Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт прикладной математики и механики

Работа допущена к защите

Заведующий кафедрой

_____ А.М. Кривцов

«___»_____2018 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛИ ВЕЛОСИПЕДНОЙ ВТУЛКИ

по направлению 01.04.03 «Механика и математическое моделирование»
по образовательной программе
01.04.03_03 «Механика и цифровое производство»

Выполнил
студент гр.23642/2 _____ А.А. Архипов

Руководитель
доцент, к.ф. - м.н. _____ О.С. Лобода

Санкт-Петербург

2018г.

РЕФЕРАТ

На 34 с., 22 рисунка, 2 таблицы.

BYCYCLE MOTO CROSS, ВЕЛОСИПЕДНАЯ ВТУЛКА, МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, SOLDWORKS, SOLIDWORKS SIMULATION

В данной работе изложена проблема надежности велосипедной втулки, описан принцип работы втулки, проведен анализ причин возникновения поломок, вынесена гипотеза о возможных путях изменения конструкции детали с целью повышения надежности. В пакете SolidWorks созданы модели детали до и после внесения изменений в конструкцию, описан метод конечных элементов, проведены расчеты прочностных характеристик детали методом конечных элементов с помощью утилиты Simulation пакета SolidWorks.

THE ABSTRACT

34 pages, 22 pictures, 2 tables.

BYCYCLE MOTO CROSS, BYCYCLE HUB, FINITE ELEMENT MATHOD, SOLDWORKS, SOLIDWORKS SIMULATION

In this paper, the problem of the reliability of a bicycle hub is described, the principle of operation is described, the causes of faults are analyzed, a hypothesis is made about possible ways of changing the design of the part for the purpose of increasing reliability. In the SolidWorks package, the model details are created before and after making changes to the design, the finite element method is described, the strength characteristics of the part are calculated by the finite element method using the SolidWorks Simulation utility

Содержание

Введение 5

1. Постановка задач 7

2. Принцип работы 8

3. Анализ недостатков 13

4. Моделирование 15

5. Метод конечных элементов 18

6. Расчеты 22

6.1 Контактное давление 22

6.2 Деформация 26

6.3 Напряжение 28

6.4 Анализ результатов 30

Вывод 32

Список использованных источников 33

Введение

Bicycle Moto cross, далее BMX (англ. - велосипедный мотто кросс) - одно из направлений велоспорта, зародилось в Калифорнии в 1970-х [11]. До 1990-х BMX включал в себя только дисциплину под названием «racing» (англ. - состязание в скорости). Позже появилась такая дисциплина как «freestyle» [8] (англ. - свободный стиль), которая включала в себя прыжки и различные акробатические элементы. Появлению новой дисциплины и ее развитию способствовал технический прогресс [18], поддержка различных организаций и зрелищность самого спорта. В России BMX – «freestyle» появился спустя 10 лет, в 2000-х годах. Сегодня дисциплина «freestyle» гораздо более популярна, чем «racing», более того, в 2016 году было принято решение о включении дисциплины «freestyle» в Летние Олимпийские Игры 2020 [17], что подтолкнет развитие спорта.

По мере роста популярности спорта стали появляться различные фирмы, выпускающие, продающие запчасти, амуницию, услуги связанные с BMX. Конкуренция между различными фирмами привела к постоянному поиску путей совершенствования велосипедов и амуниции. С другой стороны такая коммерциализация спорта привела к тому, что модернизация некоторых запчастей, пользующиеся большим спросом, ограничивается только внешними изменениями. Соответственно все технические недостатки предыдущих версий наследуются новым продуктом.

Последние несколько лет в БМХ индустрии активно используют втулки, имеющие особую конструкцию, под названием «freecoaster» (англ. freecoast – свободный спуск), такая конструкция [10] позволяет расширить возможности велосипеда и позволяет спортсменам исполнять более сложные акробатические элементы. Первая подобная втулка появилась в 1991 [16] и была непригодна для агрессивного катания. К 1998 году система была переработана для более агрессивного катания, и спустя примерно 5 лет стала набирать популярность.

Сегодня на рынке BMX запчастей представлено множество моделей «freecoaster»-втулок, однако конструктивно все они схожи друг с другом и имеют ряд недостатков.

1. Постановка задач

Цели

Целью работы – смоделировать велосипедную втулку, проанализировать механизм работы, выявить недостатки и предложить пути их устранения.

Задачи

При постановке задач необходимо учитывать, что анализировать конструкцию возможно только качественно, так как:

- Недостаточно сведений об используемых материалах
- Возможны упрощения и неточности в размерах при создании моделей деталей

Исходя из целей работы, и учитывая вышесказанное, поставлены следующие задачи:

- Собрать данные о недостатках конструкции «freecoaster»-втулок
- Выявить возможные причины возникновения проблем и предложить пути усовершенствования конструкции
- Смоделировать втулку, внести предложенные корректировки в его конструкцию
- Рассчитать прочностные характеристики для проблемных мест
- Сравнить результаты расчетов до и после внесения корректировок в конструкцию втулки

2. Принцип работы

Для лучшего понимания проблемы рассмотрим принцип работы втулки. Почти каждая велосипедная втулка[15] включает в себя следующие детали: корпус, драйвер и ось. Детали помечены цифрами 1, 2 и 3 соответственно на рис. 2.1.

Рис 2.1 Велосипедная втулка в разобранном состоянии

Ось имеет посадочные места под подшипники и резьбу с обоих концов, для того, чтобы с помощью гаек можно было зафиксировать втулку на раме велосипеда. Драйвер - является ведомой звездочкой цепной передачи велосипеда. Корпус защищает весь механизм от пыли и грязи, также на корпусе находятся отверстия для спиц. Втулка в собранном виде представлена на рис. 2.2.

Рис. 2.2 Велосипедная втулка в собранном виде.

Чтобы понять особенности работы «freecoaster»-втулок рассмотрим для начала обгонную муфту [3] - механизм, который, используется в подавляющем большинстве велосипедных втулок. На рис 2.3 схематично изображен принцип работы обгонной муфты. Голубым цветом обозначен корпус втулки, зеленым - драйвер, красным – так называемые собачки[15].

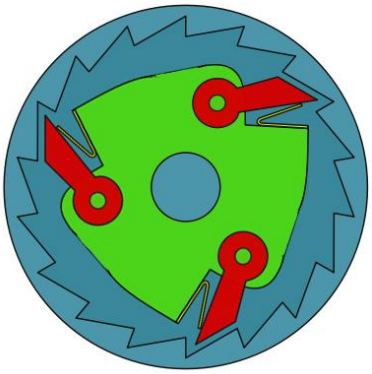

Рис. 2.3 Схематичное изображение храпового механизма

Суть работы механизма в том, что при вращении драйвера по часовой стрелке собачки упираются в пазы на корпусе втулки, и крутящий момент передается корпусу. При вращении драйвера против часовой стрелки собачки не упираются в пазы на корпусе, так как закреплены не жестко, а посредством пружины. Таким образом, корпус втулки может вращаться относительно драйвера только в одном направлении.

Однако, некоторые акробатические элементы включают в себя движение задом вперед, обгонная муфта работает таким образом, что при исполнении подобных элементов спортсмен вынужден крутить педали велосипеда в обратном направлении, чтобы ведущее колесо велосипеда не испытывало сопротивления при вращении в обратном направлении.

Перейдем к конструкции«freecoaster». В такой втулке взаимодействие между драйвером и корпусом осуществляется с помощью муфты сцепления, далее - клатч (англ. cluth - сцепление). На рис. 2.4 видно, что клатч и драйвер имеют резьбу для осуществления винтовой передачи. Таким образом вращательное движение драйвера преобразуется в возвратно-поступательное движение клатча.

Рис. 2.4 Клатч(слева) и драйвер(права)

На рис. 2.5 и рис. 2.6 показано внутреннее устройство механизма, синим цветом обозначен клатч, красным – драйвер. Стрелочками соответствующих цветов обозначено направление движения деталей. При вращении драйвера в одну сторону, клатч перемещается в крайнее правое положение, вплотную к внутренней стенке корпуса и, за счет трения крутящий момент будет передан корпусу (сверху на рис. 2.6). При вращении драйвера в другую сторону, клатч перемещается в крайнее левое положение и связь между корпусом и драйвером размыкается (снизу на рис. 2.6).

Чтобы добиться перемещения клатча вдоль оси нужно устранить его вращение вместе с драйвером, это достигается с помощью шариков, которые распираются пружиной, шарики обозначены желтым цветом на рис. 2.6. Такая

конструкция обеспечивает необходимое трение, препятствующее вращению клатча, заставляя его двигаться вдоль оси.

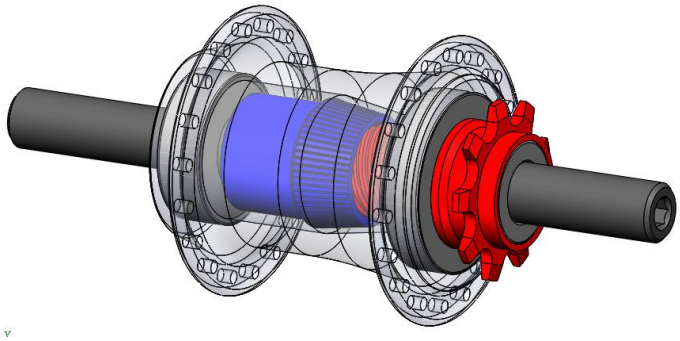

Рис. 2.5 Конструкция втулки «freecoaster»

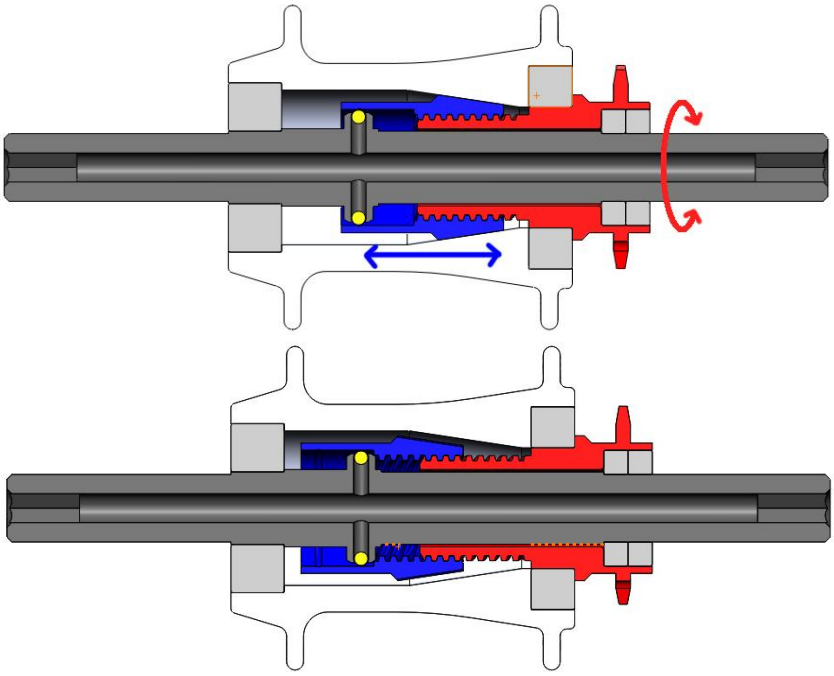

Рис. 2.6 Втулка в разрезе

Таким образом, втулка имеет два режима работы: режим в котором усилие с педалей передается на корпус втулки и режим, при котором педали никак не связаны с корпусом втулки, во втором случае ведущее колесо велосипеда может свободно вращаться в любую сторону. Иначе говоря, второй режим

позволяет спортсмену ехать спиной вперед, не крутя при этом. Этот нюанс и отличает работу «freecoaster»-втулок.

3. Анализ недостатков

Основной объем информации о проблемных местах конструкции «freecoaster» и основных причинах их возникновения был получен от дистрибьюторов запчастей для BMX, из различных интернет ресурсов[9,13,19] , в том числе форумов и из личного опыта. Были определены недостатки встречаемые чаще всего. В начале списка расположены наиболее актуальные проблемы:

- появление люфта (зазора/свободного хода) драйвера
- преждевременный износ подшипников, находящихся в драйвере
- исчезновение «сцепления» - ведомая звездочка свободно вращается, при этом крутящий момент не передается корпусу
- износ зубьев ведомой звездочки.
- деформация/разрыв резьбы драйвера
- деформация оси втулки

Такие проблемы, как деформация оси и износ зубьев ведомой звездочки встречаются у различных велосипедных втулок и не являются спецификой конструкции «freecoaster», поэтому было принято решение не учитывать данные проблемы.

Проблема исчезновения сцепления в большинстве случаем вызвана чрезмерным трением в винтовой передачи, либо наоборот недостаточным трением между клатчем и шариками. Правильное обслуживание и настройке механизма решают эту проблему.

Рассмотрим проблему деформации и разрыва резьбы драйвера. Резьба драйвера, а соответственно и клатча имеет множество параметров: диаметр, количество заходов, шаг. Также при анализе влияния этих параметров на работу механизма необходимо учитывать, что изменение параметров резьбы отразиться на взаимодействии драйвера и клатча и на параметрах связанных с трением в механизме. Ввиду того, что при расчетах прочностей SolidWorks не

позволяет в нужной степени учитывать такие взаимодействия компонентов, как трение или резьбовое соединение было принято решение не анализировать зависимость прочностных характеристик конструкции при изменении параметров резьбы.

Люфт драйвера и износ подшипников – наиболее часто встречаемые и связанные друг с другом проблемы. При эксплуатации велосипеда нагрузка от корпуса втулки на ось передается через драйвер и подшипники. Посадочные места под подшипники в драйвере находятся на некотором расстоянии друг от друга, таким образом при передаче усилия драйвер играет роль рычага.

Был вынесено предположение, что уменьшение расстояния между посадочными местами для подшипников, которое является плечом рычага, снизило бы нагрузку на подшипники и уменьшило бы скорость износа посадочных мест. Исходя из вышесказанного было принято решение проанализировать прочностные характеристики драйвера при разном расстоянии между посадочными местами под подшипники. На рис. 3.1 буквой «а» указано расстояние, выбранное в качестве изменяемого параметра для анализа.

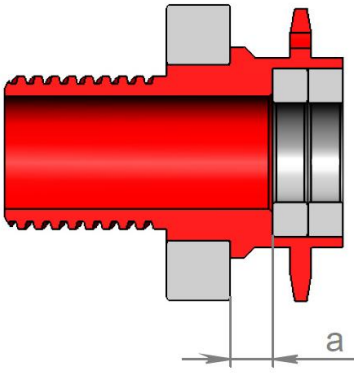

Рис. 3.1 Драйвер и подшипники в разрезе

4. Моделирование

Все модели были созданы в пакете SolidWorks 2016.

При проектировании драйвера данные о диаметрах и ширинах посадочных мест под подшипники, параметрах резьбы, а так же данные о форме зубьев взяты из ГОСТов [5,6,7]. Остальные размеры взяты с образца.

Для проведения расчетов потребовалось создать модели драйвера с разным параметром «а», то есть с разным расстоянием между посадочными местами под подшипники. Некоторые модели приведены на рис. 4.1.

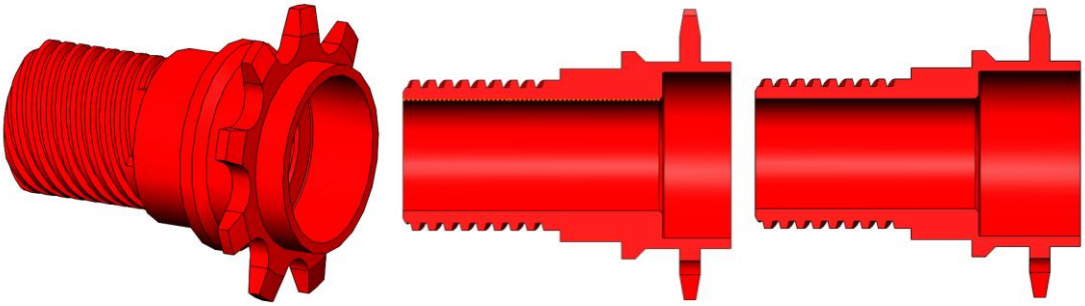

Рис. 4.1 слева модель драйвера, справа модели драйвера в разрезе с параметрами а=6мм и а=1мм

Для расчета контактных давлений были созданы детали с размерами, аналогичными размерам подшипников, используемых в механизме. Детали изображены на рис. 4.2.

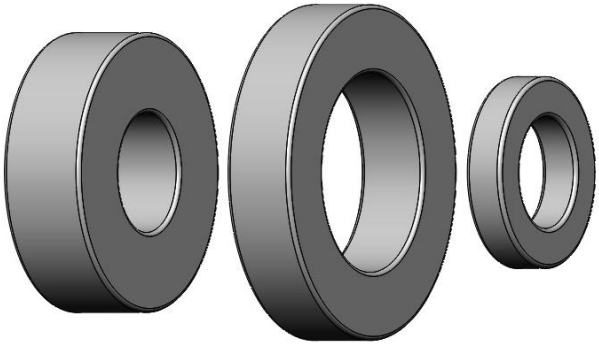

Рис. 4.2 Модели деталей для имитации контакта с подшипниками.

Кроме того, были спроектированы детали, не участвующие в расчетах, однако эти модели требуются для дальнейшего, более подробном анализе работы механизма. Таким образом, были смоделированы следующие детали.

Модель корпуса изображена на рис. 4.3.

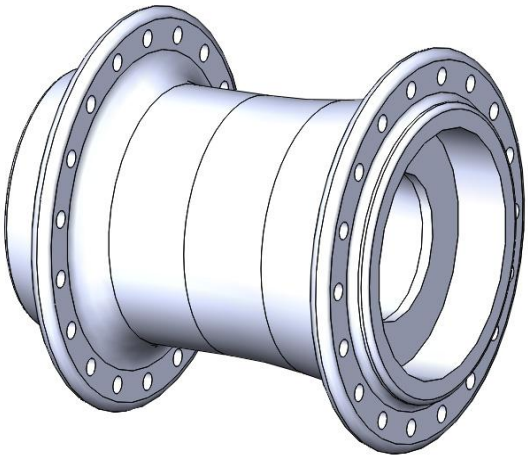

Рис. 4.3 Модель корпуса

Модель оси изображена на рис. 4.4. В модели не учтено, что шарики удерживаются специальными болтами и пружиной, как показано на рис. 4.4 справа. В модели деталь, обозначенная серым цветом, представляет собой единое целое.

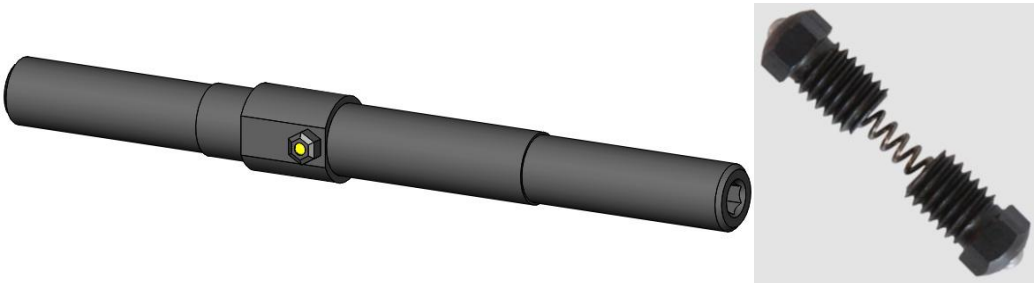

Рис. 4.4 Слева сборка из оси и шариков, справа шарики, болты и пружинка

Модель клатча изображена на рис. 4.5.

Рис. 4.5 Модель клатча

С помощью сопряжений детали были собраны в единую конструкцию (см. рис. 2.5).

5. Метод конечных элементов

Анализ проводился с помощью утилиты SolidWorks 2016 Simulation [2] методом конечных элементов. Метод конечных элементов (МКЭ) [4] в настоящее время является стандартом при решении задач механики твердого тела посредством численных алгоритмов. МКЭ занял лидирующее положение благодаря возможности моделировать широкий круг объектов и явлений. При этом нужно учитывать неизбежные при любой численной аппроксимации условности и погрешности. Поэтому вопрос соответствия между расчетной моделью и реальностью является, пожалуй, основным при использовании программ анализа. Это означает определенную непредсказуемость результатов, а также некоторый произвол в их интерпретации.

Основная идея метода конечных элементов состоит в том, что любую непрерывную величину можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области. В общем случае непрерывная величина заранее неизвестна, и нужно определить значения этой величины в некоторых внутренних точках области. Дискретную модель, однако, очень легко построить, если сначала предположить, что числовые значения этой величины в каждой внутренней точке области известны. После этого можно перейти к общему случаю. Итак, при построении дискретной модели непрерывной величины поступают следующим образом:

- В рассматриваемой области фиксируется конечное число точек. Эти точки называются узловыми точками или просто узлами.
- В общем случае значение непрерывной величины в каждой узловой точке считается переменной, которая должна быть определена.

- Область определения непрерывной величины разбивается наконечное число подобластей, называемых элементами. Эти элементы имеют общие узловые точки и в совокупности аппроксимируют форму области.
- Непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе полиномом, который определяется с помощью узловых значений этой величины. Для каждого элемента определяется свой полином, но полиномы подбираются таким образом, чтобы сохранялась непрерывность величины вдоль границ элемента.

При расчете значения непрерывной величины в узловых точках, узлы описывается следующим образом: известны координаты элемента, номера узлов, в которых элемент связан с другими элементами, свойства материала. Информация, позволяющая получить единственное решение задачи и определить глобальную матрицу, задаётся в виде граничных условий и условий закреплений. Вычислительная программа, используя данные о расчётной модели, вычисляет матрицы жёсткости элементов и нагрузки на элементах, формирует вектор внешних нагрузок и глобальную матрицу жёсткости, накладывает на элементы заданные связи и проводит треугольное разложение глобальной матрицы. Далее программа решает систему линейных уравнений и вычисляет вектор линейных перемещений для элементов, по которому вычисляются деформации, напряжения и усилия на элементах.

Для решения системы уравнений в SolidWorks Simulation [1] доступны прямая решающая программы и итеративная решающая программа.Прямые программы решают уравнения, используя точные числовые методы. Итерационные программы решения уравнений используют способы аппроксимации, где в каждой итерации предполагается решение, а связанные с ним погрешности подсчитаны. Повторы продолжаются до тех пор, пока погрешности не становятся приемлемы. Статические расчеты, приведенные в данной работе, производились прямым методом решения

В SolidWorks Simulation чаще всего для оценки прочностных характеристик используются напряжение по Мизесу [12], эквивалентные

деформации и перемещения. Чтобы пояснить используемые для расчета этих величин формулы введем обозначения, использующиеся в пакете SolidWorks.

Составляющие напряжения:

- P1 — 1 главное напряжение (наибольшее)
- P2 — 2 главное напряжение
- P3 — 3 главное напряжение
- VON — Напряжение по Мизесу

Напряжение по Мизесу или эквивалентное напряжение представляет собой величину напряжения, рассчитанную исходя из составляющих напряжения. Несмотря на то, что эквивалентное напряжение в какой-либо точке определяет состояние напряжения в этой точке неоднозначно, оно предоставляет информацию, достаточную для оценки надежности конструкции для многих пластичных материалов.

Напряжение по Мизесу определяется как:

$$VON = \sqrt{0.5 * [(P1 - P2)^2 + (P1 - P3)^2 + (P2 - P3)^2]}$$

Составляющие деформации:

- EPSX — Нормальная деформация по оси X
- EPSY — Нормальная деформация по оси Y
- EPSZ — Нормальная деформация по оси Z
- GMXY — Сдвиг по Y в плоскости YZ
- GMXZ — Сдвиг по Z в плоскости YZ
- GMYZ — Сдвиг по Z в плоскости XZ
- ESTRN — Эквивалентная деформация

Эквивалентная деформация определяется как:

$$ESTRN = 2 * (\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{3})^{\frac{3}{2}}$$

где:

$$\varepsilon_1 = 0.5 * [(EPSX - \varepsilon^*)^2 + (EPSY - \varepsilon^*)^2 + (EPSZ - \varepsilon^*)^2]$$

$$\varepsilon_2 = 0.125 * (GMXY^2 + GMXZ^2 + GMYZ^2)$$

$$\varepsilon^* = \frac{(EPSX + EPSY + EPSZ)}{3}$$

Составляющие перемещения:

- UX — Перемещение в направлении X
- UY — Перемещение в направлении Y
- UZ — Перемещение в направление Z
- URES — Результирующее перемещение

Результирующее перемещение определяется как:

$$URES = \sqrt{UX^2 + UY^2 + UZ^2}$$

6. Расчеты

6.1 Контактное давление

Первая серия расчетов проводилась для оценки контактного давление на посадочные места под подшипники, при передаче усилия с корпуса на ось втулки. Расчеты проводились следующим образом:

Была создана сборка из драйвера и деталей, имитирующих подшипники (см. рис. 6.1.1). Для доступа к скрытым граням был создан вид сборки с разнесенными деталями (см. рис. 6.1.2).

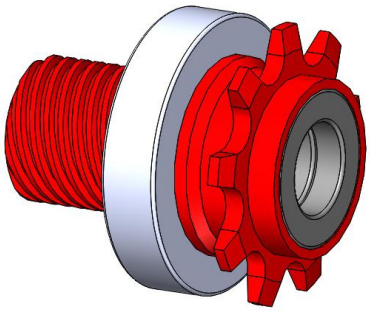

Рис. 6.1.1 Сборка из драйвера и деталей, имитирующих подшипники.

Деталям был присвоен материал, выбор материала был ограничен библиотекой пакета SolidWorks. Каждой детали был присвоен материал, наиболее близкий по свойствам к реально используемому. Для драйвера – это сталь 4130 отожженная про 865 °C, для подшипников – это сталь 4340, нормализованная.

Были заданы наборы контактов между цилиндрическими гранями соприкасающихся деталей. Такие грани помечены голубым цветом на рис. 6.1.2.

Внутренние цилиндрические грани меньших подшипников были зафиксированы, так как находятся на оси. Зафиксированные грани помечены зелеными стрелочками на рис. 6.1.2.

К внешней грани большого подшипника, было приложено давление. Вектор давления перпендикулярен оси драйвера, величина задавалась такой, что с учетом площади прикладываемая сила была равна 1000N, вектор давления указан красными стрелками на рис. 6.1.2.

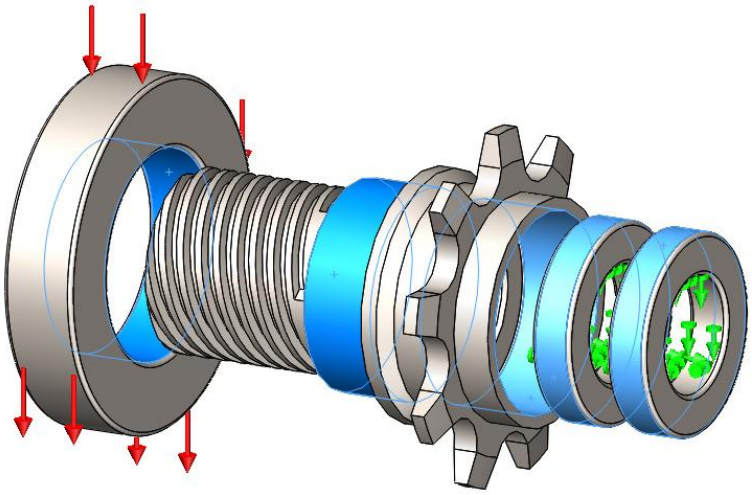

Рис. 6.1.2. Разнесенный вид сборки с граничными условиями.

Следующим шагом было создание сетки. Для экономии времени расчетов было принято решение использовать сетку по умолчанию. SolidWorks построил сетку с параметрами, приведенными в таблице 1.

SolidWorks позволяет проводить оценку качества сетки по двум критериям: оценка соотношения сторон и оценка коэффициента Якобиана. Значения этих критериев также приведены в таблице 1.

Проверка соотношения сторон: для сетки на твердом теле численная точность достигается лучше всего при сетке с одинаковыми идеальными тетраэдральными элементами, кромки которых равны по длине. Однако часто невозможно создать сетку идеальных тетраэдральных элементов. Из-за нелинейных форм, тонкостенных элементов и острых углов неизбежно ребра созданных элементов имеют разные длины. Когда кромки одного элемента сильно отличаются между собой по длине, точность результатов снижается.

Коэффициент Якобиана: квадратичные(параболические) элементы могут отображать изогнутую геометрию намного более точно, чем линейные элементы такого же размера. Средние узлы граничных кромок элемента расположены на фактической форме модели. На очень острых или изогнутых границах размещение средних узлов может привести к образованию искаженных элементов с пересекающимися кромками. Коэффициент Якобиана квадратичного элемента при расположении всех средних узлов точно на середине прямых кромок равен 1,0. Якобиан крайне искаженного элемента становится отрицательным. Коэффициент Якобиана меньше или равный 40 приемлем в большинстве исследований.

Полученный при расчете характер распределения контактного давления представлен на рис. 6.1.3. Темно-синим цветом обозначены ненагруженные места, голубым, зеленым, желтым и красным цветами обозначены нагруженные места. По оттенку цвета можно определить степень нагрузки. Максимум нагрузки обозначен красным цветом.

Таблица 1 - Параметры сетки

Наименование параметра	Значение параметра
Количество точек Якобиана	4 точки
Максимальный коэф. Якобиана	3,845
Размер элемента	2,7901 мм.
Максимальное соотношение сторон	18.094
Кол-во элементов с соотношением сторон < 3	76.5%
Кол-во элементов с соотношением сторон >10	0.923%
Количество узлов	24811 шт.
Количество элементов	13756 шт.

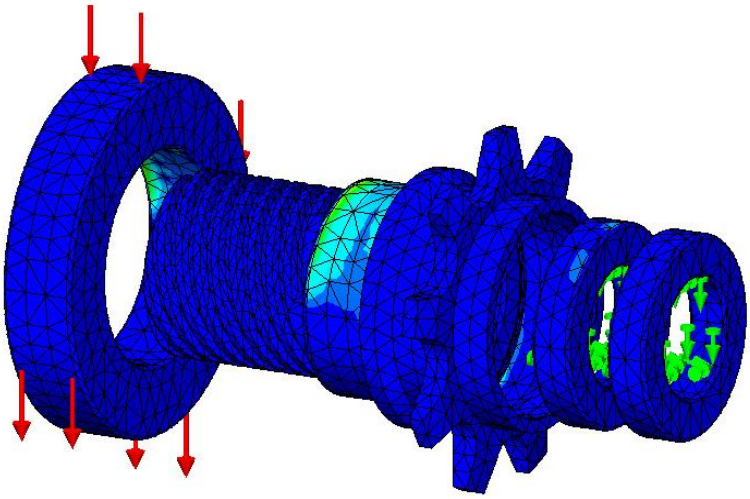

Рис. 6.1.3 Сетка и распределение контактного напряжения.

Расчеты проводились для всех значений параметра «а». Следует отметить, что при всех параметрах характер распределения контактного давления схож, поэтому критерием при сравнении результатов для разных параметров выступало максимальное значение контактного давления. Результаты расчетов при разных параметрах указаны на рис. 6.1.4.

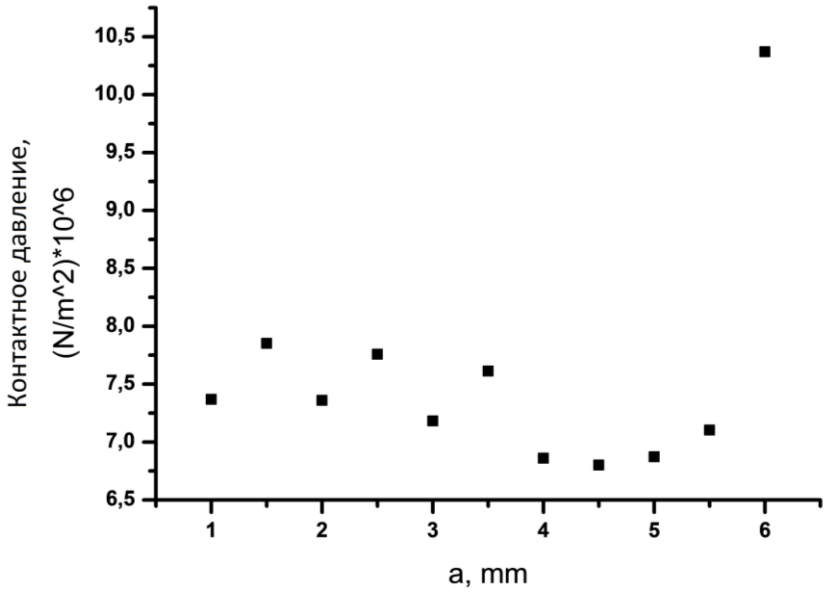

Рис. 6.1.4 Максимальные значения контактного давления при разных значениях параметра «а».

Результаты показывают, что при уменьшении плеча нагрузка на подшипники спадает, что совпадает с ожиданиями, однако начиная со значения «а»=3.5 мм давление увеличивается.

Вынесено предположение, что причиной роста контактного давления является деформация посадочного места под большой подшипник, возникающая из-за того, что при таких параметрах «а» стенки детали становятся слишком тонкими, малая толщина стенок проиллюстрирована справа на рис. 2.1.

6.2 Деформация

В связи с вынесенным предположением была проведена следующая серия расчетов, оценивающая степень деформации драйвера. Расчеты проводились следующим образом:

Драйверу был задан тот же материал, что и в первой серии расчетов.

Посадочное место под маленькие подшипники жестко фиксировалось. Зафиксированная грань обозначена зелеными стрелками на рис. 6.2.1.

На посадочное место под большой подшипник оказывалось давление, вектор давления был направлен перпендикулярно оси, величина задавалась такой, чтобы с учетом площади результирующая сила была равна 1000N. Цилиндрическая грань под давлением и вектор давления помечены голубыми стрелками на рис. 6.2.1.

Была создана сетка, параметры сетки указаны в таблице 2.

Полученный в ходе расчетов характер деформации драйвера представлен на рис. 6.2.1. Степень деформации можно определить по оттенку цвета. Синий цвет обозначает отсутствие деформации, красный цвет обозначает максимальное отклонение от первоначального состояния.

Таблица 2 - Параметры сетки

Наименование параметра	Значение параметра
Количество точек Якобиана	4 точки
Максимальный коэф. Якобиана	2,44
Размер элемента	1,10252 мм.
Максимальное соотношение сторон	14.79
Кол-во элементов с соотношением сторон < 3	98.3
Кол-во элементов с соотношением сторон >10	0.0907%
Количество узлов	98653шт.
Количество элементов	61744шт.

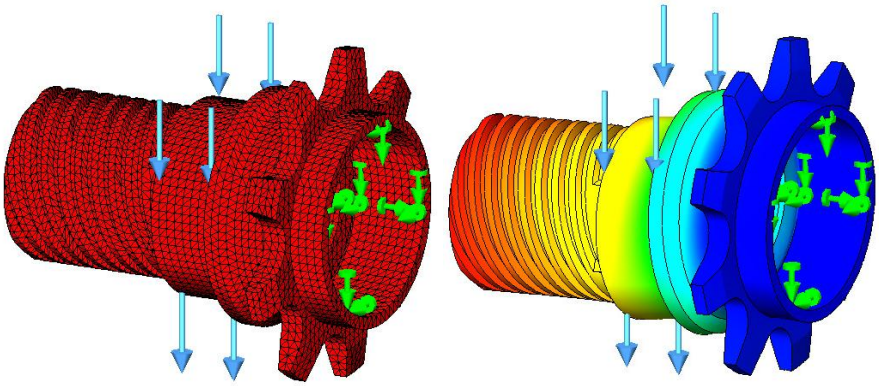

Рис. 6.2.1 На рисунке слева представлена сетка. Справа представлен вид деформированной детали.

Расчеты проводились для всех значений параметра «а». Критерием при сравнении результатов для разных параметров выступало максимальное значение деформации. Результаты расчетов при разных параметрах указаны на рис. 6.2.2.

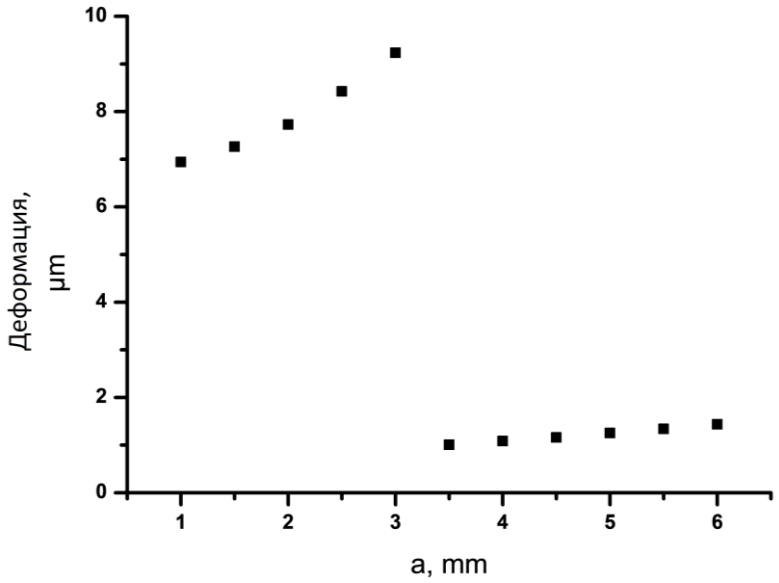

Рис. 6.2.2 Максимальные значения деформации при разных значениях параметра a

Можно отметить, что, так же как и контактное давление при параметрах «a»<3.5 мм деформация растет, что подтверждает вынесенное предположение о связи между деформацией и контактным давлением

6.3 Напряжение

Последняя серия расчетов проводилась для оценки напряжений в драйвере при передаче крутящего момента корпусу втулки. Расчеты проводились следующим образом:

Драйверу был задан тот же материал, что и в предыдущих случаях.

Цилиндрические грани, являющиеся посадочными местами под подшипники, были определены, как шарниры, то есть имели одну степень свободы – могли вращаться только вокруг своей оси. Ограничение «шарнир» показано зелеными стрелками на рис. 6.3.1.

Для имитации контакта цепи и ведомой звездочки 4 зуба драйвера были жестко зафиксированы. Зафиксированные зубья помечены зелеными мелкими стрелками на рис. 6.3.1.

Нормально к граням резьбы было приложено давление. Величина задавалась такой, чтобы с учетом площади результирующая сила была равна 1000N. Грани под давлением обозначены голубыми стрелками на рис. 6.3.1.

Была создана сетка, идентичная сетке, используемой для расчетов деформации.

Полученный в ходе расчетов характер возникающих в драйвере напряжений представлен на 6.3.1. Степень напряжения можно определить по оттенку цвета. Синий цвет обозначает отсутствие напряжения, красный цвет обозначает максимальное значение напряжения.

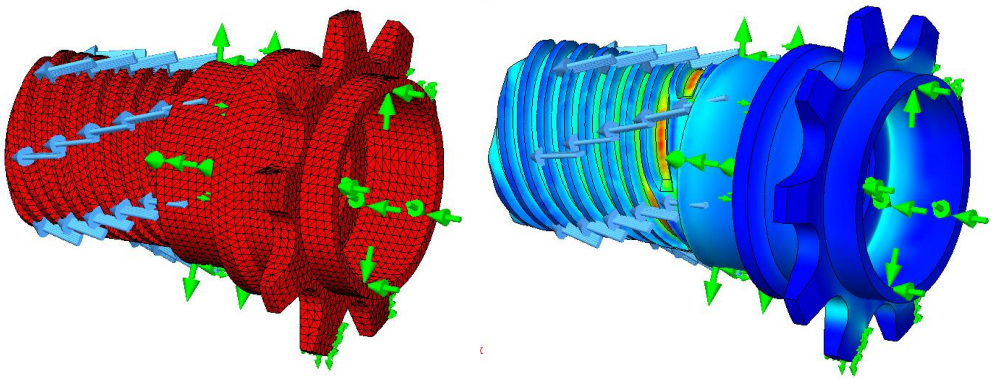

Рис. 6.3.1 Слева на рисунке представлена сетка, справа - распределение напряжения в нагруженной детали.

Расчеты проводились для всех значений параметра «а». Критерием при сравнении результатов для разных параметров выступало максимальное значение напряжения. Максимум всегда находился у основания резьбы. Результаты расчетов при разных параметрах указаны на рис. 6.3.2.

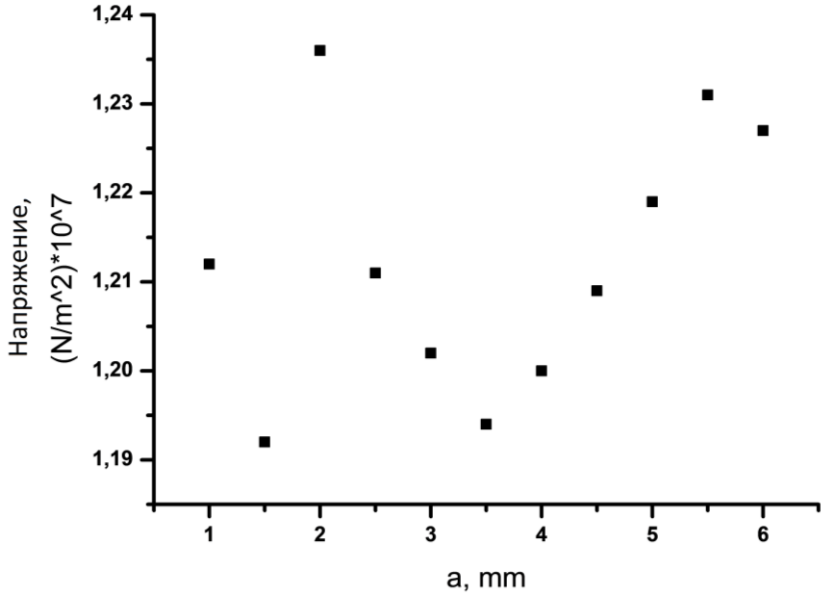

Рис 6.3.2 Максимальные значения напряжений при разных значениях параметра «a»

Существуют небольшие колебания результатов, однако зависимости от параметра не наблюдается.

6.4 Анализ результатов

Все три серии расчетов свидетельствуют о том, что предложенное изменение геометрии уменьшило бы нагрузку на подшипники, при этом такое решение не является технологически сложным в реализации.

Конструкции большинства «freecoaster»-втулок почти идентичны, проблемы рассматриваемые в данной работе актуальны и по сей день, а решение, предложенное нами не используется. Поэтому было принято решение провести дополнительный поиск информации о конструкциях драйверов.

В результате было найдено несколько конструкций драйвера, отличающихся от конструкций, используемых обычно. Одно из таких решений представлено на рис. 6.4.1. Драйвер, в котором один из шариковых подшипников заменен на игольчатый. Большая ширина и малый внешний диаметр игольчатого подшипника позволяют уменьшить плечо таким образом, что стенки драйвера остаются достаточно толстыми. Однако игольчатые

подшипники плохо переносят осевое усилие, а маленький размер тел качения приводит к быстрому износу. Сейчас такая конструкция почти не используется из-за малой надежности.

Рис. 6.4.1 Драйвер с одним шариковым подшипником (справа на столе) и одним игольчатым (внутри драйвера)

Другое решение [14] было представлено в 2015 году английской фирмой BSD. Отличия конструкции драйвера в том, что подшипники сдвинуты внутрь драйвера и удерживаются стопорным кольцом, как показано на рис. 6.4.2 Уменьшение плеча за счет сдвига подшипников - это путь решения проблемы, что был предложен в данной работе, кроме того стопорное кольцо более жестко фиксирует подшипники, что уменьшает люфт.

Рис. 6.4.2 Драйвер используемый в BSD WESTCOASTEK

Вывод

В ходе работы найдена информация о наиболее частых поломках велосипедных втулок.

Проанализированы возможные причины возникновения поломок, было принято решение рассматривать только проблему преждевременного износа подшипников и возникновения люфта драйвера. Предложен путь решение проблемы - изменение геометрии драйвера, а именно уменьшение расстояния между посадочными местами для подшипников.

Смоделированы детали втулки, создано несколько моделей драйвера с разными расстояниями между посадочными местами под подшипники. С помощью необходимых сопряжений была создана сборка, позволяющая анализировать работу всего механизма.

При разных параметрах геометрии драйвера были проведены расчеты, оценивающие контактное давление на посадочные места под подшипники, деформацию драйвера и напряжения, возникающие в драйвере при передаче вращающего момента.

Проанализированы результаты расчетов, сделан вывод, что предложенное изменение геометрии действительно является путем решения проблемы. Проведена дополнительная работа и найдена информация об использовании схожих решений, что говорит о правильности расчетов.

Список использованных источников

[1] Алямовский А.А. Инженерный анализ методом конечных элементов элементов [Текст] / Алямовский А.А. – Москва: ДМК Пресс, 2004.

[2]. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / Алямовский А.А. – СПб: СПб БХВ-Пертербург, 2005.

[3] Ануфриев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя, Том 2 [Текст] / В.И. Ануфриев – Москва: Машиностроение, 2001 – 365 с.

[4] Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / Зенкевич О. перевод с англ. под ред. Б.Е. Победра –Москва: Мир, 1975.

[5] ГОСТ 8338-75. Подшипники шариковые радиальные однорядные. - Москва: Изд-во стандартов, 2003.

[6] ГОСТ 9484-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба трапецеидальная. - Москва: Изд-во стандартов, 2003.

[7] ГОСТ 30442-97. Цепи приводные роликовые для велосипедов. - Москва: Изд-во стандартов, 2000.

[8] Федерация велосипедного спорта России: BMX [Электронный ресурс]/ Федерация велосипедного спорта России – Электрон. текст. дан. – Москва: 201-?. – Режим доступа: https://fvsr.ru/bmx ,свободный

[9] BMXZONE: forum [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: http://www.bmxzone.ru/forum/index.php?showtopic=17660&pid=315343&mode=threaded&show=&st=0 , свободный

[10] BMX.RU: Мини обзор фрикостера KHE Reverse [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Киров: 2011. – Режим доступа: https://www.bmx.ru/forum/showthread.php?t=17008 , свободный

[11] BMX Freestyle History: Two Pioneers of BMX Ramp and Skate Park Riding [Электронный ресурс]/ Jyoti Prakash – Электрон. текст . дан. - India: 2015. – Режим доступа: https://www.bmxfreestylehistory.com/ , свободный

[12] Dassault systemes: Справка по SolidWorks [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан.-– Режим доступа: http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm, свободный

[13] Dirt.ru: forum [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: https://forum.dirt.ru/showthread.php?t=319733, свободный

[14] Eclat: Cortex freecoaster hub [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан.- Кельн, Германия: 2016 – Режим доступа: http://eclatbmx.com/products/hubs/cortex-freecoaster-hub/ , свободный

[15] Hellride Образовательный: Устройство задней BMX втулки [Электронный ресурс].- Электрон. текст. дан. – Москва: 2018 – Режим доступа: https://www.hellride.ru/info/articles/bmx/hellride_obrazovatelnyy_ustroystvo_zadney_bmx_vtulki/ , свободный

[16] KHE Bikes: About us [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан.-– Режим доступа: https://www.khebikes.com/en/history , свободный

[17] Olympic channel: BMX freestyle wil bring a “fresh look” to the olympic games Tokyo 2020 [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – 2017 – Режим доступа: https://www.olympic.org/news/bmx-freestyle-will-bring-a-fresh-look-to-the-olympic-games-tokyo-2020 , свободный

[18] The Village: История BMX [Электронный ресурс]/ Галаев Н. – Электрон. газета – Санкт-Петербург: 2009 – Режим доступа: http://www.the-village.ru/village/city/chain-reaction/79455-istoriya-bmx , свободный.

[19] X-Bikes: forum [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: http://www.x-bikers.ru/ search3.php?q=фрикостер , свободный