$

будет выражаться не целым числом. В этом случае берется ближайшее целое число (по стандартным правилам округления), а максимальная погрешность позиционирования ШД составит

$$\varepsilon_{\max} = 0,5l_{ux}.$$

Следовательно, чтобы уменьшить погрешность позиционирования ШД нужно уменьшить  $l_{ux}$ . А для этого, в свою очередь, нужно уменьшить величину единичного шага (поворота ротора)  $\Delta\alpha$ , которая достигается путем выбора ШД с необходимым количеством полюсов (в том числе, эквивалентных полюсов). Необходимая скорость движения ШД обеспечивается путем уменьшения или увеличения величины отрезка по времени  $[t_k, t_{k+1}]$  при фиксированных количествах импульсов, которые должны быть поданы на ШД за этот отрезок. Уменьшение отрезка по времени увеличивает скорость движения (перемещения) ШД и, как следствие,

печатающей головки [2: 3].

**Вопросы технической реализации системы управления шаговыми двигателями прототипа 3D-принтера.** Приведем технические реализации отдельных функциональных элементов прототипа 3D-принтера, которые разработаны авторами и используются на кафедре «Автоматического управления» КГТУ им. И. Раззакова для образовательных и исследовательских целей.

Для управления ШД используется компьютер (ПЭВМ), куда предварительно записывается информация о всех параметрах ШД – таблица предписанных движений рабочих органов 3D-принтера. В компьютере, на основе уравнений системы (4) и заданной величины отрезка по времени  $[t_k, t_{k+1}]$ , осуществляется подсчет необходимого количества управляющих импульсов для подачи на обмотки ШД в течение каждого временного отрезка.

Структурно-функциональная схема системы управления ШД показана на рисунке 3. Она включает следующие объекты: порт LPT (в силу традиционности использования LPT порта для передачи управляющих импульсов на устройство управления и простоты соответствующих схемотехнических решений); шины данных и управления; контроллер; три электронных драйвера и собственно ШД.

От компьютера по интерфейсу LPT приходят сигналы по первым четырем шинам данных для управления обмотками двигателя ШД; по следующим трем шинам передаются управляющие сигналы выбора ШД. Эти сигналы поступают на контроллер. В нем происходит выбор двигателя, который должен работать в конкретный момент времени, путем подачи сигнала выборки на соответствующий канал ШД. Затем импульсы управления подаются в электронный драйвер, в котором они усиливаются по току и напряжению. В конечном итоге эти преобразованные импульсы передаются на обмотки соответствующих ШД, которые и обеспечивают непосредственное управление режимами работы двигателей.

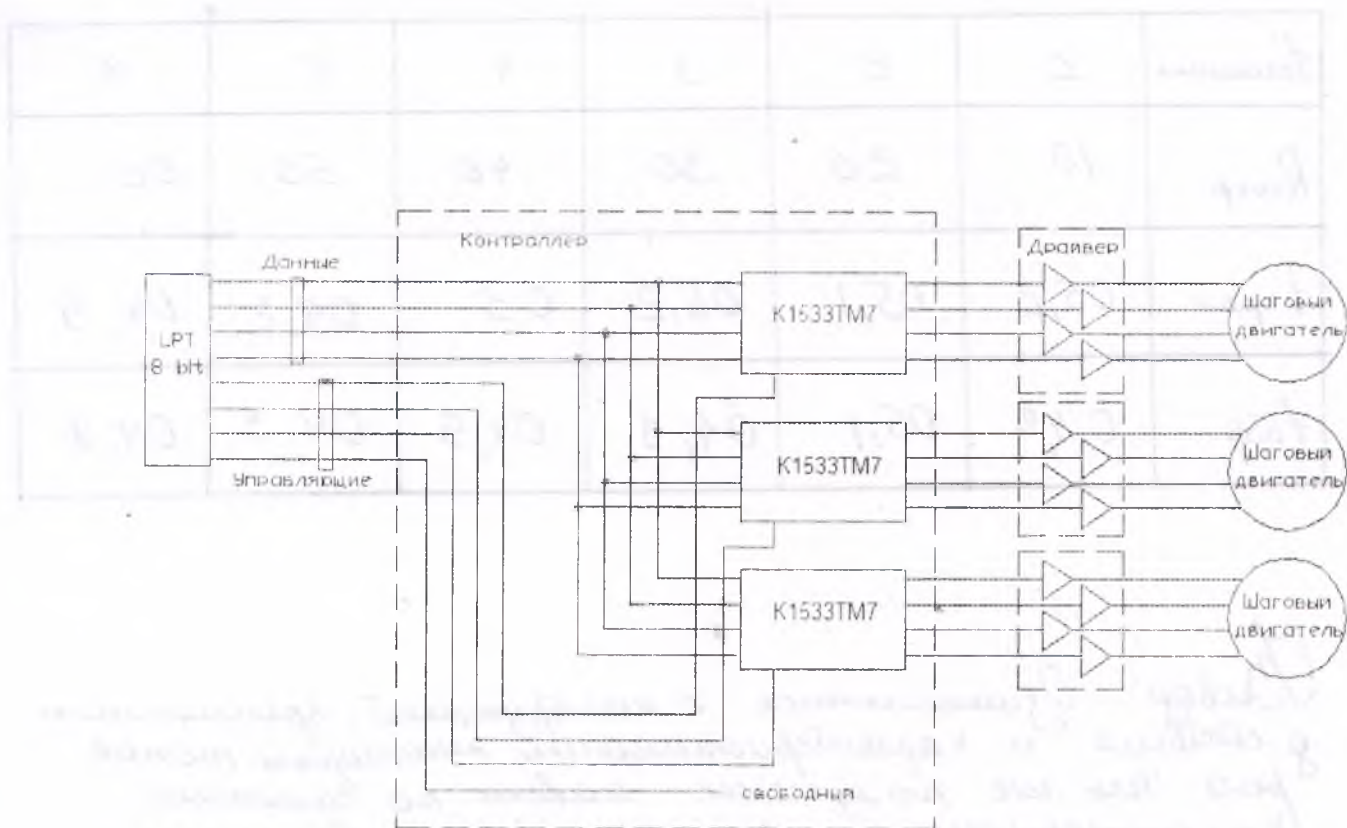


Рис. 3. Структурно-функциональная схема типичной системы управления ШД.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Батырканов Ж. И., Кадыркулова К. К., Белялов Ш. А. Управление шаговым приводом 3D-принтера: математическая модель и вопросы технической реализации // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 1 (33). – С. 128–138.
2. Большаков В., Бочков А. и др. Основы 3D-моделирования. – СПб.: Питер, 2012. – 304 с.
3. Карпенко Б. К., Ларченко В. И., Прокофьев Ю. А. Шаговые электродвигатели. – Киев: Техніка, 1972. – 216 с.