

**И. А. Горобец**, канд. техн. наук, доц., **В. В. Горбань**, аспирант.  
ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, РФ  
E-mail: igor.gorobets2022@yandex.ru

## СИНТЕЗ КОНСТРУКЦИИ 8D – ПРИНТЕРА

*Предложены структурная и кинематическая схемы 8D-принтера с дополнительными избыточными степенями свободы рабочих органов. Разработаны расчётные схемы для подбора привода подвижных платформ принтера. Синтезирована 3D-модель дельта принтера повышенной производительности за счет реализации 8D-печати. Предложенные схемы и разработанные 3D модели устройства повысят эффективность эксплуатации 3D-принтеров.*

**Ключевые слова:** принтер, структура, кинематика, модель, привод, технология, производительность.

**I. A. Gorobets, V. O. Gorban**

## SYNTHESIS OF THE 8D PRINTER DESIGN

*The structural and kinematic schemes of an 8D printer with additional redundant degrees of freedom of the working organs are proposed. Calculation schemes have been developed for selecting the drive of the printer's mobile platforms. A 3D model of a delta printer with increased productivity has been synthesized due to the implementation of 8D printing. The proposed schemes and developed 3D models of the device will increase the efficiency of 3D printers.*

**Keywords:** printer, structure, kinematics, model, drive, technology, performance.

### 1. Введение

Дальнейшее совершенствование технологий изготовления машиностроительных изделий тесно связано с использованием новых подходов и принципов, реализующих идеи аддитивных технологий, состоящих в послойном увеличении размеров объекта производства [1, 2]. Для реализации принципов аддитивных технологий используются цифровая модель объекта производства и цифровая технология ее изготовления в виде разработанных 3D-модели и управляющей программы для 3D принтера, полученные в ходе технической подготовки производства. Технологический процесс получения готового изделия осуществляется запрограммированными движениями рабочего органа, работающего в одной из известных систем координат: Декартовой, полярной, цилиндрической, сферической, ангулярной [3, 4]. При этом рабочий орган может иметь от 3 и выше степеней подвижности, рис. 1.

Недостатком известных конструкций устройств объемной печати, реализующих принципы аддитивного производства, являются ограничения в производительности работ, обусловленные особенностями конструкции 3D-принтера [2, 4] и технологиями объемной печати. В связи с перечисленными конструктивными и эксплуатационными особенностями устройств объемной печати, актуальным является вопрос увеличения производительности и расширения технологических возможностей 3D-принтеров с учётом преимуществ многоосевой печати.

**Целью исследований** является повышение производительности 3D печати Дельта принтера, за счет изменений схемы конструкции подвижной платформы путем ввода дополнительных степеней подвижности рабочего органа.

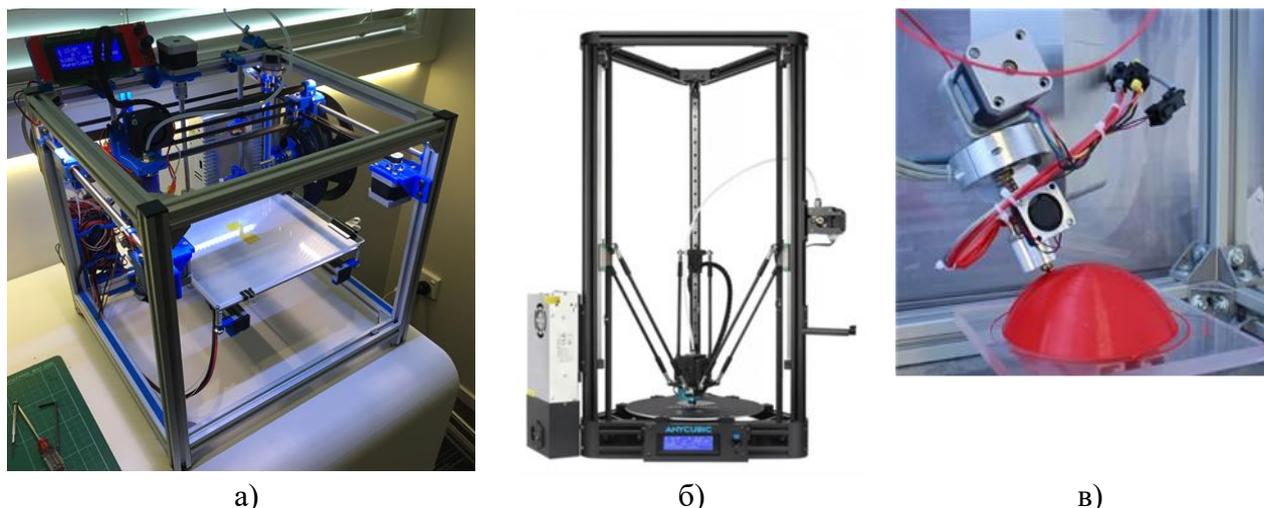


Рисунок 1. Вид конструкций 3D-принтеров: а) HyperCube; б) Kossel компании Anycubic; в) с подвижным 5D экструдером

## 2. Основное содержание и результаты работы

В качестве прототипа для синтеза конструкции использовался 3D-принтер параллельной структуры, обладающий рядом преимуществ по скорости и точности печати [2, 4, 5, 6]. Для синтеза конструкции рабочего органа авторы провели системный анализ известных структур принтера [4]. Для реализации поставленной цели авторами было предложено дополнить конструкцию устройства 3D-печати [2, 5, 6] тремя дополнительными степенями подвижности рабочего органа. Структурная схема модифицированного дельта принтера приведена на рис. 2а и содержит три параллельно расположенные вертикальные направляющие 1, с подвижными каретками 2. Каждая из кареток 2 соединена с подвижной платформой 4 посредством тяг 3. Структурная схема подвижной платформы 4 включает две поворотные платформы 9, 10, которые имеют возможность независимого поворота относительно вертикальной оси, реализуемых поворотными механизмами 7, 8 и 5, 6, соответственно. Подвижная платформа 4 предусматривает два рабочих органа 16 и 17, имеющих дополнительную степень подвижности, за счёт поворотного механизма, снабженного преобразователями движения 13, 14 и 15, что обеспечивает возможность поворота печатающего органа на заданный угол. Для реализации одновременной работы экструдеров на нижней поворотной платформе 10 жёстко закреплён ходовой винт 11, взаимодействующий с приводом 12.

Для синтеза конструкции принтера разработана кинематическая схема (рис. 2б), включающая следующие элементы: шаговый двигатель перемещения кареток 1, ходовые винты кареток 27, вертикальные направляющие 2 и 3, каретки 4, шаровые шарниры 5, 6 соединённые с кареткой 4, тяги 7 и 8 с шарнирными опорами 9, 10 присоединённые к подвижной платформе 11, поворотные платформы 15, 19, вал-шестерня поворота нижней платформы 12, приводные шаговые двигатели поворота платформ 16, 14, шестерни шаговых двигателей 13, 17, шестерня поворота верхней платформы 18, ходовой винт перемещения экструдера 20, корпус неподвижного экструдера 28, корпус подвижного экструдера 29, 30 шаговый двигатель перемещения подвижного экструдера 21, шестерни 24, 25, 26, рабочий орган 23, опорная ось экструдера 22.

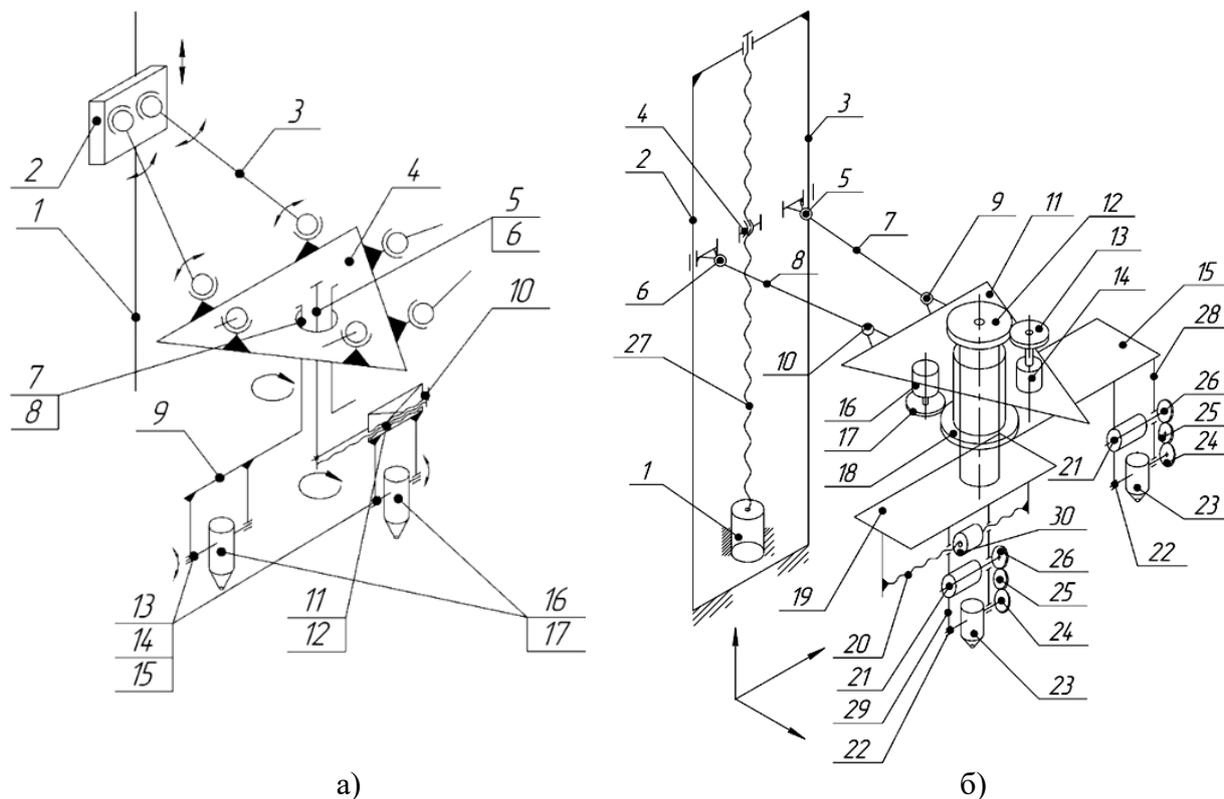


Рисунок 2. Структурная а) и кинематическая б) схемы 8D принтера

На основе разработанных структурной и кинематических схем (рис. 2) принтера в среде КОМПАС–3D спроектированы модели деталей, сборочных узлов и синтезирована 3D – модель 8D принтера, рис. 3.

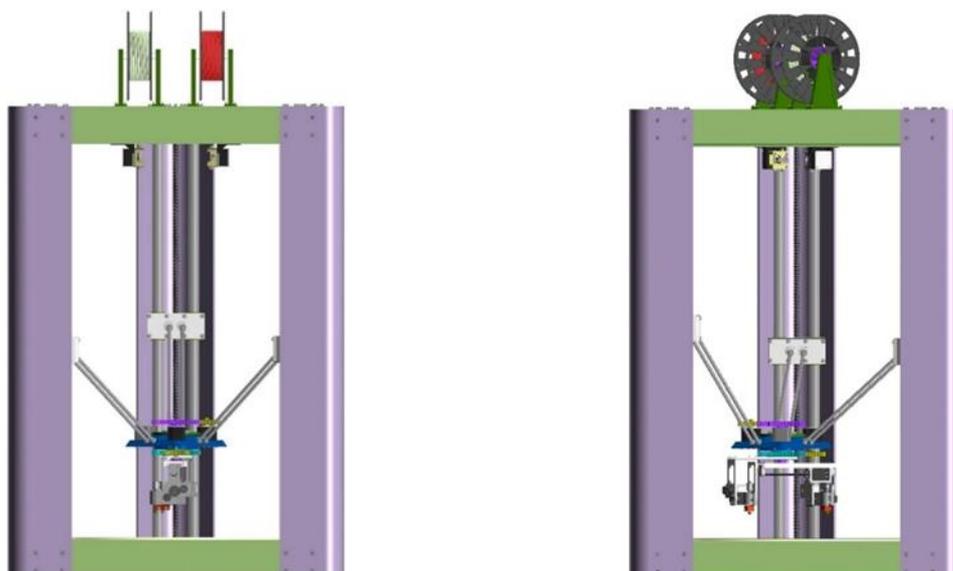


Рисунок 3. Модель 8D – принтера

Принцип работы дельта принтера заключается в следующем: при подаче электрической энергии на привод, расположенный в основании 1 (рис. 4), ротор двигателя передает крутящий момент ходовому винту 2 и перемещает каретку 3 по

направляющим 17. Каждая каретка связана при помощи тяг с подвижной платформой 5, что предполагает изменение положения подвижной платформы 5 при поступательном перемещении кареток 3 вдоль направляющих устройства. При этом подвижная платформа 5 занимает необходимое положение, определяемое заданными программой координатами относительной области печати. На платформе 5 подвижно установлены рабочие органы в виде двух экструдеров.

Возможность независимой работы экструдеров реализуется следующим образом. Поворотное движение верхней поворотной платформы 13 достигается за счёт передачи крутящего момента от шагового приводного двигателя 7, посредством шестерни 12 и зубчатого колеса 11. Аналогичным образом организовано поворотное движение нижней поворотной платформы 16 от шагового двигателя 4 через приводную шестерню 8 и вал-шестерни 6. Дополнительное линейное перемещение экструдера вдоль нижней поворотной платформы 16 реализуется за счёт ходового винта 15, который является элементом конструкции приводного шагового двигателя 14, рис. 3.

Процесс подачи филамента реализован от катушек 9 и 10 на фидеры 18, 19 (рис. 4), которые протягивают нить филамента (при помощи встроенного электродвигателя) для подачи в экструдеры. Экструдерами реализуется расплавление филамента и запрограммированное объёмное движение, которое и осуществляет принцип 3D печати объекта.

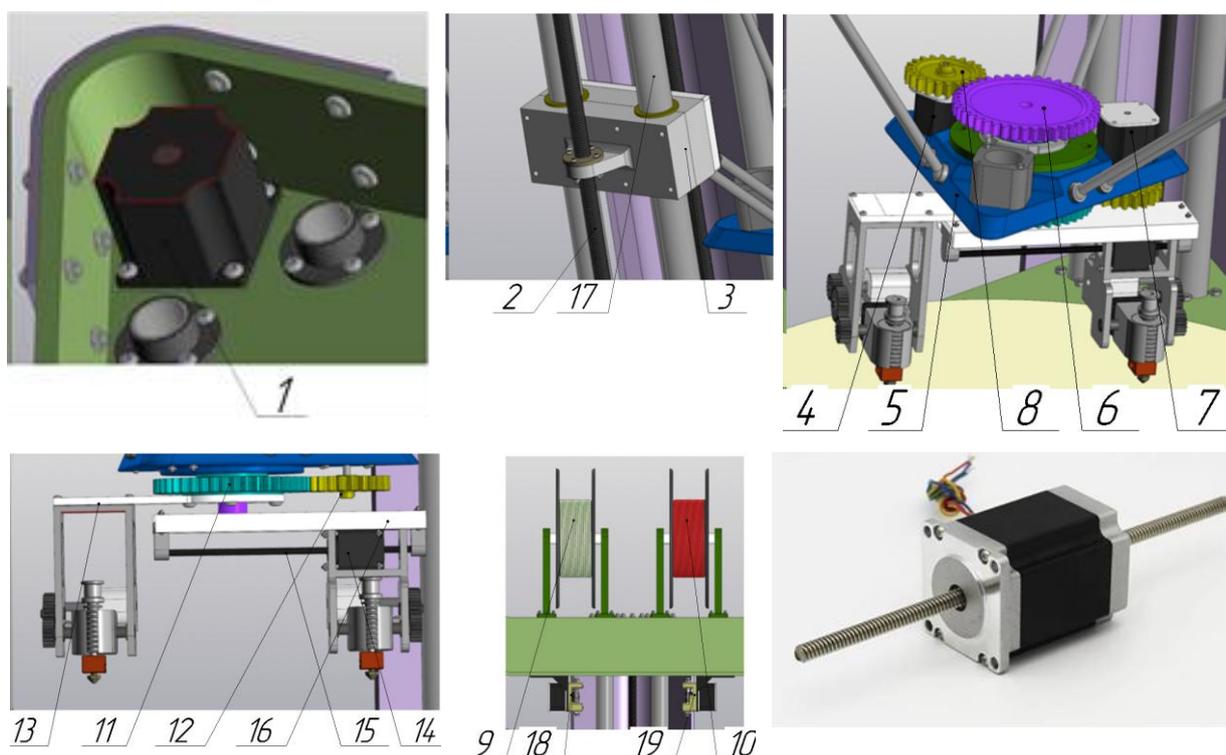


Рисунок 4. Элементы конструкции дельта принтера

Подбор электродвигателей производился по мощности и необходимому крутящему моменту [2, 4]. Для определения параметров электродвигателей разработана расчётная схема, рис. 5а. На схеме указаны следующие элементы: электродвигатели,

ведущие шестерни, зубчатые колеса. Для расчёта принимаем граничное положение подвижного экструдера. Для определения параметров линейного двигателя разработана расчетная схема, рис. 5б.

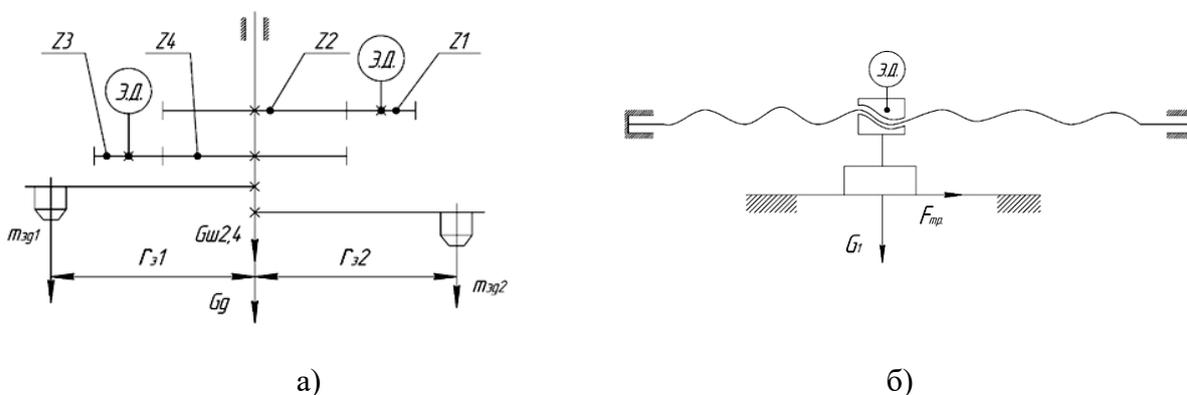


Рисунок 5. Расчётные схемы для выбора: а) шагового, б) линейного двигателей

На рис. 5 обозначено: ЭД – электродвигатель, Z – зубчатые колеса;  $m_{эд}$  – масса сборочной единицы экструдера;  $G_{\delta}$  – вес платформ;  $G_{ш2,4}$  – вес зубчатых колес Z<sub>2</sub> и Z<sub>4</sub>;  $r_z$  – расстояние расположения экструдеров относительно оси поворота платформ; G – вес подвижной части рабочего органа нижней платформы;  $F_{тр}$  – сила трения, возникающая при перемещении подвижной части рабочего органа по направляющей поворотной платформы.

По результатам расчетов в качестве шаговых двигателей платформ приняты двигатели NEMA 17 SL42STH48-1684B, в качестве приводного двигателя линейного перемещения экструдера выбран двигатель NEMA 11 28SHD4202-03TL. Принятая компоновка приводного электродвигателя позволила упростить конструкцию редуктора для передачи крутящего момента силовым механизмам.

Для решения задачи печати в труднодоступных местах была использована конструкция поворотного механизма рабочего органа, рис.6, применяемая в работах [5, 6]. Такая конструкция позволит упростить печать специальных навесных структур, а также при необходимости печати одним экструдером поворот рабочего органа позволит предотвратить вытекание пластика из неактивного сопла.

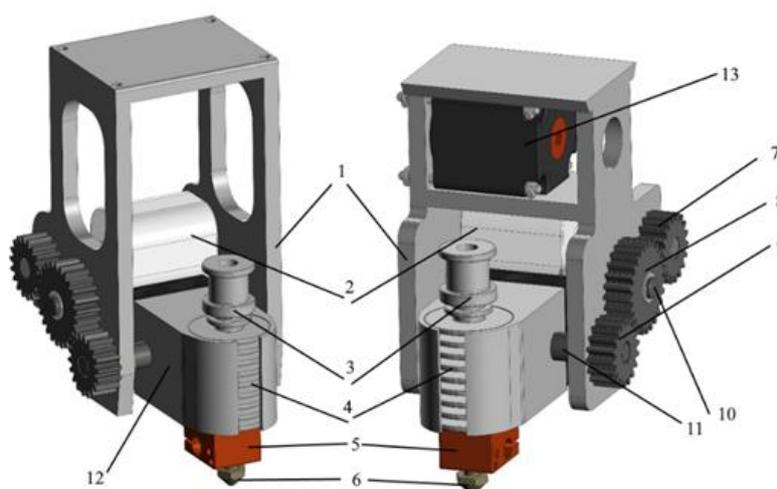


Рисунок 6. Модели поворотных механизмов печатающих органов

При проектировании конструкции поворотного экструдера в качестве аналога принят рабочий орган типа Bowden [7], в качестве привода - электродвигатель компании Azgant.

Спроектированные узлы и детали принтера рассчитаем на прочность в специализированном приложении АРМ FEM КОМПАС-3D. Результаты расчетов конструкций поворотных платформ приведены на рис. 7.

Результаты исследований подтверждают замыслы авторов, характеризующие незначительные механические напряжения и деформации поворотных платформ при приложении рабочих нагрузок.

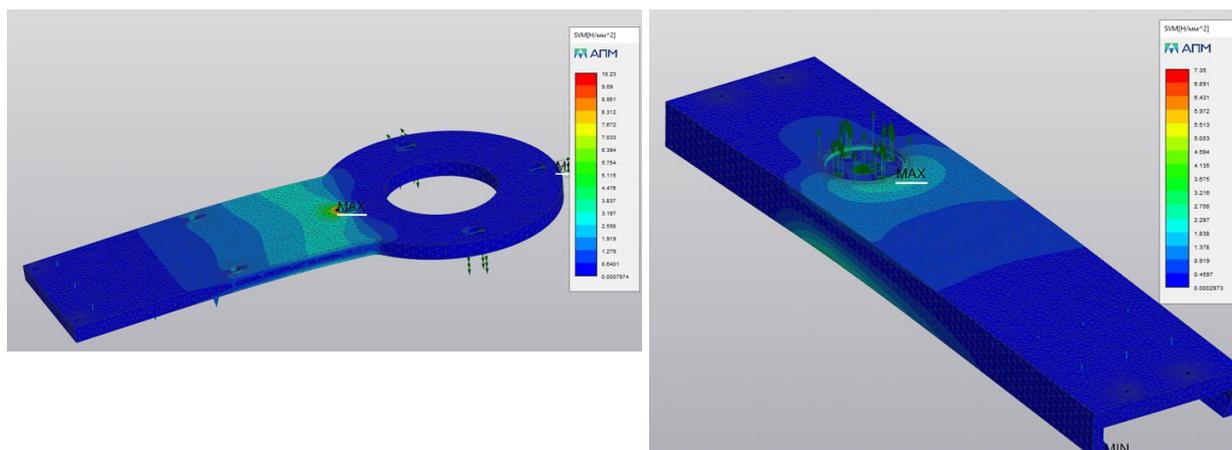


Рисунок 7. Вид напряжённого состояния подвижных платформ принтера

Таким образом, разработанная конструкция и схема расположения подвижных платформ с экструдерами даёт возможность независимого движения рабочих органов в рамках допустимых пределов прочности и деформаций устройства, что позволит не только расширить технологические возможности работы 3D-принтера, например, печатать одну большую деталь двумя экструдерами одновременно или печатать одновременно две одинаковые детали меньшего размера, но и использовать новые технологии печати, позволяющие существенно увеличить производительность выполнения работ.

### 3. Заключение

Проведенные авторами исследования позволили разработать структурную и кинематическую схемы 8D-принтера Дельта компоновки, в которой впервые предложено дополнение верхней платформы принтера двумя поворотными платформами с экструдерами, с независимым движением и коаксиально расположенными осями поворота. Экструдер, расположенный на нижней поворотной платформе, имеет возможность продольного поступательного перемещения вдоль платформы. Экструдеры имеют возможность наклона на угол  $\alpha$  к вертикальной оси Z принтера.

По результатам проведенной работы синтезирована 3D-модель принтера с дополнительной функциональностью для реализации 8D-печати, позволяющая реализовать новые технологии объемной печати с высокой производительностью и точностью выполняемых работ.

Предложенные структурная, кинематическая схемы и разработанная конструкция устройства могут использоваться проектными и инженерными

компаниями, машиностроительными предприятиями на стадии проектирования новых и модернизации существующих промышленных 3D-принтеров, что позволит повысить их производительность и реализовать новые технологии печати объектов машиностроения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении [Текст] / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш // Пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. - 220 с.
2. Горобец, И. А. Проектирование и моделирование параметров 3D-принтера параллельной структуры / И. А. Горобец, Д. О. Киселица, Д. С. Жарких // Высокие технологии в машиностроении Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции с международным участием. - Самара, СГТУ, 2024. С.25-29
3. Хейло, С. В. Манипуляционные механизмы параллельной структуры. Структурный синтез. Кинематический и силовой анализ: монография [Текст] /С. В. Хейло, В. А. Глазунов, С. В. Палочкин – М.: ФГБОУ ВПО МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2011. – 153с.
4. Горобец, И. А. Исследование структурных схем конструкций 3D-принтера [Текст] / И. А. Горобец, Лахин А. М., Киселица Д. О., Жарких Д. С. // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-18 сентября 2022 г. – Донецк: ДонНТУ, 2022. – С. 80-83.
5. Горобец, И. А. Исследование и разработка конструкции 3D - принтера повышенного объема печати [Текст] / И. А. Горобец, Д. О. Киселица, Д. С. Жарких // Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения» - Донецк, ДонНТУ, выпуск № 3(82)' 2023.- С.19-25
6. Горобец, И. А., Синтез конструкции модуля экструдера 5D-принтера / И. А. Горобец, Д. О. Киселица, Д. С. Жарких // Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения» – Донецк, ДонНТУ, выпуск № 1(84)' 2024.- С.3-10.

Поступила в редколлегию 19.03.2025 г.