

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ 3D ПЕЧАТИ НА ПРИМЕРЕ ВОЛНОВОГО РЕДУКТОРА

Катаев А.В.¹, Петухов Е.А.²

¹*Федеральный агроинженерный научный центр ВИМ, Москва, Россия;*

²*Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

Ключевые слова: 3D-печать, аддитивная технология, кинематическая точность, редуктор, волновая передача, драйвер шагового двигателя.

Аннотация. Рассматривается вопрос повышения точности волновой передачи путем снижения углового люфта. Передача получена методом послойной 3D-печати с использованием материала – полиэтилентерефталата-гликоля. Анализируются причины, ведущие к увеличению люфта. Исследуются способы снижения люфта. Описана методика повышения точности 3D-печати применительно к изготовлению волнового редуктора.

WAYS TO IMPROVE ACCURACY 3D PRINTING FOR WAVE GEAR

Kataev A.V.¹, Petukhov E.A.²

¹*Federal Agroengineering Research Center VIM, Moscow, Russia;*

²*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russia*

Keywords: 3D printing, additive technology, kinematic accuracy, gearbox, wave transmission, stepper motor driver

Abstract. The article discusses the issue of improving the accuracy of a wave transmission by reducing the angular backlash. The transmission was obtained using the FDM 3D printing method with the material – polyethylene terephthalate glycol. The reasons leading to the increase of backlash are analyzed. The ways of reducing backlash are investigated. The technique of improving the accuracy of 3D printing in relation to the manufacture of a wave gearbox is described.

Рассмотренный в работе [1] волновой редуктор указывает на достаточно низкую угловую точность 3D-печатного изделия. Статистическая обработка результатов измерения люфта свидетельствует не только о значительном «мертвом ходе», но и о низкой точности повторяемости позиционирования [1]. Актуален поиск способов увеличения точности печатного редуктора, снижения его углового люфта.

Для повышения точности исследуются следующие причины.

1. Качество поверхностей (шероховатость и отклонения от криволинейного профиля).

2. Кинематическая точность принтера.

Для исследования вышеуказанных причин используются методы:

1. Применяется SLA метод взамен FDM как геометрически более точный, с лучшими показателями шероховатости.

2. Используется другой драйвер шаговых двигателей принтера с различными режимами работы (SpreadCycle, StealthChop).

SLA метод отличается высокими показателями геометрической точности и качества поверхностей [2]. Материал печати при SLA отличен от FDM [3]. Параметры редуктора идентичны редукторы из работы [1]. Люфт для нового редуктора замерялся в соответствии с ранее описанной методикой [1] и сравнивался с FDM методом. Результаты приведены в таблице 1.

Табл. 1. Точности SLA и FDM метода

Показатель	SLA	FDM
Среднее значение люфта	1,4 угловые минуты	1,9 угловые минуты
Дисперсия	0,32	0,88
Среднее отклонение	0,67	0,94

Из таблицы 1 следует, что SLA метод обеспечивает более высокую кинематическую точность волнового редуктора. Это означает, что повышение качества поверхностей и геометрической точности профиля деталей позволяет увеличивать точность редуктора.

Получены результаты (табл. 2) точности редуктора при постановке иных драйверов шаговых двигателей от производителя «Trinamic» в режиме «Spread Cycle» и «Stealth Chop».

Табл. 2. Точность драйверов «Trinamic» в различных режимах

Показатель	Spread Cycle	Stealth Chop	FDM
Среднее значение люфта	1,6 угловых минуты	1,8 угловые минуты	1,9 угловые минуты
Дисперсия	0,67	0,86	0,88
Среднее отклонение	0,75	0,89	0,94

Из таблицы 2 следует, что более точные драйверы и режим управления влияют на точность редуктора.

Таким образом, повышение точности редуктора достижимо при использовании метода SLA, а также при улучшении кинематической точности принтера путем замены драйверов и изменения режима управления шаговыми двигателями на «Spread Cycle».

Список литературы

1. Петухов Е.А., Пасечник Л.В., Катаев А.В. Исследование точности печатного волнового редуктора // Достижения науки и технологий (ДНиТ-V-2026): сборник научных статей по материалам V Всероссийской (национальной) научной конференции, Красноярск, 26-27 февраля 2026 года. – Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники, 2026. – С. 384-389.
2. Ворожейкин М.Ю., Римашевская А.Б. Технология печати зданий из бетона при помощи специального оборудования // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 16-17 мая 2023 года.

Часть 7. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 14-18.

3. Шагеева А.И., Космачева Ю.А. Перспективы разработки биовозобновляемых фотополимеров на основе лигнина для печати изделий легкой промышленности методом SLA // Студенческие исследования, идеи и инновации: Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 23 декабря 2025 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2025. – С. 26-28.

References

1. Pankratov E.N., Shumsky V.V., Lushnikov S.V. Wave reducers with intermediate links // Drilling and Oil. 2003, no. 2, pp. 28-30.
2. Vorozheikin M.Yu., Rimashevskaya A.B. Technology of printing buildings from concrete using special equipment // International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 170th anniversary of V.G. Shukhov: Collection of Reports, Belgorod, May 16-17, 2023. Volume Part 7. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. – P. 14-18.
3. Shageeva A.I., Kosmacheva Yu.A. Prospects for the development of bio-renewable lignin-based photopolymers for printing light industry products using the SLA method // Student Research, Ideas, and Innovations: Collection of Articles from the VIII International Scientific and Practical Conference, Penza, December 23, 2025. – Penza: Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.), 2025. – P. 26-28.

Катаев Андрей Васильевич – инженер отдела разработки технологий и мультифункциональных покрытий деталей сельскохозяйственной техники	Kataev Andrey Vasilievich – engineer of the Department of technology development and multipurpose coatings of agricultural machinery parts
Петухов Егор Александрович – студент katayev02@internet.ru	Petukhov Egor Aleksandrovich – student

Received 19.04.2026