**СОДЕРЖАНИЕ**

[1. ВВЕДЕНИЕ 2](#_Toc430461508)

[1.1. Наименование программы 2](#_Toc430461509)

[1.2. Условное обозначение темы разработки 2](#_Toc430461510)

[1.3. Документы, на основании которых ведется разработка 2](#_Toc430461511)

[2. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ 3](#_Toc430461512)

[2.1. Назначение программы 3](#_Toc430461513)

[2.1.1. Функциональное назначение 3](#_Toc430461514)

[2.1.2. Эксплуатационное назначение 3](#_Toc430461515)

[2.2. Область применения программы 3](#_Toc430461516)

[3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 4](#_Toc430461517)

[3.1. Постановка задачи на разработку программы 4](#_Toc430461518)

[3.2. Описание алгоритма и функционирования программы 4](#_Toc430461519)

[3.2.1. Описание алгоритма программы 4](#_Toc430461520)

[3.2.1.1. Создание профиля зуба эвольвентного соединения 4](#_Toc430461521)

[3.2.1.2. Создание цилиндрических прямозубых зубчатых колес 5](#_Toc430461522)

[3.2.1.3. Создание конических прямозубых зубчатых колес 5](#_Toc430461523)

[3.2.1.4. Создание винтовых криволинейных зубчатых колес 6](#_Toc430461524)

[3.2.1.5. Алгоритм определения наличия пересечения цилиндров 7](#_Toc430461525)

[3.2.2. Обоснование выбора алгоритма решения задачи 7](#_Toc430461526)

[3.2.3. Возможные взаимодействия программы с другими программами 8](#_Toc430461527)

[3.3. Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных 8](#_Toc430461528)

[3.4. Описание и обоснование выбора состава технических и программных средств 8](#_Toc430461529)

[4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ 9](#_Toc430461530)

[4.1. Предполагаемая потребность 9](#_Toc430461531)

[4.2. Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами 9](#_Toc430461532)

[5. ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ 10](#_Toc430461533)

[ОПИСАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ МОДУЛЕЙ 11](#_Toc430461534)

[ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ 12](#_Toc430461535)

# ВВЕДЕНИЕ

## Наименование программы

Наименование программы – «Программа визуального моделирования зубчатой передачи».

## Условное обозначение темы разработки

Условное обозначение темы разработки – «Симулятор зубчатой передачи».

## Документы, на основании которых ведется разработка

Разработка ведется на основании приказа Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ «наименование приказа»

# НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

## Назначение программы

### Функциональное назначение

Функциональным назначением программы является 3D моделирование зубчатых передач: цилиндрических прямозубых с параллельными осями, конических прямозубых с пересекающимися осями и винтовых криволинейных со скрещивающимися осями.

### Эксплуатационное назначение

Эксплуатационным назначением программы является предоставление пользователям удобный кроссплатформенный симулятор зубчатых передач, доступ к которому можно легко получить. Программа может быть использована в учебных целях для демонстрации различных зубчатых передач и их взаимодействия.

## Область применения программы

Симулятор зубчатой передачи применяется для учебной демонстрации различных зубчатых передач и их взаимодействия.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

## Постановка задачи на разработку программы

Постановка задачи – разработка программы 3D моделирования зубчатых передач: цилиндрических прямозубых с параллельными осями, конических прямозубых с пересекающимися осями и винтовых криволинейных со скрещивающимися осями. Зубчатые передачи должны соединятся с валами и друг с другом и поддерживать вращение. Программа должна быть реализована, в виде одностраничного веб-приложения с использованием WebGL.

## Описание алгоритма и функционирования программы

### Описание алгоритма программы

Программа состоит из нескольких алгоритмов, реализующих различные функции программы:

1. Создание профиля зуба эвольвентного зацепления
2. Создание цилиндрических прямозубых зубчатых колес
3. Создание конических прямозубых зубчатых колес
4. Создание винтовых криволинейных зубчатых колес
5. Алгоритм определения наличия пересечения цилиндров

### Создание профиля зуба эвольвентного соединения

Для построения профиля зуба используются две эвольвенты окружности. Эвольвента описывается следующими параметрическими уравнениями:

Где – радиус окружности, – угол поворота в радианах.

Профиль зуба начинается с основной окружности (base circle), поэтому . Чтобы найти максимальный угол поворота, представим уравнения выше в полярных координатах.

Возведем в квадрат обе части уравнений и сложим. Получается

Так как профиль зуба заканчивается у окружности вершин зубьев (outside circle), то . Из уравнения выше мы можем найти, что максимальный угол поворота (у outside circle) равен

Чтобы построить первую сторону зуба нужно построить эвольвенту, повернуть ее на половину угла зуба у основной окружности , где – количество зубцов в шестеренке, – угол зацепления

Чтобы построить вторую половину зуба нужно отразить первую сторону относительно оси .

Чтобы закончить профиль зуба нужно провести отрезки, идущие из концов эвольвент центру и заканчивающихся у окружности впадин зубьев (root circle)

### Создание цилиндрических прямозубых зубчатых колес

На вход алгоритму даются – количество зубцов у колеса, – угол зацепления, – ширина колеса, – модуль, -радиус вала.

Вначале высчитываются все необходимые значения

* – диаметр длительной окружности (pitch circle diameter)
* - радиус основной окружности (base circle radius)
* - радиус окружности вершин зубьев (outside circle radius)
* - радиус окружности впадин зубьев (root circle radius)

Далее строится колесо без зубьев, имеющее внутренний радиус равный , внешний равный и ширину равную .

После этого строятся зубья, как описано в 3.2.1.1 и с шириной . Эти зубья расположены на расстоянии радиан друг от друга.

### Создание конических прямозубых зубчатых колес

На вход алгоритму даются – количество зубцов у колеса, – количество зубцов у колеса, – угол зацепления, – ширина колеса, – модуль, -радиус вала.

Вначале высчитываются все необходимые значения

* – диаметр длительной окружности (pitch circle diameter)\
* - угол делительного конуса (pitch cone angle)
* – конусное расстояние
* – заднее конусное расстояние
* – высота головки зуба (addendum)
* – высота ножки (dedendum)
* – нижний (больший) радиус колеса
* – верхний (меньший) радиус колеса
* – длина зуба (face width)
* - радиус основной окружности (base circle radius)
* - радиус окружности вершин зубьев (outside circle radius)
* - радиус окружности впадин зубьев (root circle radius)

Далее строится колесо без зубьев, имеющее с одной стороны радиус равный , c другой , внутренний радиус равный и ширину равную .

После этого строятся зубья. В начале создается профиль зуба с большей стороны по высчитанным параметрам как описано в 3.2.1.1. Далее этот профиль сдвигается по оси на расстояние и поворачивается относительно оси на радиан. После этого создается меньший профиль зуба, путем переноса каждой точки большого профиля в сторону пересечения осей валов на расстояние . Чтобы получить зуб, профили соединяются.

Эти зубья расположены на расстоянии радиан друг от друга.

### Создание винтовых криволинейных зубчатых колес

На вход алгоритму даются – количество зубцов у колеса,

– нормальный угол зацепления, – угол наклона линии зуба, – ширина колеса,

– нормальный модуль, -радиус вала.

Вначале высчитываются все необходимые значения

* – диаметр длительной окружности (pitch circle diameter)
* – окружной угол зацепления (radial pressure angle)
* - радиус основной окружности (base circle radius)
* - радиус окружности вершин зубьев (outside circle radius)
* - радиус окружности впадин зубьев (root circle radius)

Далее строится колесо без зубьев, имеющее внутренний радиус равный , внешний равный и ширину равную .

После этого строятся зубья. Зуб представляют собой движущийся по винтовой линии профиль зуба, описанный в 3.2.1.1 . Винтовая линия имеет следующие параметрические уравнения в цилиндрической системе координат.

имеет диапазон

Эти зубья расположены на расстоянии радиан друг от друга.

### Алгоритм определения наличия пересечения цилиндров

Для шестеренок и осей хорошо подходит цилиндр, как ограничивающая фигура. Поэтому для определения пересечения шестеренок и осей используется алгоритм пересечения цилиндров.

На вход алгоритму даются –центры цилиндров, – вектора направления осей цилиндров, – радиусы цилиндров, – высоты цилиндров.

Два цилиндра не пересекаются, если существует прямая, на которой их проекции не пересекаются. Пусть такая прямая называется разделяющей прямой. Так как параллельный перенос прямой разделяющей прямой является разделяющей прямой, то можно провести прямую через начало координат. Такая прямая будет определяться разделяющим вектором .

Пусть и . Тогда тест на пересечение выглядит следующим образом

Вначале проверим случаи, когда направление разделяющего вектора совпадет с осями: и .

Если прошлая проверка не дала положительных результатов, проверим случаи, когда перпендикулярно осям. Такую проверку можно сделать на полукруге, поскольку разделяющий вектор и эквивалентны. Поиск нужного вектора сводится к поиску корня выпуклой функции. Для этого хорошо подходит метод бисекции.

Если разделяющий вектор до сих пор не был найден, то проводится поиск по всем остальным направлениям. Эта задача сводится к поиску минимума на выпуклой двумерной функции с линейными ограничениями. Эта задача может быть решена методом внутренней точки.

Подробное описание алгоритма описано в [2].

### Обоснование выбора алгоритма решения задачи

Алгоритмы 1-4 являются алгоритмами построения по формулам, описывающими зубчатые колеса, для них нет точных алгоритмов построения поэтому они были написаны самостоятельно с учетом механики фреймворка.

Алгоритмов для определения пересечения цилиндров не так много (мною было найдено 3) и все они отличаются сложным математическим аппаратом. В связи с этим был выбран тот, который использует более простой математический аппарат. Это позволило написать код, который легко отлаживать и поддерживать.

### Возможные взаимодействия программы с другими программами

Программа является standalone web приложением и не предполагает взаимодействия ни с какими другими программами, кроме браузера в которой она запускается.

## Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных

Входные данные могут задаваться двумя способами:

* Данные могут задаваться пользователю через специальную форму. Эта форма показывается пользователю при создании ведущей оси, добавлении любой шестерёнки на ось и к другим шестеренкам.
* Данные могут загружаться в виде JSON файла, который был ранее сохранен приложением

Выходными данными является JSON файл в котором сохраняется состояние зубчатой передачи. Этот файл можно потом загрузить для восстановления сохраненной зубчатой передачи.

## Описание и обоснование выбора состава технических и программных средств

Для корректной работы программы требуются следующие технические и программные средства:

1. процессор с частотой 1ГГц или более;
2. 1 гигабайт (ГБ) (для 32-разрядной системы) или 2 ГБ (для 64-разрядной системы) или более;
3. не менее 2 ГБ места на жестком диске;
4. монитор и видеоадаптер с разрешением 800 X 600;
5. мышь или совместимое указывающее устройство и клавиатура;
6. операционная система Microsoft Windows 7 или выше, Linux, Mac OS;
7. Браузер с поддержкой HTML5 и WebGL. Для сохранения и загрузки фалов требуется поддержка Map из спецификации ES6.

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

## Предполагаемая потребность

Программа может потребоваться в университетах, профессионально-технических училищах, техникумах и.т.д в качестве демонстрации работы зубчатых передач. Так как программа является бесплатной и может быть распространена по ссылке, то ее передача ученикам и показ на лекциях крайне удобны

## Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами

На момент создания приложения в сети не было обнаружено других приложений, позволяющих моделировать 3D зубчатые передачи в вебе.

Среди аналогов можно geargenerator.com который позволяет моделировать в вебе 2D цилиндрические прямозубые передачи и различные САПР для которых уже были реализованы различные зубчатые передачи.

# ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ

1. SDP/SI «Elements of Metric Gear Technology », 2010
2. David Eberly «Intersection of Cylinders» 2000-2015
3. Jeffery Baker, Jason Reynolds, Stephen Tecce «Parametric Design of a Spiral Gear Process», 2011
4. GEARS Educational Systems «Spur Gear Terms and Concepts»,2004
5. Gear Trains [Электронный ресурс] //URL: http://moodlearn.ariel.ac.il/pluginfile.php/837913/mod\_resource/content/0/%D7%9E%D7%9E%D7%A1%D7%A8%D7%95%D7%AA.pdf

Оформление не по ГОСТ

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

# ОПИСАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ МОДУЛЕЙ

|  |  |
| --- | --- |
| **Модуль** | **Назначение** |
| *app* | Входная точка программы. Инициализирует элементы UI и контроллеры. Выставляет настройки. |
| *сontrollers/GearTrainController* | Контроллер, обеспечивающий связь между пользователем и моделью зубчатой передачи |
| *controllers/MouseController* | Контроллер, обеспечивающий связь между мышкой и моделями зубчатых колес и валов |
| *math/Cylinder*  Нет описания классов (полей и методов),  Нет диаграммы классов | Представляет собой цилиндр как математическую фигуру. Используется для определения пересечений цилиндров. |
| *models/BaseRotatingPart* | Представляет собой базовый класс для всех моделей системы, совершающих вращение |
| *models/Shaft* | Представляет модель вала |
| *models/Gear* | Представляет собой базовый класс для всех моделей зубчатых колес |
| *models/SpurGear* | Представляет собой модель цилиндрического прямозубого зубчатого колеса |
| *models/BevelGear* | Представляет собой модель конического прямозубого зубчатого колеса |
| *models/HelicalGear* | Представляет собой модель винтового криволинейного зубчатого колеса |
| *models/GearTrain* | Представляет собой модель зубчатой передачи. |
| *ui/InfoBox* | Класс отвечающий за управление элементом, отвечающим за вывод информации о моделях |
| *ui/MesssageBox* | Класс отвечающий за управление элементом, отвечающим за вывод сообщений и ошибок. |
| *ui/ModalForm* | Класс создающий и отвечающий за форму ввода параметров |
| *views/BasicRotatingPartMesh* | Базовый класс mesh представляющий все 3D представления моделей |
| *views/ShaftMesh* | Класс mesh представляющий 3D модель вала |
| *views/SpurGearMesh* | Класс mesh представляющий 3D модель цилиндрического прямозубого зубчатого колеса |
| *views/BevelGearMesh* | Класс mesh представляющий 3D модель конического прямозубого зубчатого колеса |
| *views/HelicalGearMesh* | Класс mesh представляющий 3D модель винтового криволинейного зубчатого колеса |

# ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Лист регистрации изменений | | | | | | | | | |
| Номера листов (страниц) | | | | | Всего листов (страниц в докум.) | № документа | Входящий № сопрово-дительно-  го докум. и дата | Подл. | Да-  та |
| Изм. | Изменен-  ных | Заменен-  ных | новых | аннулированных |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Не обязательно |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |