

В конечном счете, функционирование государственной информационной системы, основанной на принципах цифровизации в области прослеживаемости животных и продуктов животного происхождения, а также активная заинтересованность государства во внедрении прослеживаемости животных и пищевой продукции ведет к повышению безопасности и качества продуктов питания, устранению барьеров в сфере применения ветеринарных санитарных мер, при взаимной торговле с другими государствами, а также повышению экспортного потенциала субъектов хозяйствования Республики Беларусь.

#### Список цитируемых источников

1. Итоги работы животноводства за январь – июнь 2021 г. по районам / Белорусское сельское хозяйство : ежемес. науч.-практ. аграр. журн. — Минск, 2021. — № 8 — С. 29—31.
2. Доильная установка типа «Карусель» [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.gomelagro.com/katalog-produkcii/doilnaya-ustanovka-tipa-karusel/>. — Дата доступа : 01.10.2021.
3. Каталог продукции РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://belagromech.by/category/catalog/>. — Дата доступа : 01.10.2021.
4. Гутман, В. Н. Техническое обеспечение процессов приготовления и раздачи кормосмесей свиньям : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / В. Н. Гутман. — Уссурийск : ФГБОУ ВО Приморская ГСХА, 2021. — С. 24—30.

УДК 62-1/9

К. С. Казакевич, О. И. Наливко

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

### РАСЧЕТ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЗУБЧАТОГО МЕХАНИЗМА ПРИ ПОМОЩИ CAD И FDM ТЕХНОЛОГИЙ

**Введение.** Зубчатые механизмы являются одним из наиболее распространенных в машиностроении видом механических передач. Их применяют для передачи вращательного движения с одного вала на другой или для преобразования вращательного движения в поступательное и изменение скорости вращения валов [1]. Для получения зубчатых зацеплений из пластика, как правило, используются механические способы обработки заготовок. На сегодняшний день к одним из способов получения пластмассовых зубчатых колес можно отнести аддитивные технологии.

Аддитивные технологии или Additive Manufacturing (AM-технологии) — обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным цифровой модели (или CAD-модели) методом послойного добавления (add, англ. добавлять, отсюда и название) материала. На сегодняшний день это одно из наиболее динамично развивающихся направлений «цифрового» производства. Аддитивные технологии позволяют на порядок ускорить НИОКР и решение задач подготовки производства, а в ряде случаев уже активно применяются и для производства готовой продукции в металлургии и машиностроении [2].

Компьютерное моделирование и 3D печать все больше и больше внедряются во все отрасли современного мира. 3D-принтеры давно перестали быть фантастикой, их с успехом применяют в различных областях от промышленности до медицины. Сегодня на 3D-принтерах конструктор может напечатать практически все, начиная с деталей простой формы и заканчивая ювелирными украшениями. Для изготовления деталей одного наличия 3D-принтера мало. Необходимо обладать знаниями моделирования и навыками работы со специализированными программами, которые зачастую поставляются вместе с 3D принтером. Каждая из таких программ (слайсеров) имеет первичные настройки. Однако, этого не всегда достаточно для решения задач, связанных с аддитивными технологиями. В процессе работы пользователь может самостоятельно принимать разнообразные настройки печати, которые изменяются в зависимости от конструктивных особенностей проектируемой модели изделия, а также свойств применяемого пластика. В данной статье рассмотрено применение FDM технологий на примере изготовления детали, имеющей в своей конструкции зубчатое зацепление.

**Основная часть.** Для расчета зубчатого колеса воспользуемся специализированной программой «Валы и механические передачи» (рисунок 1). В ходе расчета следует учитывать противоречивость и разнообразие факторов, влияющих на геометрию реальной пластмассовой зубчатой передачи. Затрудняет задачу выбор оптимального значения коэффициента смещения. Задача усложняется необходимостью учета в расчетах не только усадку, погрешности изготовления, температурные деформации и изменение размеров вследствие поглощения воды, но и то, что указанные формы зависят от размеров рассчитываемых колес и модуля зацепления.

Для осуществления геометрических расчетов эвольвенты зуба и дальнейшей их визуализации использовалась деталь прототип, входящая в механизм принтера. Параметры определим, обмеряв вышедшую из строя деталь. Интересующие нас параметры имеют значения  $d_a = 28,5$  мм, ширина зубчатого венца  $b = 2$  мм. Зная диаметр вершин зубьев и их количество, необходимо определить подходящий модуль. Выбор модуля представлен на рисунке 2. Подставив значения модуля, получаем данные, представленные в таблице 1.

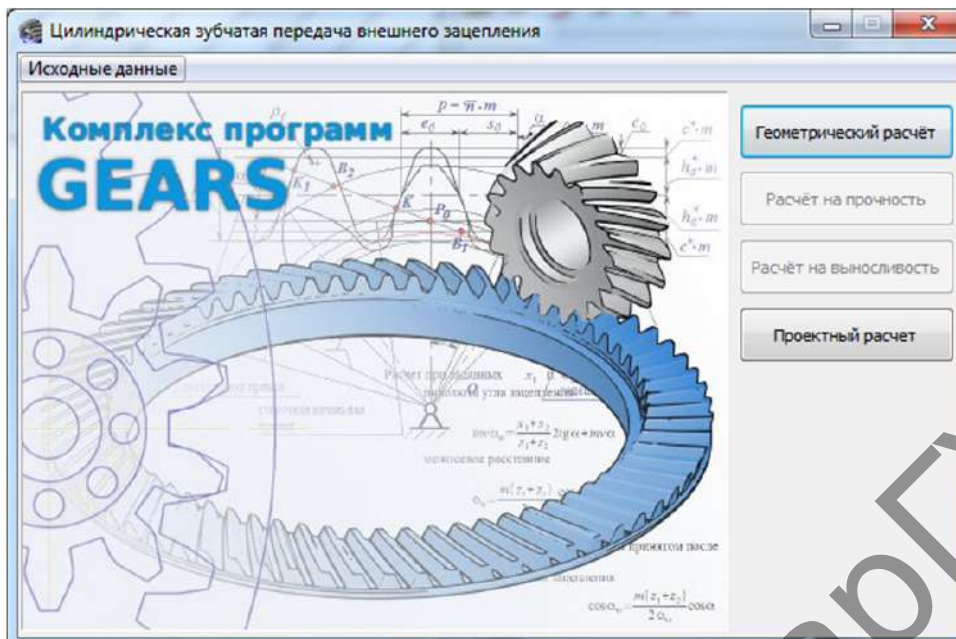


Рисунок 1 — Внешний вид библиотеки валы и механические передачи

Двойной диаметальный (дробный) питч по стандарту фирмы Феллоу (USA)

Двойной диаметальный (дробный) питч по системе Феллоу	Модуль, мм	Коэффициент высоты головки	Коэффициент радиального зазора
	$m$	$h_a^*$	$c^*$
40 / 54	0.635	0.7407	0.1852
38 / 50	0.6684	0.76	0.19
36 / 48	0.7056	0.75	0.1875
34 / 45	0.7471	0.7556	0.1889
32 / 42	0.7938	0.7619	0.1905
30 / 40	0.8467	0.75	0.1875
28 / 37	0.9071	0.7568	0.1892

Угол главного профиля  $\alpha = 20^\circ$   
 Коэффициент высоты ножки  $h_f^* = h_a^* + c^* = 0.9259$   
 Коэффициент граничной высоты  $h_i^* = 2 \cdot h_a^* = 1.4815$   
 Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой  $\rho_f^* = 0.3$

Рисунок 2 — Выбор модуля и исходного контура

Таблица 1 — Геометрический расчет зубчатой передачи внешнего зацепления

Наименование и обозначение параметра	Определяемые параметры	Значение
Делительный диаметр, мм	$d$	26,67
Диаметр вершин зубьев, мм	$d_a$	28,42
Диаметр впадин зубьев, мм	$d_f$	26,4
Начальный диаметр, мм	$d_w$	27,42

Принимая во внимание полученные результаты, была спроектирована твердотельная модель шестерни, которая представлена на рисунке 3.

Заключительным этапом проектирования является подготовка модели в специализированной программе.

Предпечатная подготовка 3D-модели является важной процедурой для печати по технологии FDM. Создание качественного прототипа по FDM технологии из 3D-модели является не простой задачей, ввиду ряда ограничений данной технологии. Для преодоления этих ограничений проводится предпечатная подготовка, которая доводит модель до вида, удовлетворяющего критериям печати по технологии FDM. При подготовке приходится решать проблему точного повторения геометрической формы, собираемости, внешнего вида и поиска материалов. Проведение правильной подготовки 3D-модели позволяет избежать нарушения геометрии и различных дефектов при печати прототипа [3]. На этапе создания 3D-модели для печати по FDM-технологии стоит учитывать размеры её отдельных элементов и её общие габариты. FDM-принтер не сможет напечатать деталь меньшего размера, чем диаметр используемого сопла. На модели необходимо выделить плоское основание, которое будет приклеиваться к столу для фиксации и с которого начнётся печать прототипа. Это необходимо для сохранения геометрии модели и во избежание смещений модели по осям координат. Если на модели сложно выделить такое основание или его площадь мала, то для такой модели необходимо подготовить подложку. Для полых 3D-моделей или 3D-моделей с нависающими элементами необходимо сгенерировать поддерживающие конструкции (поддержки) и настроить их соответствующим образом для экономии материала и простоты последующего удаления с прототипа [4].

Вид окна FlashPrint с финальными настройками, представлен на рисунке 4.

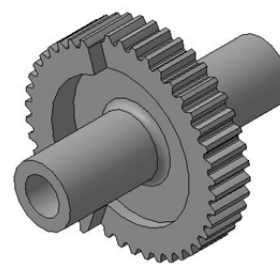


Рисунок 3 — Спроектированная модель шестерни

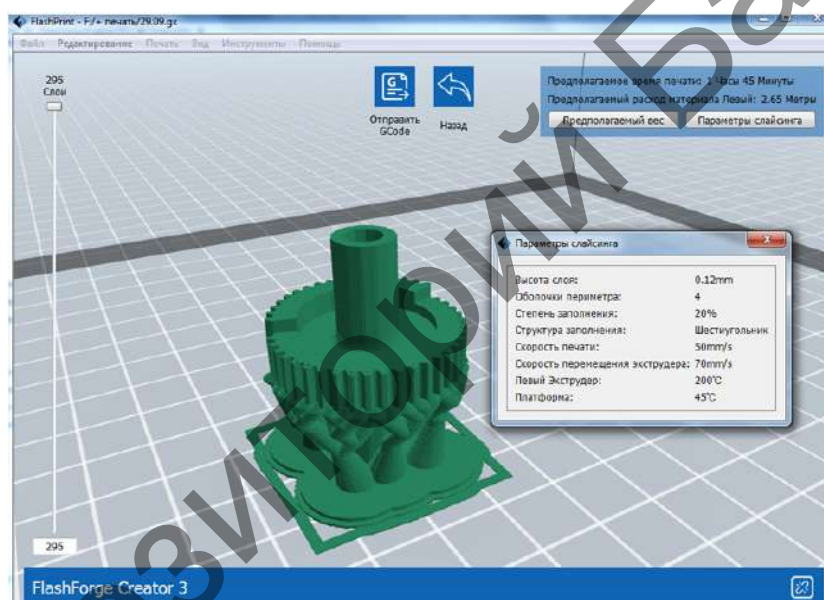


Рисунок 4 — Вид окна модели FlashPrint

**Заключение.** Напечатанные пластиковые шестеренки относительно имеют невысокую стоимость, процесс изготовления занимает не так много времени, как кажется, можно без труда получить шестерню необходимой конструкции. Можно применять 3D-вариации конструкции шестерни. Процесс прототипирования и создания проходит быстро и чисто. Самое главное то, что 3D-принтеры стали достаточно распространены, так что можно осуществлять ремонт разнообразных узлов, тем самым продлевать срок службы всего механизма. Еще одно из преимуществ 3D печати — нет необходимости изготавливать твердотельную модель в какой-то определенной системе автоматизированного проектирования, достаточно сохранить модель в необходимом формате STL и произвести настройку печати в выбранном слайсере. Правильно спроектированные, напечатанные шестеренки могут оказаться достаточно эффективным и разумным вариантом, а для некоторых решений — идеальным.

#### Список цитируемых источников

1. Расчет зубчатых передач [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [https://studref.com/605505/tehnika/raschet\\_zubchatyh\\_peredach/](https://studref.com/605505/tehnika/raschet_zubchatyh_peredach/) — Дата доступа : 28.09.2021.
2. 3D принтеры [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://eav.su/catalog/resheniya-dlya-3d-pechati-i-3d-skanirovaniya/additivnye-tehnologii-v-masinstroenii-i-metallurgii-prototipirovanie/> — Дата доступа : 28.09.2021.
3. Афанасьев, В. К. 3D-принтеры. Статья. [Электронный ресурс] / 3DNews, 2004. — Режим доступа : <http://www.3dnews.ru/peripheral/3dprint/>. — Дата доступа : 28.09.2021.
4. Попов, С. Ю. Программное обеспечение подготовки 3D-моделей к 3D-печати / С. Ю. Попов, А. Н. Зеленина, Н. М. Токарева // Вестн. Воронеж. инст. выс. техн. — 2019. — Вып. 29 — С. 55—59.