

**Заключение.** В исследовательской работе мы сформулировали требования к биомеханическому тренажёру руки человека — движения должны формироваться по сигналам нервной системы человека о желаемом им движении руки.

Изучение и анализ материалов по теме нашего исследования позволяет сделать следующие выводы: CRAB (capturing rehabilitation anthropomorphic block) — это автоматизированный манипулятор для кисти руки, основной функцией которого является оказывать дополнительное усилие при выполнении каких-либо движений пользователя, он будет дешевле зарубежных аналогов, поскольку ориентировочная себестоимость будет менее 1 500 белорусских рублей.

#### Список цитируемых источников

1. Сочетание использования миоэлектрического ортеза верхних конечностей с терапией на основе двигательного обучения при хроническом инсульте и ЧМТ [Электронный ресурс] // Официальный сайт научно-консультативного центра Myomo. — Режим доступа : <https://myomo.com/wp-content/uploads/2022/02/Fatone-2021-Academy-2021.pdf> — Дата доступа : 24.09.2022.

2. Стандарт интеграции человека и системы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://msis.jsc.nasa.gov/Volume1.htm> — Дата доступа : 24.09.2022.

3. Исследования MioПро [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://myomo.com/myopro-research> — Дата доступа : 24.09.2022.

УДК 539.383

П. В. Макарьчик, Л. Л. Сотник

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОДДЕРЖЕК ПРИ 3D ПЕЧАТИ

**Введение.** 3D печать может осуществляться различными методами, но на данный момент в основе каждого из них лежит послойное формирование, т. е. каждый объект выращивается определенным образом и состоит из множества горизонтальных слоев, склеенных собственным или связующим материалом. Если модель имеет выступ или свесы, которые не поддерживаются в процессе печати, появляется необходимость добавлять дополнительные структуры, чтобы обеспечить успешную печать, в противном случае каждый следующий слой «висящий в воздухе» будет провисать и качество отпечатка будет неприемлемо.

Несущие конструкции считаются «неизбежным злом» в 3D-печати. С одной стороны, они абсолютно необходимы для моделей с критичными свесами, выступами или мостами. С другой стороны, они увеличивают расход материала, увеличивают время последующей обработки и могут сильно повредить поверхность модели. Поэтому правильное создание поддерживающих структур 3D-печати является очень важным аспектом 3D-печати сложных моделей.

В частности, для экономии материала предлагается использовать в качестве поддержек балки с переменным сечением.

**Основная часть.** Для начала необходимо разобраться, что собой представляют поддержки и в каких случаях они применяются.

Поддержки применяются в тех случаях, когда деталь имеет в своей геометрии какие-либо выступы или мосты (рисунок 1) [1].

Но применение поддержек не всегда оправдано. При угле выступов 45 и менее градусов создание поддержек не требуется. Значение угла может варьироваться и сильно зависит от возможностей конкретного принтера (рисунок 2).

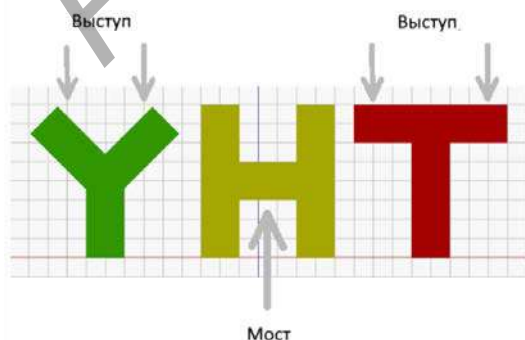


Рисунок 1 — Примеры выступов и моста

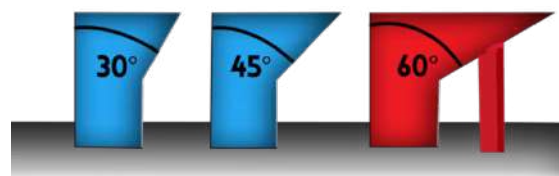


Рисунок 2 — Допустимые углы при 3D печати

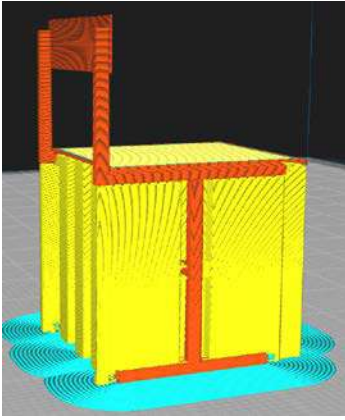


Рисунок 3 — Линейные или аккордеонные поддержки

Точно так же как и выступы не все мосты требуют поддержек. Здесь действует следующее правило: если длина моста менее 5 мм, принтер может распечатать его без поддержек [1].

Для этого принтер использует технику, называемую шунтированием — когда он растягивает горячий материал на короткие расстояния и печатает его с минимальным провисанием.

Однако если длина моста менее 5 мм, то этот метод не работает. В этом случае необходимы поддержки.

На практике применяется 2 вида поддержек: древовидные (точечные) и линейные или аккордеонные (рисунок 3).

В качестве альтернативы предлагается использовать поддержки в виде стержней переменного или постоянного сечения. Использование таких стержней имеет множество преимуществ:

- меньшее использование материала для создания поддержек;
- уменьшение затрачиваемого времени на постобработку;
- меньший риск повреждения детали в процессе удаления поддержек по сравнению с линейными поддержками;
- более устойчивая опора по сравнению с древовидными поддержками.

Сжатые стержни могут терять устойчивость, т. е. прямолинейная форма равновесия переходит в криволинейную, так как стержень изгибается. Потеря устойчивости опасна тем, что даже незначительное повышение нагрузки приводит к значительному изгибу. Из-за изгиба стержня в его поперечных сечениях помимо напряжений сжатия возникают изгибные напряжения, что может привести к разрушению. Наименьшее значение осевой сжимающей нагрузки, при которой происходит потеря устойчивости прямолинейной формы равновесия стержня, называется критическим. Критическое значение нагрузки зависит от гибкости стержня. Гибкость стержня определяют по формуле [2].

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}},$$

где  $\mu$  — коэффициент приведенной длины, учитывающий способ заделки концов стержня, при печати поддержек  $\mu = 1$ ;

$l$  — длина стержня (поддержки), мм;

$i_{\min}$  — минимальный радиус инерции, мм,

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}},$$

где  $I_{\min}$  — минимальный момент инерции сечения, мм<sup>4</sup>, для круглого сечения

$$I_{\min} \approx 0,05d^4,$$

$A$  — площадь поперечного сечения стержня, мм<sup>2</sup>.

Критическое напряжение определяют по формуле Эйлера

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2},$$

где  $E$  — модуль продольной упругости, МПа.

Критическая сила определяется по формуле

$$F_{\text{кр}} = \sigma_{\text{кр}} A.$$

**Заключение.** Анализ теоретических исследований показывает, что оценить несущую способность стержня (поддержки) провести можно, однако разнообразие материалов применяемых в 3D печати не дает полного понимания о гибкости поддержек и нуждается в экспериментальном исследовании.

Работа материала в пластической стадии представляет огромный резерв прочности, благодаря которому конструкция, как правило, не разрушается в прямом смысле (нарушение целостности), а теряет несущую способность из-за больших деформаций.

#### Список цитируемых источников

1. Поддержки в 3D печати [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://3dradar.ru/post/47841/> / Поддержки в 3D печати. — Дата доступа : 05.10.2022.
2. *Беляев, Н. М.* Соппротивление материалов: учебник / Н. М. Беляев. — М. : наука, 1976. — 607 с.