

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра

«Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование)

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и автомобильный сервис

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Разработка мотоцикла с электрической силовой установкой»

Обучающийся

Р. П. Вовк

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент, зав. каф. А. В. Бобровский

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## **Аннотация**

Разработка мотоцикла с электрической силовой установкой. Выпускная квалификационная работа. Тольяттинский Государственный Университет, 2024.

В данной работе описан процесс замены двигателя внутреннего сгорания на электрическую силовую установку для мотоцикла КТМ 690 за счет метода реверс инжиниринга.

В первом разделе проведен анализ рынка конкурентов в сфере электрических мотоциклов. Проведено сравнительное исследование конкурентов по нескольким критериям. Проведена оценка потребительских свойств каждого претендента.

Во втором приведена пошаговая методика применения реверс инжиниринга при помощи специализированного оборудования для 3Д сканирования

В третьем разделе проводятся валидационные расчеты, такие как тягово-динамический расчет, а также прочностной КАЕ анализ рамы мотоцикла после ее модификации.

В четвертом разделе описаны основные требования к безопасности и экологичности выполнения работ.

Итогом работы является оцифрованная при помощи реверс инжиниринга и оптимизированная под электрическую силовую установку КАД модель.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 57 страницы, содержащей 12 таблиц, 26 рисунков, 2 приложения и графической части, содержащей 6 листов графической части.

## **Abstract**

Development of a motorcycle with an electric power plant. Graduation qualification work. Togliatti State University, 2024.

This work describes the process of replacing the internal combustion engine with an electric power plant for the KTM 690 motorcycle using the reverse engineering method.

The first section analyzes the competitors' market in the field of electric motorcycles. A comparative study of competitors was conducted according to several criteria. An assessment of the consumer properties of each contender was made.

The second section provides a step-by-step methodology for applying reverse engineering using specialized equipment for 3D scanning

The third section contains validation calculations, such as traction-dynamic calculation, as well as strength KAE analysis of the motorcycle frame after its modification.

The fourth section describes the main requirements for the safety and environmental friendliness of the work.

The result of the work is a KAD model digitized using reverse engineering and optimized for an electric power plant.

The final qualifying work consists of an explanatory note of 57 pages, containing 12 tables, 26 figures, 2 appendices and a graphic section containing 6 sheets of graphic section.

## Содержание

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                 | 5  |
| 1 Состояние вопроса .....                                                     | 7  |
| 1.1 Актуальность .....                                                        | 7  |
| 1.2 Исследование и анализ аналогов .....                                      | 9  |
| 1.2.1 Электрический мотоцикл SUR Bee X.....                                   | 10 |
| 1.2.2 Электрический мотоцикл Super Soco.....                                  | 12 |
| 1.2.3 Электрический мотоцикл ECO Honda MK.....                                | 13 |
| 1.2.4 Электрический мотоцикл ECO Ducati Panigale .....                        | 15 |
| 1.2.5 Электрический мотоцикл на базе шасси KTM 690 .....                      | 17 |
| 1.2.6 Сравнительный анализ проектируемой модели с конкурентами .....          | 19 |
| 2 Применение методики реверс инжиниринга.....                                 | 23 |
| 3 Расчетная часть.....                                                        | 38 |
| 3.1 Расчет прочности шасси мотоцикла после ремоторизации .....                | 38 |
| 3.2 Тягово-динамический расчет электрического мотоцикла на базе KTM 690 ..... | 42 |
| 4 Безопасность и экологичность технического объекта .....                     | 47 |
| Заключение .....                                                              | 52 |
| Список используемых источников.....                                           | 53 |
| Приложение А .....                                                            | 56 |
| Спецификация к сборочному чертежу рамы мотоцикла .....                        | 56 |

## Введение

Проектирование транспортных средств на базе существующих транспортных средств путем обратной последовательности проектирования, а именно копированием существующего и дальнейшей модификации называется реверс инжиниринг. Реверс инжиниринг в области автомобилестроения представляет собой процесс обновления конструктивных и технологических решений с целью улучшения эксплуатационных характеристик, повышения эффективности и снижения негативного воздействия на окружающую среду. В России реинжиниринг автомобилей приобретает все большую актуальность в связи с необходимостью адаптации к современным экологическим требованиям и повышением конкурентоспособности отечественных автомобильных производителей на мировом рынке. Более того, такой вид разработки и проектирования как реверс инжиниринг позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на разработку и проектирование деталей, что гораздо выгоднее любому предприятию. Более того за счет такого способа компании каждый раз улучшают технические характеристики бенчмарков, с которых был взят 3Д скан.

Для данной работы были определены цели. Необходимо произвести ремоторизацию мотоцикла KTM 690(полная замена ДВС и его комплектующих на электрическую силовую установку с аккумулятором). Модернизированный мотоцикл при этом должен соответствовать требованиям федерального закона о безопасности дорожного движения. Более того, мотоцикл должен не уступать модели KTM с двигателем внутреннего сгорания по динамическим показателям. Такой же критерий и относительно других электрических мотоциклов в той же ценовой категории, что и будущий продукт.

Также были определены задачи:

- определить ТЗ проекта,

- необходимо произвести сканирование необходимых деталей шасси мотоцикла КТМ 690,
- провести оцифровку отсканированных деталей в КАД,
- провести анализ рынка,
- определить исходные данные, провести тягово-динамические расчеты
- выбрать подходящие электрические компоненты,
- провести анализ шасси на предмет прочности,
- проанализировать экологичность и безопасность продукта.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Актуальность**

Одним из приоритетных направлений в последнее время является электрификация всего. Это означает, что постепенно люди начинают отказываться от двигателей внутреннего сгорания и переходят на электрические силовые установки. Связано это с большим количеством выбросов, со стоимостью топлива, с уровнем шума от транспорта, оснащенного ДВС, а также с тем, что нефть является иссекаемым ресурсом, что будет приводить к большому росту цен на топливо, а соответственно на все услуги, связанные с транспортом. Кроме того, электромобили уже доказали уровень своего комфорта, надежности и практичности. В ближайшем будущем люди постепенно перейдут к электрическому транспорту и полностью откажутся от обычных машин, оснащенных ДВС, поэтому направление электрификации является очень распространенным и перспективным направлением.

На фоне общей тенденции электрификации популярными даже стали и мотоциклы, оснащенные электрической силовой установкой. Это обусловлено тем, что зарядка аккумулятора электрического мотоцикла в несколько раз дешевле для мотолюбителя, чем заправлять мотоцикл топливом. Более того, электрический мотоцикл абсолютно бесшумный и практически не имеет вибраций, за счет чего является более комфортным и привлекательным для любителей мототехники. Кроме того, за счет того, что электрическая силовая установка имеет большой и мгновенный крутящий момент, разгоняются электрические мотоциклы гораздо быстрее, чем мотоциклы с ДВС. Также за счет своей бесшумности, такую технику можно использовать даже в защищаемых парках и заповедниках, что является тоже очень привлекательным для туристов, особенно сейчас, когда в России внутренний туризм набирает популярность.

Все-таки одним из ключевых факторов, повышающих привлекательность электрического транспорта, это невероятно быстрое ускорение, в разы превышающее ускорение среднего автомобиля или мотоцикла с двигателем внутреннего сгорания в роли силового агрегата. Все это благодаря КПД электромотора, которое в несколько раз выше, чем у двигателей внутреннего сгорания. Электрическая силовая установка позволяет пользователю получить мгновенный отклик при нажатии на педаль акселератора и получить максимальный крутящий момент на старте.

Если говорить об электрификации транспортных средств за счет замены двигателя внутреннего сгорания на электрический двигатель вместе с аккумулятором, то изменению должны подвергнуться несколько систем, такие как шасси, система охлаждения тормозная система, электрика и электроника.

Для того чтобы успешно провести интеграцию электрических систем в транспортное средство необходимо иметь точную КАД модель всех элементов транспортного средства, которые должны быть изменены, а также систем и узлов, с которыми электрические компоненты будут взаимодействовать. С тем, чтобы получить точную 3Д модель транспортного средства может помочь 3Д-сканирование. Необходимо будет разобрать транспортное средство, а в нашем случае это мотоцикл, до состояния в котором он будет переоборудоваться (а именно необходимо снять с мотоцикла весь аэродинамический и декоративный обвес, снять систему охлаждения, снять двигатель внутреннего сгорания со его системами впуска и выпуска, снять всю связанную с ДВС электрику). В таком виде детали будут подвергаться 3Д сканированию и переносу в КАД систему для получения максимально точной 3Д модели деталей мотоцикла. Такой способ называется реинжинирингом и является достаточно популярным методом в современной инженерии.

Цифровая модель, созданная на основе данных, полученных с помощью 3D-сканера, становится основой для расчетов и анализа, необходимых для выбора правильных компонентов и оптимизации процесса переоборудования.

## 1.2 Исследование и анализ аналогов

Одним из обязательных действий при проектировании электротранспорта является анализ конкурентов и используемых ими технологий, для того чтобы создать конкурентоспособный продукт. Для такого анализа берется ряд основных конкурентов, имеющих характеристики того же сегмента мототехники, к которой будет относиться будущий продукт. По результатам анализа будет составлена сводная таблица, а также изображена циклограмма, которая покажет, насколько лучше или хуже будет будущий электрический мотоцикл. Более того, такого рода исследование позволяет почерпнуть технологии, хорошие инженерные решения у других производителей, что также позволит добиться максимального качества и функциональности продукта.

Как прямые конкуренты будущему электрическому мотоциклу на базе мотоцикла с двигателем внутреннего сгорания KTM 690 были выбраны популярные электрические мотоциклы на данный момент с мощностью силового агрегата не более 6 кВт:

- SUR Bee X;
- Super Soco;
- ECO Honda MK;
- ECO Ducati Panigale.

Необходимо провести сравнение по следующим характеристикам: – грузоподъемность:

Для того, чтобы получить качественный анализ, необходимо провести сравнение по определенным характеристикам, которые являются наиболее важными для потребителя при покупке того или иного транспортного средства. В случае с электрическим мотоциклом необходимо будет провести сравнения по характеристикам:

- параметры аккумулятора;
- максимальная скорость;

- запас хода в км;
- стоимость;
- мощность двигателя.

### 1.2.1 Электрический мотоцикл SUR Bee X

SUR Bee X – электрический мотоцикл кроссового типа, предназначенный в большей степени для бездорожья. Выпускает данный мотоцикл с электрической силовой установкой китайская компания Sur-Ron, которая также производит китайские электромобили, предназначенные для любителей бездорожья, поэтому мотоцикл должен быть достаточно легким и мощным. Облегченный мотоцикл Bee X оснащен облегченной алюминиевой рамой, отлитой в форму под высоким давлением, передней и задней подвеской с большим рабочим ходом и внедорожными цепкими шинами, за счет чего данный мотоцикл может передвигаться не только по дорогам общего пользования, оборудованным асфальтовым покрытием, но и передвигаться по лесам, полям, сельской местности. Электрический двигатель обеспечивает мгновенный крутящий момент и достаточно быстрое ускорение со старта, а аккумулятор данного мотоцикла является съемной, что увеличивает его ремонтопригодность и кроме того, аккумулятор достаточно емкий и дает хороший запас хода для потенциального покупателя, что позволит без проблем проезжать достаточно большие дистанции вне цивилизации. В таблице 1 и на рисунке 1 произведем анализ транспорта.

Таблица 1 – Технические характеристики электробайка SUR Bee X

| Характеристики | Грузоподъемность, кг | Емкость аккумулятора, Ач | Максимальная скорость, км/ч | Мощность электродвигателя, кВт | Запас хода, км | Стоимость, тыс.руб |
|----------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
|                | 100                  | 38                       | 75                          | 6                              | 75             | 400                |



Рисунок 1 – Электрический мотоцикл SUR Bee X

SUR Bee X относительно недорогой электрический мотоцикл кроссового типа с привлекательными характеристиками. Например, одно из преимуществ данного электрического мотоцикла это его поддрессоренная масса. Несмотря на то, что аккумуляторы вместе с электрическим двигателем достаточно тяжелые, обычно тяжелее, чем ДВС, данный мотоцикл обладает достаточно легкой алюминиевой пространственной рамой, а также облегченным маятником подвески, что позволяет его использовать также как обычный полноценный кроссовый мотоцикл. «На первый взгляд данный мотоцикл является очень привлекательным для потребителей, однако, ограниченный запас хода, который ограничивает время использования до двух часов, и запрет на езду по общественным дорогам сокращают число потенциальных покупателей» [22].

### 1.2.2 Электрический мотоцикл Super Soco

«Электрический мотоцикл, который сочетает в себе ретро-стиль и передовые технологии, делая ее уникальной на рынке электротранспорта. Эта прекрасная машина обеспечит максимальный комфорт благодаря регулируемому сиденью с тремя положениями. Высококачественное освещение включает динамический прожектор LED, который обеспечивает яркое и четкое освещение даже в темное время суток. Световые индикаторы поворотов обеспечивают безопасность, соответствуя стандартам безопасности ЕС. Складные подножки для пассажиров и регулируемые подножки для водителя обеспечивают максимальный комфорт во время поездки. Благодаря дисковому тормозу торможение становится надежным и четким. Емкость аккумулятора позволяет ездить на одном заряде до 100 км, что является большим преимуществом по сравнению с другими электрическими мотоциклами. На рисунке 2 изображен электрический мотоцикл Super Soco, а в таблице 2 можно изучить его характеристики» [23].



Рисунок 2 – Электрический мотоцикл Super Soco

Таблица 2 – Технические характеристики электрического мотоцикла Super Soco.

| Характеристики | Грузоподъемность, кг | Емкость аккумулятора, Ач | Максимальная скорость, км/ч | Мощность электродвигателя, кВт | Запас хода, км | Стоимость, тыс.руб |
|----------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
|                | 75                   | 30                       | 85                          | 3                              | 70             | 270                |

По сравнению с его конкурентом SUR Bee X, у данной модели есть ряд преимуществ и недостатков. Например, к преимуществам можно отнести его внешний вид, напоминающий ретро мотоцикл, что является довольно привлекательным фактором для потребителя. Более того, на данный электрический мотоцикл относительно низкая цена в 270 тысяч рублей, что делает данный мотоцикл еще более привлекательным. Кроме всего прочего, по сравнению с SUR Bee X, Super Soco имеет доступ к дорогам общего пользования и может использоваться абсолютно везде.

Однако к недостаткам Super Soco можно отнести его малую грузоподъемность, достаточно тяжелую конструкцию шасси, а также очень маленький запас хода, которого будет очень не хватать при повседневном использовании, а также во время путешествий на дальние расстояния.

### 1.2.3 Электрический мотоцикл ECO Honda MK

«ECO Honda MK выделяется продуманной конструкцией, объединяющей современный и футуристический дизайн. Среди его отличительных черт можно отметить эргономичные формы, которые не только обеспечивают удобство вождения, но и подчеркивают его визуальную привлекательность. Благодаря сочетанию привлекательного внешнего вида и превосходных технических характеристик, этот мотоцикл стал невероятно

популярным среди мотолюбителей. Применение современных технологий и материалов в конструкции обеспечивает надежность и долговечность, делая его идеальным выбором для широкого круга пользователей. На рисунке 3 изображен электрический мотоцикл ECO Honda MK, а в таблице 3 можно изучить его характеристики» [24].



Рисунок 3 – Электрический мотоцикл ECO Honda MK

Таблица 3 – Технические характеристики электрического мотоцикла ECO Honda MK

| Характеристики | Грузоподъемность, кг | Емкость аккумулятора, Ач | Максимальная скорость, км/ч | Мощность электродвигателя, кВт | Запас хода, км | Стоимость, тыс.руб |
|----------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
|                | 150                  | 60                       | 110                         | 5                              | 100            | 570                |

«Мотоцикл оснащен интегрированной системой 570 управления электронными компонентами, которая обеспечивает оптимальную работу всех систем. Его футуристический дизайн и высокие технические характеристики делают его привлекательным для современных пользователей. Однако, одним из недостатков является цена, которая может значительно увеличиваться в зависимости от выбранной конфигурации и дополнительных опций. Несмотря на это, его преимущества, такие как надежность, производительность и инновационные технологии, делают его востребованным среди мотолюбителей, готовых инвестировать в качество и передовые решения» [3].

#### 1.2.4 Электрический мотоцикл ECO Ducati Panigale

«Данный электрический мотоцикл, является визуальной копией известного мотоцикла «Panigale». Создан для высокопроизводительного использования, как на трассе, так и в бездорожных условиях. Он отличается мощностью, передовыми технологиями и инновациями, представляя собой высококласное итальянское мотоциклетное искусство и стиль. Обладает мощным двигателем, легкой конструкцией, обеспечивая превосходную производительность. На рисунке 4 изображен электрический мотоцикл ECO Honda MK, а в таблице 4 можно изучить его характеристики» [21].

Таблица 4 – Технические характеристики электрического мотоцикла Ducati Panigale.

| Характеристики | Грузоподъемность, кг | Емкость аккумулятора, Ач | Максимальная скорость, км/ч | Мощность электродвигателя, кВт | Запас хода, км | Стоимость, тыс.руб |
|----------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
|                | 200                  | 120                      | 135                         | 3.9                            | 120            | 800                |



Рисунок 4 – Электрический мотоцикл ECO Ducati Panigale

Одним из главных преимуществ этого претендента правильно назвать его вид, заимствованный у культовой линейки мотоциклов «Panigale», что может сильно привлекать истинных любителей двухколесного транспорта, а также его технические характеристики, которые могут порадовать любого пользователя данного мотоцикла.

«Тем не менее, стоит отметить некоторые недостатки. Цена мотоцикла может оказаться высокой для некоторых пользователей, а стоимость ремонта также может быть значительной из-за ограниченной серии производства и возможной сложности в поиске запчастей. Несмотря на эти минусы, мотоцикл привлекает внимание своим качеством, передовыми технологиями и уникальным дизайном, делая его желанным выбором для энтузиастов и коллекционеров» [2].

### **1.2.5 Электрический мотоцикл на базе шасси КТМ 690**

Электрический мотоцикл разрабатывается на базе шасси мотоцикла, оснащенного двигателем внутреннего сгорания КТМ 690.

Основная особенность данной модели будет заключаться в том, что электрический мотоцикл все так же будет включать в себя все преимущества шасси и подвески гоночного мотоцикла КТМ 690, при этом с интегрированной электрической силовой установкой мотоцикл станет более экологичным, более тихим, более динамичным, что как минимум заинтересует любителей мотоциклов линейки КТМ. Сохранить полностью шасси позволит метод реверсивного инжиниринга, а именно 3д сканирование элементов шасси и перенос их в КАД модель. Далее путем модернизации существующих компонентов интегрируется аккумулятор и электрический двигатель с контроллером. Самое важное, что после такого переоборудования на данном электрическом мотоцикле будет дозволено передвигаться по дорогам общего пользования, что делает данный экземпляр еще более привлекательным для потенциального покупателя. Более того, путем незначительных доработок данный мотоцикл можно будет в любой момент снова переоборудовать ДВС.

На рисунке 5 изображен электрический мотоцикл КТМ 690 с двигателем внутреннего сгорания, а в таблице 5 можно изучить его характеристики.

Таблица 5 – Технические характеристики электрического мотоцикла на базе КТМ 690.

| Характеристики | Грузоподъемность, кг | Емкость аккумулятора, Ач | Максимальная скорость, км/ч | Мощность электродвигателя, кВт | Запас хода, км | Стоимость, тыс.руб |
|----------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
|                | 200                  | 60                       | 110                         | 4                              | 110            | 200                |



Рисунок 5 – мотоцикл КТМ 690

«Одним из главных преимуществ мотоцикла являются его инновационные технические решения. Возможность интеграции комплектов в любое транспортное средство с вышедшим из строя двигателем при ограниченных ресурсах является оптимальным решением для потребителей. Универсальные крепления, отличающиеся высокой функциональностью, позволяют производить мотоциклы с единой конструкцией, в которую можно установить электрические силовые установки различных параметров в зависимости от требований заказчика. К тому же конструкция креплений 30-киловатной установки настолько проста, что её установка не вызывает трудностей. Дополнительным преимуществом является высокая ремонтопригодность и доступность комплектующих, что делает обслуживание более экономичным и удобным. Это особенно важно в условиях ограниченного доступа к специализированным ремонтным центрам. Мотоцикл также оснащен передовыми системами безопасности и эргономичными элементами, что повышает комфорт и безопасность при вождении. Всё это делает данный мотоцикл привлекательным выбором для широкого круга пользователей, обеспечивая надежность и удобство эксплуатации в различных условиях» [6].

#### **1.2.6 Сравнительный анализ проектируемой модели с конкурентами**

«Для достоверной оценки качества технологического оборудования необходимо учитывать все показатели качества и формализовать оценки процесса. В случае если единичные показатели качества  $P_i$  могут быть выражены количественно, то их уровень может быть соотнесен со значением показателя, принятого за базу  $P_{i0}$ . Когда увеличение абсолютного значения единичного показателя качества приводит к улучшению качества, уровень показателя выражают отношением  $U_i = P_i / P_{i0}$ .

Если из-за увеличения абсолютного значения качество было ухудшено, то в таком случае качество следует выражать таким образом  $U_i = P_{i0} / P_i$ . И в таком случае несмотря на то было ли положительное или же отрицательное влияние увеличение показателя качества, в любом случае уровень будет возрастать при улучшении по данному показателю» [7].

Для того чтобы провести сравнительный анализ нескольких конструкций мотоциклов, и сравнить их по нескольким показателям, необходимо создать общую таблицу, чтобы проводить сравнение было максимально наглядно. Ниже представлена таблица 6, которая включает в себя всех вышеперечисленных конкурентов, а также разрабатываемый продукт. Можно увидеть, насколько превосходит тот или иной показатель у разрабатываемой модели при относительно низкой стоимости.

Таблица 6 – Технические характеристики сравниваемых транспортов

| Характеристики/<br>мотоцикл | Грузоподъемность, кг | Емкость аккумулятора, Ач | Максимальная скорость, км/ч | Мощность электродвигателя, кВт | Запас хода, км | Стоимость, тыс.руб |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
| SUR Bee X                   | 100                  | 38                       | 75                          | 6                              | 75             | 400                |
| Super Soco                  | 75                   | 30                       | 85                          | 3                              | 70             | 270                |
| ECO Honda MK                | 150                  | 60                       | 110                         | 5                              | 100            | 570                |
| Ducati Panigale             | 200                  | 120                      | 135                         | 3.9                            | 120            | 800                |
| KTM 690 (электрический)     | 200                  | 60                       | 110                         | 4                              | 110            | 200                |

После того, как анализ всех конструкций проведен, на базе отобранных критериев, которые являются наиболее привлекательными для потенциального потребителя, необходимо создать циклограмму, которая будет включать в себя числовую оценку по каждому параметру, что позволит либо вычислить площадь фигуры, создаваемой соединением всех оценок для каждого продукта отдельно, и определить, чья площадь больше, либо же сложить все оценки и получить общее значение. Ниже, на рисунке 6 можно рассмотреть сравнительную циклограмму для электрических мотоциклов.

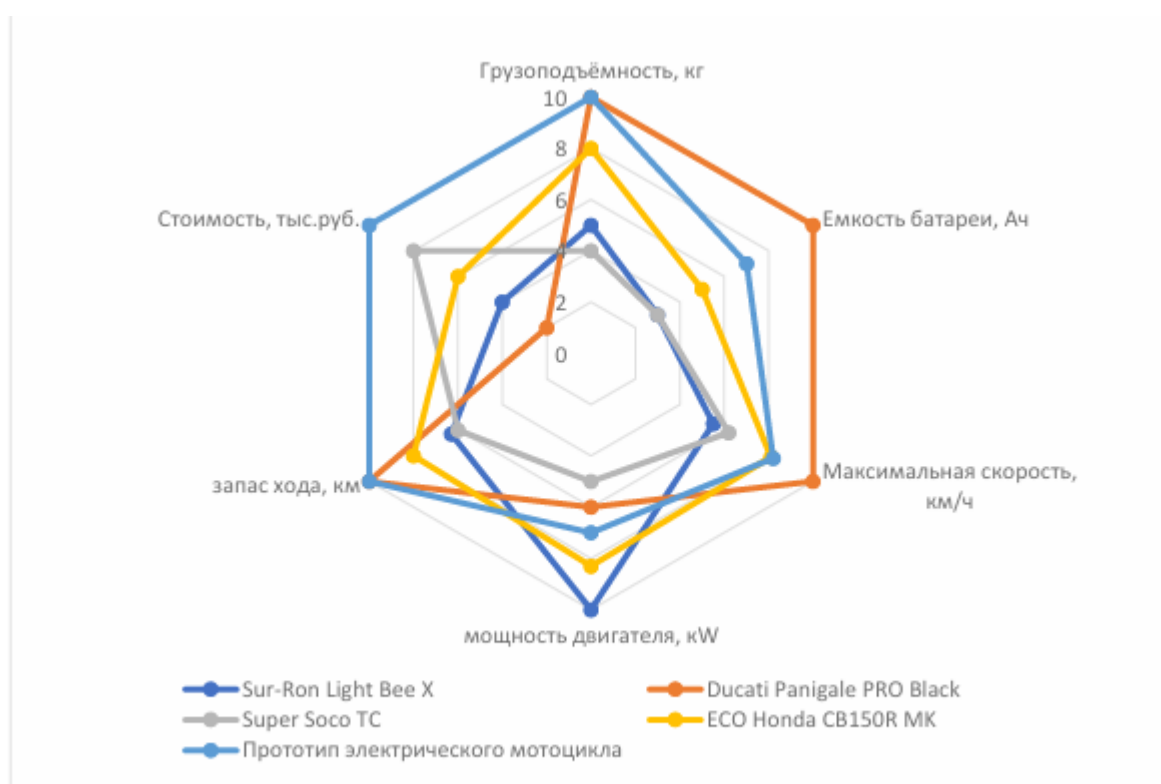


Рисунок 6 – Сравнительная циклограмма характеристик электрических мотоциклов

Выше, на рисунке 6 можно увидеть результаты составления циклограммы. На данной циклограмме, каждая оценка, проставленная в зависимости от уровня того или иного показателя, выражена в виде точки на линии с тем или иным показателем. После проставления всех оценок, точки,

относящиеся к одному продукту, соединяются линиями, а за счет чего образуется замкнутая фигура, площадь которой показывает на привлекательность продукта для потенциального потребителя.

Можно увидеть, что наиболее привлекательным по многим показателям является электрический мотоцикл Дукати, потому что это большой(емкостительный), быстрый и автономный электрический мотоцикл, тем более с его дизайном, данный мотоцикл имеет огромное преимущество. Однако можно так же заметить, что данный мотоцикл имеет самую высокую цену, что заставит потребителя задуматься о покупке менее привлекательного, но более дешевого аналога. Кроме того, можно увидеть, что электрический мотоцикл на базе KTM 690 составляет всем аналогам достаточно хорошую конкуренцию за счет своей относительно небольшой стоимости при условии, что по всем остальным характеристикам он даже превосходит многих конкурентов. После проведения анализа и составления циклограммы была составлена сводная таблица результатов и оценок. В таблице 7 можно увидеть сравнение оценок электрических мотоциклов.

Таблица 7 – Сравнение оценок с циклограммы

| Электрический мотоцикл  | Общая оценка с циклограммы |
|-------------------------|----------------------------|
| SUR Bee X               | 34                         |
| Super Soco              | 32                         |
| ECO Honda MK            | 43                         |
| Ducati Panigale         | 48                         |
| KTM 690 (электрический) | 52                         |

#### Выводы по разделу

Был проведен анализ рынка электрических мотоциклов, что позволило выявить конкурентные преимущества прототипа по сравнению с аналогичными моделями других производителей.

## **2 Применение методики реверс инжиниринга**

Получение математической 3Д модели путем 3Д сканирования готового изделия в последнее время все больше набирает популярность. Дело в том, что реверс инжиниринг стал одним из основных направлений проектирования сложных объектов. Причина довольно проста, используя этот метод можно получить очень точную 3Д цифровую модель за короткий промежуток времени. Более того, данный метод сокращает не только время на получение 3Д цифровой модели, но и сократить время на проектирование деталей, ведь в основном куда быстрее и проще провести модификацию существующей детали, чем проектировать деталь с нуля.

Таким образом цифровая КАД модель, полученная при помощи 3Д сканирования специализированным оборудованием, становится базой для дальнейшего проектирования и оптимизации деталей.

«В сфере автомобилестроения точность геометрии является главным параметром при проектировании транспорта. 3D-сканер позволяет получить цифровую модель с высокой точностью, при этом сократить время и расходы на этапе разработке. Этот метод основан на измерении расстояния до объекта с использованием лазеров, световых проекторов или камер. Затем собранные данные обрабатываются компьютером для создания точной цифровой реплики объекта. Данный процесс обеспечивает высокую точность и детализацию 3D моделей объектов. Достаточно распространен и широко применяется в разных сферах. В автомобилестроении 3D-сканеры применяются для анализа геометрии, обратного инжиниринга, оптимизации производства и персонализации.

Одной из главных проблем, с которыми пришлось столкнуться при работе над проектом по электрификации мотоцикла, является необходимость оцифровки и компоновки электрических компонентов, таким образом, чтобы

была возможность быстрого демонтажа и ремонта узлов и деталей. Также в перспективе обеспечить транспортного средства» [20].

«Для решения данной проблемы мы воспользовались возможностью 3D сканера. Для данной работы выбрали 3D-сканер от российского производителя Scanform. Scanform L5 это ручной портативный 3D-сканер, работающий по принципу определения положения точек в пространстве на поверхности сканируемого объекта методом оптической триангуляции, на основе измерений, полученных во время проекции лазеров на поверхность сканируемого объекта. Сканер обладает пятью лазерами и двумя оптическими камерами. Лазерные лучи проецируются на поверхность объекта, формируя деформированный рисунок. На основе снимков камеры происходит фиксация формы, после чего, в специализированной программе проводится расчёт расстояния до каждой точки в поле зрения одного кадра. На основе серии снимков производится построение трехмерной модели в виде облака точек.

На первом этапе использования сканера необходимо провести калибровку измерительного устройства. Калибровка подразумевает под собой настройку параметров лазерных лучей и камер. Материалы, из которых сделан 3D-сканер, подвержены внешним температурным изменениям, вследствие которых происходят изменения взаимного расположения оптических элементов. Во время калибровки устройства программное обеспечение корректирует оптические и геометрические параметры сканера.

На рисунке 7 можно увидеть специализированный аппарат Scanform L5, с помощью которого были отсканированы детали для электрического мотоцикла на базе КТМ 690, а на рисунке 8 показана специальная плитка, которая используется для проведения калибровок камер аппарата Scanform L5. Эта плита сделана из углепластика, и идет в комплекте с аппаратом. На пластину нанесены темные фигуры разного размера, а сама калибровка проводится в специализированной программе, идущей также в комплекте с аппаратом» [8].



Рисунок 7 – аппарат для 3Д сканирования объектов Scanform L5



Рисунок 8 – Плитка для калибровки аппарата Scanform L5

«В первую очередь необходимо запустить программу и подключить донгл-ключ для запуска программного обеспечения, после чего подсоединить сканирующее устройство к девайсу. Перейти во вкладку калибровка камер и приступить к настройке. В дальнейшем необходимо провести настройку лазеров. Необходимо перейти в соответствующий раздел. В целях проведения калибровки лазеров необходимо найти ровную, светлую площадку и с помощью плавных движений перемещать сканер в интервале 25–55 см, относительно линии, которая отображается в программном обеспечении.

После того, как калибровочные работы со сканером будут завершены, необходимо подготовить поверхность объектов для проведения 3Д сканирования и преобразования в КАД модель. Scanform L5 для проведения 3Д сканирования требуется светоотражающие маркеры, которые представляют собой круглые наклейки разного размера со специализированной светоотражающей серединой. Данные маркеры позволяют Scanform L5 определять расстояние до объекта и положение его в пространстве. Специализированные маркеры изображены на рисунке 9» [15].

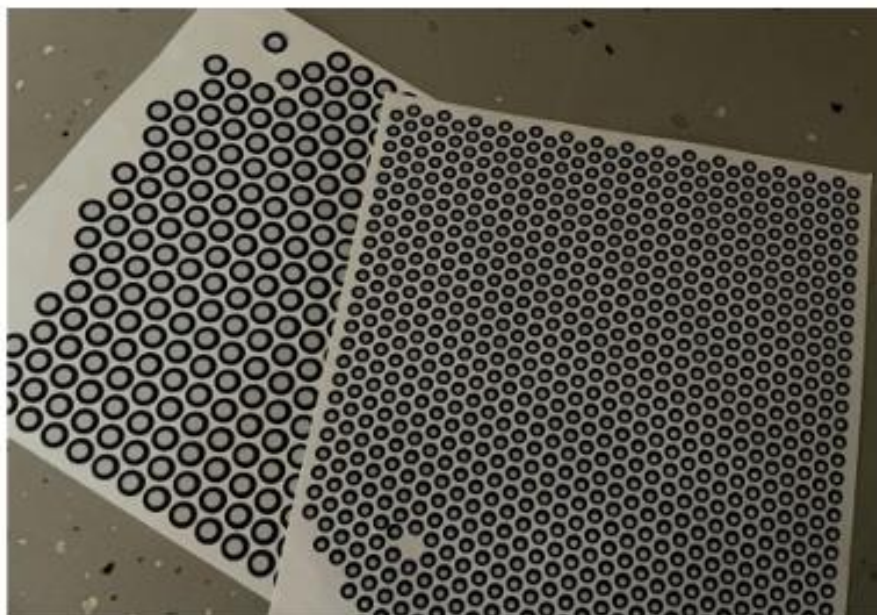


Рисунок 9 – Светоотражающие маркеры для 3Д сканера Scanform L5

Кроме всего прочего светоотражающие маркеры играют очень важную роль на этапе обработки отсканированной КАД модели. Во время синхронизации сканов позволяют их объединять между собой с большой точностью и скоростью. Светоотражающие маркеры можно и даже нужно наносить не только на объект сканирования, но и на поверхность, на которой сам объект расположен, это необходимо для более точного определения объекта в пространстве. Инструкцией запрещается устанавливать маркеры равномерно на поверхности, потому что в таком случае сканирование может пройти некорректно, также инструкцией запрещается устанавливать светоотражающие маркеры близко друг к другу, располагать их на острые поверхности и на неравномерные пересечения, все это также приведет к некорректному сканированию. То есть маркеры должны располагаться более-менее хаотично на поверхности детали таким образом, чтобы расстояние между маркерами было не менее 40 мм. Более того сами светоотражающие маркеры должны быть целостными, без каких-либо дефектов, царапин, надразов, потому что качество светоотражателей напрямую влияет на качество сканирования. Замятия и неровности светоотражающих маркеров также запрещено инструкцией по использованию 3Д сканера. Маркеры бывают разными по типу их установки на объект, а именно в виде наклеек на клеевой основе, а также в виде магнитов. Очевидно, что для неметаллических поверхностей необходимо использовать маркеры на клеевой основе, а для металлических деталей больше подойдет именно магнитный тип, так как чаще всего к металлической поверхности очень плохо клеятся маркеры в виде наклеек. Для того чтобы корректно провести процедуру сканирования объекта необходимо всегда учитывать, чтобы минимум 4 маркера попадали в обзор камер устройства, которые будут ориентиром для измерительного прибора. На рисунке 10 изображены светоотражающие маркеры магнитного типа.



Рисунок 10– Светоотражающие маркеры магнитного типа

Во время проведения процедуры 3Д сканирования детали, очень важно определить тип поверхности детали, которые могут быть:

- гладкие,
- текстурированные,
- отражающие,
- прозрачные,
- многокомпонентные.

«К гладким поверхностям относятся детали, не имеющие выраженных дефектов, шероховатостей или текстур, такие как архитектурные элементы, статуи. К текстурированным относятся такие детали, поверхность которых обладают рельефом или текстурой. Для таких поверхностей потребуется провести дополнительную обработку. Некоторые материалы, такие как

стекло, металл или глянцевый пластик, могут отражать свет, что затрудняет сканирование. Для сканирования таких поверхностей необходимо воспользоваться матирующим спреем, обладающий специальным аэрозольным составом, способствующий матированию поверхности, способствующий уменьшению отражения и бликов. Также существуют объекты, поверхность которых может включать в себя несколько различных материалов. Для сканирования таких тел необходимо использовать комбинированные методы. В процессе сканирования потребуется менять яркость лазеров, что позволит получить более качественный скан объекта.

Сканированию подвергнется каждая из деталей мотоцикла КТМ 690. Для примера проведем полный цикл сканирования фары. Данная деталь включается в узел светотехники. Устанавливается в фартук, в который входит 5 компонентов. Поэтому для сборки необходимо получить точные габаритные и посадочные размеры фары. При таком методе сканировании метки лучше располагать как на самой платформе, так и на детали. Внешний диаметр меток 10мм, внутренний 6 мм» [10]. На рисунке 10 изображен матирующий спрей.



Рисунок 11 – Аэрозольный матирующий спрей

На рисунке 11 можно увидеть этап подготовки поверхности фары мотоцикла КТМ 690 к 3Д сканированию. Для этого аэрозольная матирующая субстанция наносится на отражающую поверхность, чтобы отражающая поверхность фары не сбивала сканер во время процедуры перенесения объекта в 3Д. После того, как поверхность была заматована необходимо наклеить светоотражающие маркеры, выполненные в виде наклеек, при соблюдении всех правил размещения маркеров на объект.



Рисунок 11 – Подготовка поверхности фары электрического мотоцикла на базе КТМ 690 к сканированию 3Д сканером

«Далее производится настройка параметров 3Д сканирования. Для этого нужно перейти в раздел настройки в специализированном софте, идущем в комплекте с 3Д сканером» [25].

«Во время проведения сканирования были использованы настройки по умолчанию, установленные программным обеспечением, за исключением разрешения.

Разрешение – минимальное расстояние между захваченными точками на заданном расстоянии сканирования. Чем выше разрешение, тем плотнее облако точек сканирования. В случае, если важна высокая детализация 3D модели, то разрешение стоит повысить. В нашем случае детализация не сильно важна, поэтому выбираем разрешение равное 0,4 мм.

Далее нужно перейти в раздел для поиска меток. При помощи камер программа определяет, распознаёт и анализирует расположение каждого маркера. Запускаем процесс поиска маркеров, необходимо равномерно перемещать устройство 3D сканнера вдоль поверхности сканируемой детали, на которой наклеены светоотражающие маркеры. Стоит обратить внимание на индикатор, который показывает на каком расстоянии располагать сканер относительно объекта. На рисунке 12 можно увидеть результат поиска светоотражающих маркеров в пространстве. На экран выводится облако светоотражающих маркеров, относительно которых будет производиться 3D сканирование детали» [18].

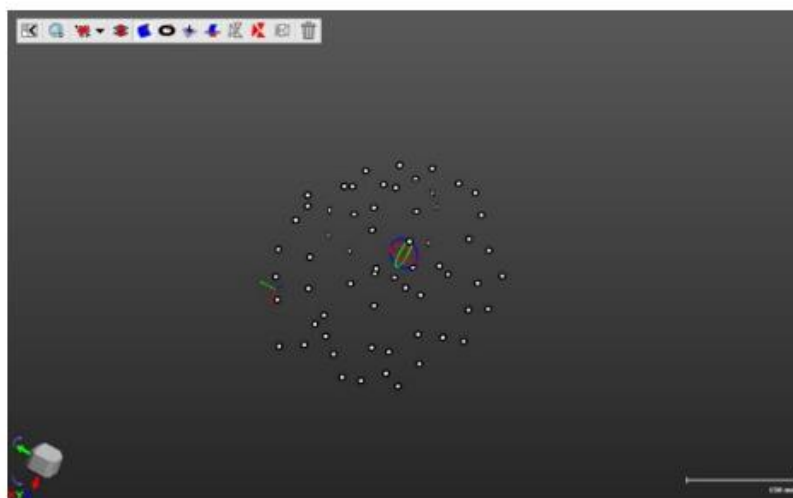


Рисунок 12 – Расположение светоотражающих маркеров в пространстве

Далее можно приступать уже к самому 3Д сканированию при помощи аппарата для сканирования. Для большей точности переноса объекта в КАД нужно провести несколько этапов сканирования детали с разных, при этом необходимо учитывать, что одной из сложностей является сканирование в труднодоступных местах детали. На рисунке 13 изображен непосредственно процесс сканирования детали, и что можно увидеть на первом этапе преобразования детали в КАД. Некоторые труднодоступные места на детали могут не сканироваться или же некорректно сканироваться, но все труднодоступные места можно будет в ручном режиме отрисовать на этапе постобработки.

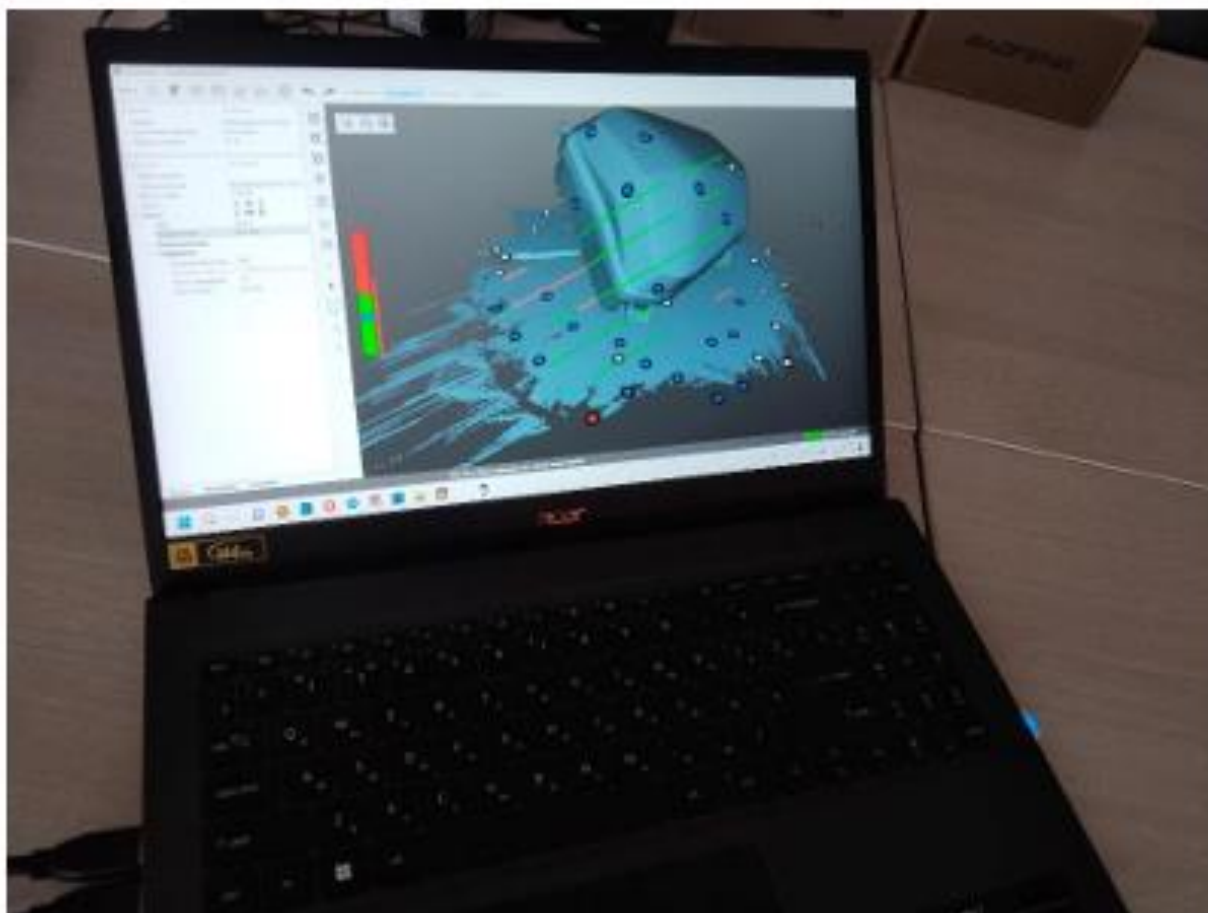


Рисунок 13 – Результат сканирования детали электрического мотоцикла КТМ

В процессе сканирования объекта сканер также захватывал в свое обозрение лишние объекты, такие как платформа, на которой располагалась сканируемая деталь, а также все что находилось за пределами платформы. Все лишние элементы впоследствии должны быть уделены в специализированном софте. «Светоотражающие маркеры, которые также были перенесены в КАД вместе с моделью, детали можно оставить до финальной обработки, это поможет провести объединение сканов с минимальной погрешностью» [4].

«Объединение сканов осуществляется во вкладке облако точек. Существует два способа объединения – автоматический и полуавтоматический. Автоматический способ объединения достаточно простой. Для этого требуется использовать инструмент «объединения сканов через маркеры». Этот инструмент позволяет обеспечить точное выравнивание объектов в трехмерном пространстве без участия пользователя. Полуавтоматический способ представляет собой ручной поиск общих точек. Необходимо определить минимум 5 точек на общей площади двух сканов, после чего выполнить операцию точного выравнивания точек. Выполнять данную операцию следует до тех пор, пока точность погрешности не будет удовлетворять вашим требованиям. Так как на нашем объекте существуют светоотражающие метки, используем автоматический способ выравнивания.

Дальнейшая работа подразумевает под собой обработку облака точек. Следует воспользоваться инструментом «Поверхность» и построить поверхность сканов. В данной вкладке также предоставляется возможность восстановления модели с помощью инструмента "заполнение дыр", который позволяет автоматически заполнять пробелы или пустоты в модели, повышая ее целостность. Также необходимо воспользоваться инструментом выравнивайте вручную. На рисунке 14 можно увидеть процесс выставления поверхности детали, относительно координат. Выравнивание производится вручную при помощи программы» [9].

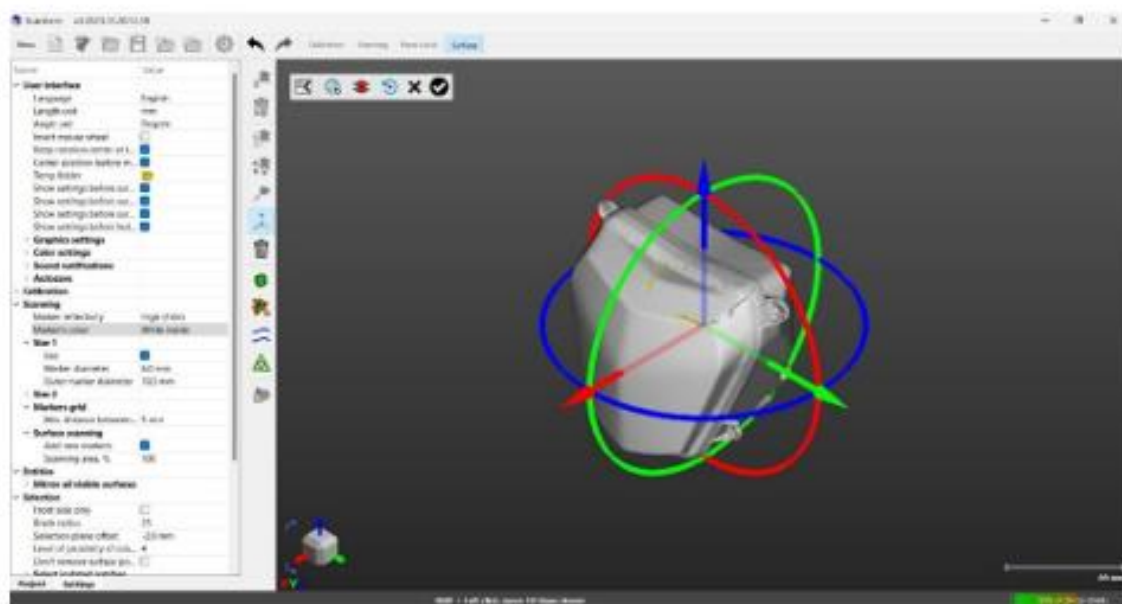


Рисунок 14 – Выравнивание скана относительно системе координат

«После завершения выравнивания детали ее необходимо импортировать CAD программу, где будет осуществлена постобработка скана. Загружать деталь в программное обеспечение лучше всего в формате STL, потому что этот формат самый распространенный в сфере КАД моделей. STL файл необходимо экспортировать в специализированную программу, в нашем случае Siemens NX. Обработка 3Д моделей после сканирования – процесс удаления лишних элементов, а также восстановления данных сканирования, в результате чего происходит создание твердотельной 3D-модели элемента. Для начала нужно исправить все дефекты, которые остались на полигональной модели. Лишние элементы необходимо удалить, используя инструмент вырезать» [17].

Чаще всего для преобразования из полигонального 3Д скана в полноценную твердотельную 3Д модель можно использовать два различных метода. При использовании первого метода необходимо воспользоваться модулем поверхностного моделирования, во время которого необходимо будет задать поле точек, соединить их в грани и при помощи команды «заметание» построить ряд поверхностей, за счет чего впоследствии получить

твердотельную 3Д модель детали. Вторым способом заключается в применении команды «Авто поверхность», при котором программа 3Д моделирования самостоятельно попытается преобразовать скан в поверхность, однако при таком способе необходимо будет потратить время на дополнительную доработку поверхности. В нашем случае лучше всего использовать полное проектирование вручную. Для этого требуется воспользоваться инструментом «Rapid Surfacing». Данный плагин позволяет работать с поверхностями свободной формы. Однако перед тем, как начать работу, необходимо произвести условное упрощение полигональной модели, то есть разделить ее на сектора. Результат деления поверхности детали на сектора можно увидеть на рисунке 15.

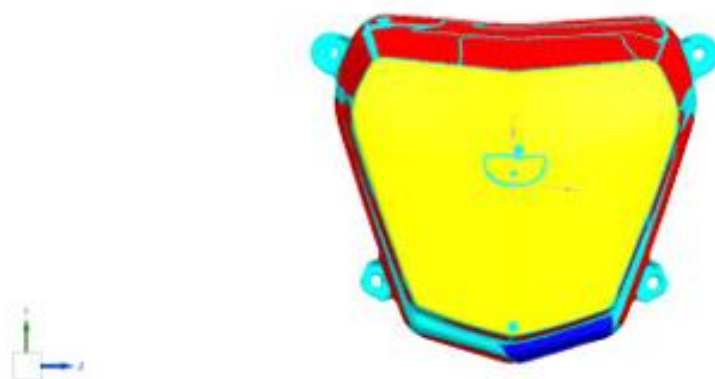


Рисунок 15 – Разделение детали после сканирования на секторные элементы

Программа 3Д моделирования самостоятельно проводит процесс деления полигональной поверхности на секторные элементы, однако для корректного деления, необходимо, верно, задать параметры программы для обеспечения необходимого количества секторных элементов. Когда мы имеем оптимальное количество секторных элементов, гораздо проще обеспечить легкое создание поверхностей первого порядка и второго порядка.

На следующем этапе работы с моделью требуется создать поверхности, касающиеся каждого из ранее полученных секторов. При работе с поверхностным моделированием, используя секторные элементы, необходимо образовать поверхности граней таким образом, чтобы они пересекали друг друга, и можно было бы их обрезать. Когда все поверхности будут соединены, программой будет автоматически определено твердое тело, все пустоты будут заполнены. На рисунке 16 можно увидеть конечную твердотельную 3Д модель сканируемой детали.



Рисунок 16 – конечная твердотельная 3Д модель

«В таком порядке проводиться работы для каждого узла мотоцикла. После чего необходимо перейти к общей сборке цифровой модели мотоцикла. Для этого было принято решение отсканировать мотоцикл полностью. При сканировании всего мотоцикла было использовано 396 маркеров, произведено 5 сканов, после чего объединённых между собой.

Следующим этапом является полная сборка цифровой модели мотоцикла. Каждый компонент размещается в цифровой модели в соответствии с его физическим расположением на мотоцикле. Базовые точки используются для корректного позиционирования компонентов относительно

друг друга. Проводится проверка совместимости и соответствия компонентов между собой с учетом их размеров, форм и функций. Данный этап достаточно важен для обеспечения правильной установки и эксплуатации мотоцикла. Цифровая модель корректируется и оптимизируется для повышения точности, производительности и реалистичности. Конечную 3Д модель электрического мотоцикла на базе КТМ 690 можно увидеть на рисунке 17» [11].



Рисунок 17 – КАД модель электрического мотоцикла на базе КТМ 690

#### Выводы по разделу

Методология, описанная выше, доказала свою практическую эффективность, позволяя получить высокую точность, скорость работы и сократить затраты на ресурсах. Это позволяет значительно ускорить процесс разработки и снизить затраты на производство, в результате чего достигается повышение конкурентоспособности продукции.

### **3 Расчетная часть**

#### **3.1 Расчет прочности шасси мотоцикла после ремоторизации**

После того как был проведен процесс полной ремоторизации в прошлом мотоцикла с двигателем внутреннего сгорания КТМ 690, а в нынешнем, электрического мотоцикла, необходимо провести валидацию шасси мотоцикла на прочность и крутильную жесткость. Дело в том, что до ремоторизации, силовая установка на базе ДВС придавала конструкции шасси дополнительную жесткость на кручение.

Проверка рамной конструкции электрического мотоцикла, лишившегося более 20% жесткости, придаваемой двигателем внутреннего сгорания, за счет его собственной жесткости будет проводиться путем имитации бокового изгиба при прохождении поворота, и появлении боковых сил в пятнах контакта шин мотоцикла с дорожным покрытием на скорости вхождения в поворот 120 км/ч.

«В исходном состоянии рама мотоцикла КТМ 690 получает 20% общей жесткости от силового агрегата. После его извлечения необходимо проанализировать оставшуюся крутильную жесткость пространственной рамы мотоцикла и определить зоны потенциальной деформации и структурного напряжения. Также Рама мотоцикла также подверглась некоторым структурным изменениям и модификациям в рамках проведения ремоторизации что в свою очередь также необходимо валидировать. Такого рода анализ позволит вовремя определить проблемные зоны и модифицировать их.

Во время вхождения в поворот рама мотоцикла подвергается крутящим и изгибающим напряжениям. Недостаточная жесткость рамы может привести к ее деформации, что, в свою очередь, может вызвать выход из строя ряда систем транспорта. Поэтому важно провести всесторонний анализ для

выявления возможных проблем и определения необходимых мер для их устранения.

При нагружении рамы, рассматривается ситуация бокового удара в точку контакта шины с дорогой, при максимальном угле положения руля, рисунок 18» [5].

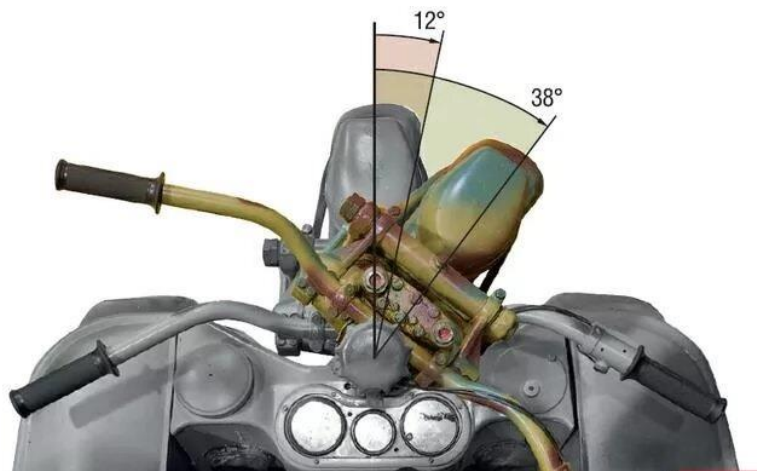


Рисунок 18 – Максимальный угол поворота руля мотоцикла

В нашем случае нагрузка составляет 3.5 кН и симулирует прохождение скоростного поворота при максимальном боковом ускорении на скорости 120 км/ч. На рисунке 19 можно увидеть деформации шасси.

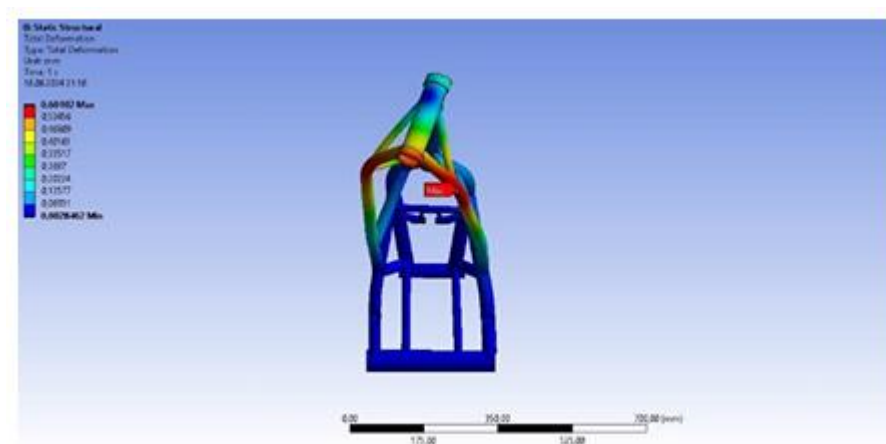


Рисунок 19 – Деформация шасси электрического мотоцикла

Можно увидеть, что при прохождении скоростного поворота с максимальным боковым ускорением, деформация (не постоянная) составляет не более 0,7 мм, что является в пределах допустимых значений деформации. Также на рисунке 20 можно увидеть напряжения металла.

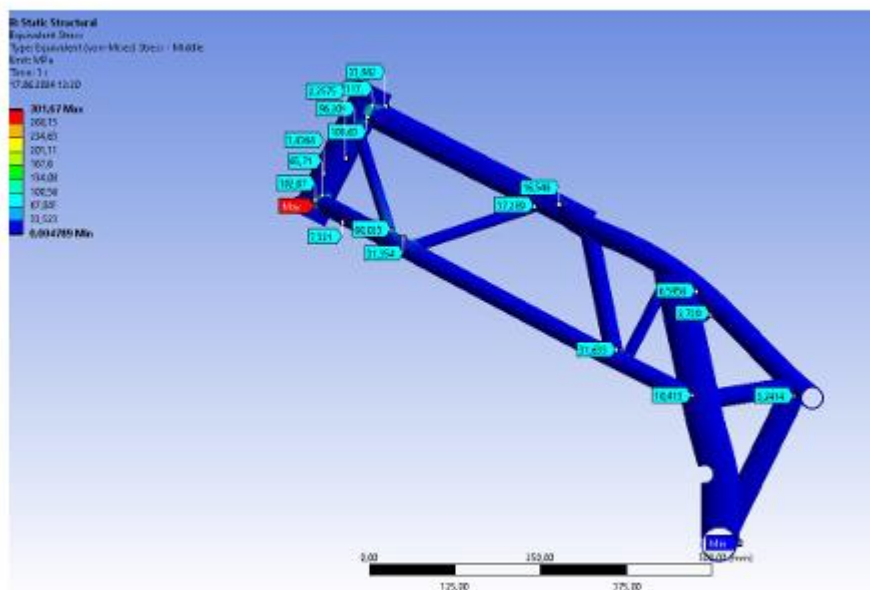


Рисунок 20 – Напряжения при нагрузке шасси

«Для того, чтобы понять, что рама хорошо спроектирована и сможет противостоять тем силам, которые будут возникать во время критических маневров, необходимо, чтобы напряжения не превышали предел текучести материала, из которого сделана рама. Можно увидеть, что для рамы КТМ 690 максимальное значение во время симуляции было 300 Мпа, при том что предел текучести рамы 600–750 Мпа.

На рисунке 21 видно, что наибольшее напряжение в конструкции во время поворота сосредоточено в стакане. Наиболее уязвимой областью является место сварки между стаканом и основной несущей трубой. Эти данные свидетельствуют о том, что несмотря на концентрацию напряжений в

данной области, материал рамы сохраняет свою целостность и устойчивость под нагрузками.

В результате проведённого анализа жесткости конструкции при замене силовой установки были получены важные данные. Валидация показала, что замена мотора не оказало существенного влияния на жесткость конструкции, при наших условиях использования. Запас прочности оказался достаточно высоким, что позволяет использовать данную раму для разработки и установки новой силовой установки. Это решение является достаточно безопасным и не окажет значительного влияния на управляемость мотоцикла. Таким образом, можно заключить, что дальнейшая модернизация транспортного средства с использованием этой рамы оправдана и перспективна, обеспечивая высокие эксплуатационные характеристики и надежность в различных условиях» [16].

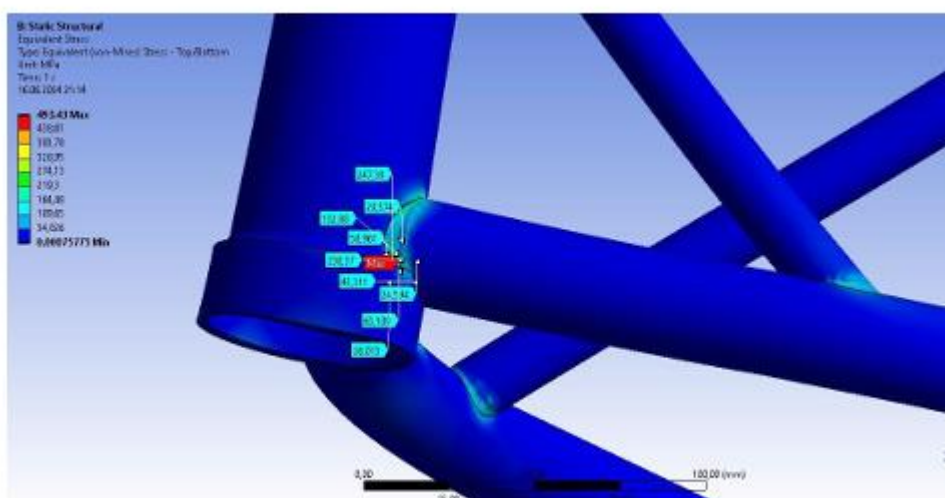


Рисунок 21– Максимальное значение напряжения в пространственной раме

### 3.2 Тягово-динамический расчет электрического мотоцикла на базе КТМ 690

«Исходные данные для расчета тягово-динамических характеристик мотоцикла на базе КТМ 690 выведем в таблицу 8. Расчет был проведен, используя подобный метод, который был применен в пособии» [19].

Таблица 8 – Исходные данные для проведения тягово-динамического расчета

| Характеристика                                    | Значение   |
|---------------------------------------------------|------------|
| Колесная формула                                  | 2х1        |
| Кол-во мест                                       | 2          |
| Снаряженная масса $m_0$ , кг                      | 150        |
| Максимальная скорость $V_{\max}$ , км/ч           | 80         |
| Угловая скорость $\omega_{\max}$ , рад/с          | 418        |
| Максимальная мощность двигателя $N_e$ , кВт       | 16         |
| Максимальный крутящий момент двигателя $M_e$ , Нм | 108,8      |
| Тип и размер колеса                               | 160/60 R17 |
| Аэродинамическое сопротивление $C_x$              | 0,36       |
| Величина максимального уклона в %                 | 25         |
| КПД трансмиссии                                   | 0,95       |
| Ширина ТС, мм                                     | 878        |
| Высота ТС, мм                                     | 1335       |
| Сопротивление качению                             | 0,05       |
| Передаточные числа                                |            |
| Главная передача                                  | 2,6        |

Электрический мотоцикл является среднемоторным и заднеприводным, при этом распределение веса по осям в соотношении: 45% на передней оси и 55% - на задней оси» [1].

Коэффициент обтекаемости можно рассчитать по формуле 1:

$$k = \frac{Cx \times p}{2} \quad (1)$$

где  $p$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>

Далее рассчитывается лобовая площадь за счет габаритных размеров электрического мотоцикла, а рассчитать ее можно по формуле 2

$$S = 0,8 \times H \times B \quad (2)$$

где  $H$  – высота, мм;

$B$  – ширина, мм.

Кроме того, необходимо рассчитать внешнюю скоростную характеристику двигателя (ВСХ), которая может быть рассчитана по формуле номер 3

$$S = N_{\max} \times \left[ \frac{we}{wN} + \left( \frac{we}{wN} \right)^2 - \left( \frac{we}{wN} \right)^3 \right] \quad (3)$$

где  $we$  – значение угловой скорости вала, рад/с;

$wN$  – угловая скорость вала при максимальной мощности, рад/с.

Далее необходимо построить график зависимости крутящего момента от оборотов в минуту, а также график мощности, зависящей от оборотов вала в минуту. На рисунках 22 и 23 можно увидеть графики мощности и момента.

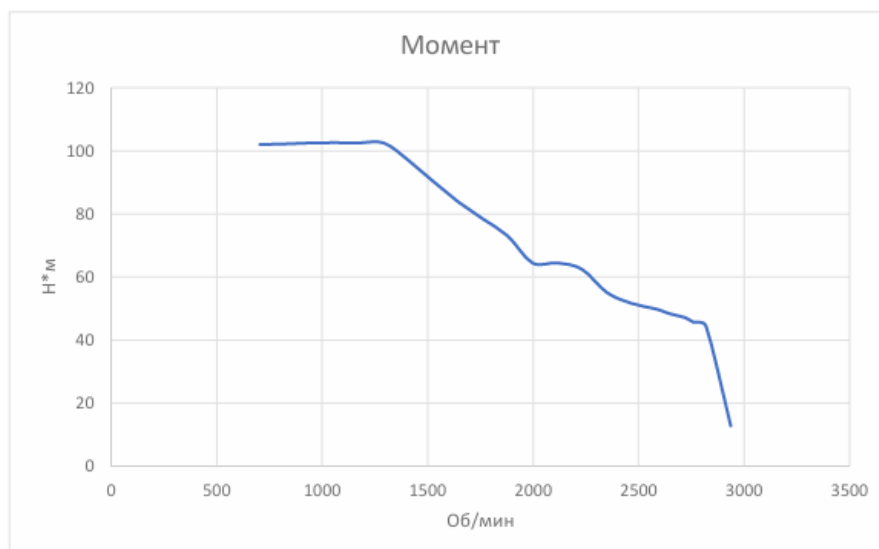


Рисунок 22 – График зависимости крутящего момента от частоты вращения с испытаний



Рисунок 23 – График зависимости мощности от частоты вращения с испытаний

«Передаточное число  $U_0$  определяется, исходя из заданного значения максимальной скорости автомобиля и передачи, на которой мы хотим достигнуть эту скорость. Для того чтобы использовать транспортные средства в городе, в комфортных условиях передвижения, необходимо 3 скорости. В мотоцикле на электрической тяге отсутствует коробка переключения передач, потому исходя из этого подбираем главную передачу позволяющую достигнуть хороших показателей на разных покрытиях дороги» [12].

Расчет передаточного числа можно произвести при помощи формулы 4.

$$U_0 = \frac{r_k \times w_{\max}}{U_4 \times v_{\max} \times U_0} \quad (4)$$

Кроме того, нужно рассчитать силовой баланс, по формуле номер 5.

$$F_T = F_d + F_v + F_i \quad (5)$$

где  $F_T$  – сила тяги ведущего колес, Н;

$F_d$  – сила сопротивления от дороги, Н;

$F_v$  – сила сопротивления воздуха, Н;

$F_i$  – сила сопротивления разгону, Н;

Таблица 9 – Расчет тягового баланса

|            |    |      |      |      |       |       |
|------------|----|------|------|------|-------|-------|
| We         |    | 100  | 205  | 310  | 355   | 418   |
| Me         |    | 4.6  | 4.6  | 4.6  | 2     | 0     |
| 1 передача | V  | 1.2  | 2.4  | 4    | 4.2   | 0     |
|            | Ft | 423  | 423  | 423  | 176   | 0     |
|            | F  | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01  | 0.01  |
|            | Fb | 1    | 4    | 9.12 | 12.54 | 16.64 |
|            | Fd | 26   | 26   | 26   | 26    | 26    |

График тягового баланса можно увидеть на рисунке 24.

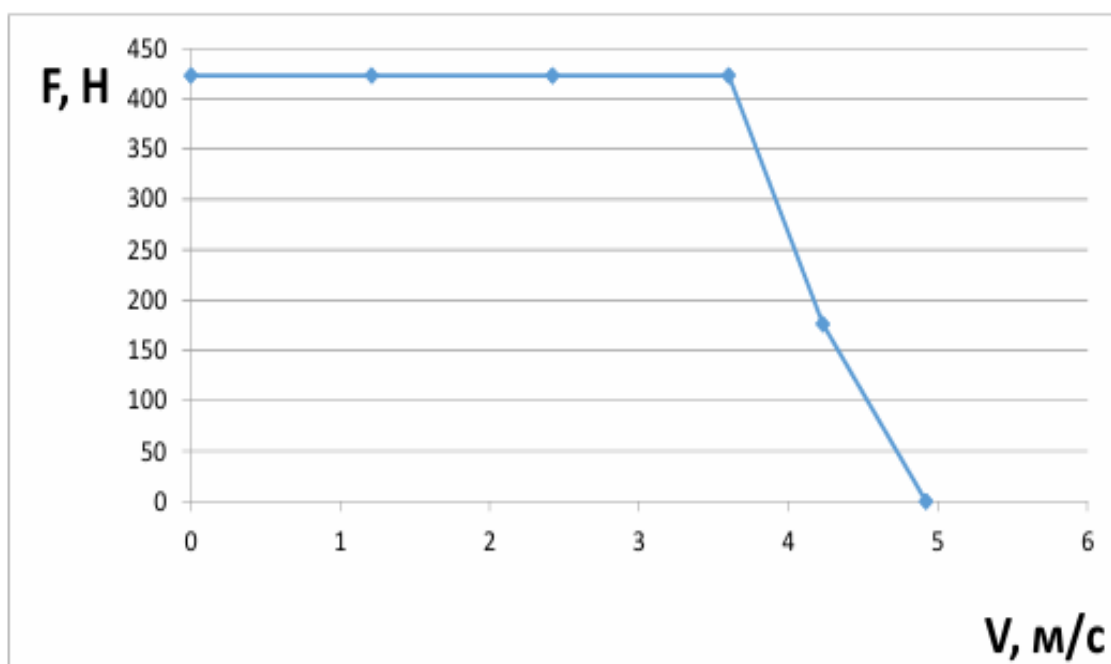


Рисунок 24 – Тяговый баланс электрического прогулочного шаттла

#### Выводы по разделу

В рамках данного раздела был проведен ряд валидационных работ, а именно был проведен тягово-динамический расчет, а также была проведена валидация шасси электрического мотоцикла на предмет прочности, надежности и деформационного скручивания.

#### 4 Безопасность и экологичность технического объекта

«Изготовление мотоцикла с электрической силовой установкой связано с опасностью для изготовителя, поэтому весь процесс должен быть заключен в регламенте по охране труда, которое обеспечивает безопасность рабочим при изготовлении деталей. Разработка документации ведется с упором на опыт иностранных предприятий в области машиностроения, а также на законы, действующие на территории Российской Федерации. На обозначены все основные требования и все необходимые данные для поддержания безопасности, и каждый работник проходит инструктаж, регулярно проходит семинары по повышению квалификации, это способствует созданию безопасных условий труда на производстве.

Для производства мотоцикла с электрической силовой установкой необходимы слесарные, сварочные и сборочные работы. ОВПФ слесарных работ указаны в таблице 10» [14].

Таблица 10 – ОВПФ слесарных работ

| Направление работы | Сущность работы                                       | Список необходимых инструментов                                                       | ОВПФ                                                                                                       |
|--------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                  | 2                                                     | 3                                                                                     | 4                                                                                                          |
| Слесарные работы   | – резка металла,<br>– сверление,<br>– резьбонарезание | Углошлифовальная машина, трубка, керн, шуруповерт, молоток, метчик и метчикодержатель | Физические: механизмы, изделия, вращающиеся части, острые кромки, повышенная запыленность и загазованность |

Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- применять в процессе своей работы оборудование, инструменты и средства малой механизации по назначению, в соответствии с инструкциями завода – изготовителя,
- выполнять только порученную непосредственным руководителем работу и не передавать ее другим без разрешения непосредственного

руководителя,

- содержать рабочее место, в том числе и проходы к рабочим местам в чистоте и порядке, при обнаружении захламления рабочей зоны – необходимо обеспечить ее уборку
- систематическая проверка знаний по технике безопасности и охране труда,
- регулярная проверка здоровья и медицинские осмотры,
- соблюдения правил внутреннего распорядка предприятия,
- соблюдать пожарную безопасность и правила охраны труда на рабочем месте.

ОВПФ сварочных работ указаны в таблице 11.

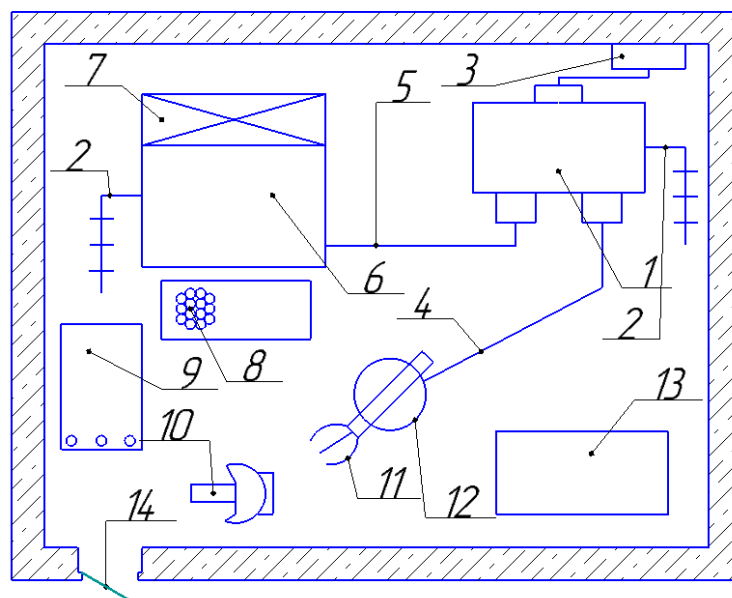
Таблица 11 – ОВПФ сварочных работ

| Направление работы | Сущность работы | Список необходимых инструментов                                         | ОВПФ                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                  | 2               | 3                                                                       | 4                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Сварочные работы   | Сварка деталей  | Сварочная оснастка, источник сварочного тока, пинцы, ручной инструмент. | Физические: механизмы, изделия, острые кромки, повышенная запыленность и загазованность, высокая температура, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, излишняя яркость сварочной дуги, опасность ожогов, возможность взрыва баллонов и систем, электромагнитные поля. |
|                    |                 |                                                                         | Химические: –аргон, вольфрам, хлориды железа, натрия и калия.                                                                                                                                                                                                            |

Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- необходимо подготовиться и произвести уборку перед сварочными операциями,
- проверка работоспособности и настройка рабочего оборудования происходит перед началом работы,
- систематическая проверка знаний по технике безопасности и охране труда,

- регулярная проверка здоровья и медицинские осмотры,
- соблюдения правил внутреннего распорядка предприятия,
- соблюдать пожарную безопасность и правила охраны труда на рабочем месте.



1 – сварочный аппарат; 2 – заземление; 3 – силовой провод питания; 4 – шланг для подачи проволоки и газа; 5 – обратный токоподводящий провод; 6 – верстак; 7 – вентиляция; 8 – резиновая изоляция рабочего; 9 – проволока; 10 – щиток; 11 – пистолет для подачи проволоки и газа; 12 – стул; 13 – ящик для отходов; 14 – дверной проем.

Рисунок 25 – Рабочие место для проведения сварочных работ

«К основным задачам сварщика относятся:

- производить сварку конструкций из любых материалов, которые обладают необходимыми свойствами,
- выполнять прихватки деталей,
- ликвидировать дефекты по средствам зачистки,
- резать простые детали с помощью дуговой сварки;
- осуществлять контроль качества сварочного шва и его проникание в материал после сварки, специальными инструментами.

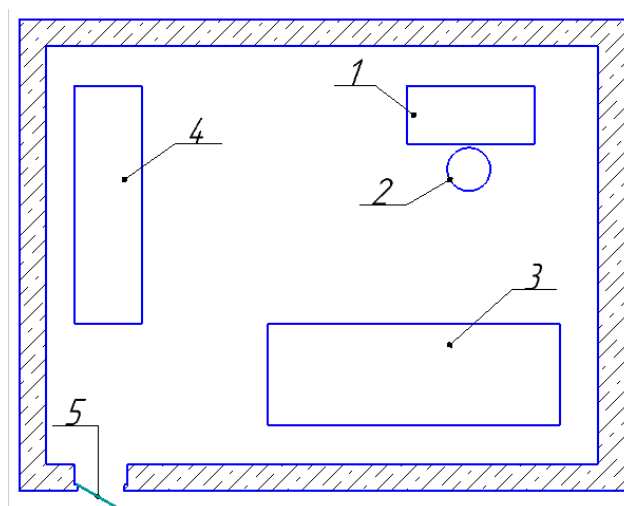
ОВПФ сборочных работ указаны в таблице 12» [13].

Таблица 12 – ОВПФ сборочных работ

| Направление работы | Сущность работы                          | Список необходимых инструментов                                                                                                            | ОВПФ                                                                                                                                      |
|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сборочные работы   | Сборка узла с упором на чертежи и модели | – стол для работы, тиски, инструмент (зубило, молоток, напильник), инструменты для измерения (линейка, штангенциркуль), электроинструмент. | Физические:<br>– части разрушившегося изделия, острые края; – повышенный уровень шума; – абразивная пыль, воздействие электрического тока |

Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- ознакомление с инструктажами по технике безопасности,
- промышленная санитария (чистота рабочего места),
- дисциплина на рабочем месте,
- использование оборудования по назначению.
- при обнаружении поломки – сообщать спецгруппе по ремонту оборудования



1 – рабочее место; 2– стул; 3 – верстак; 4 – инструментальный шкаф; 5-дверной проем.

Рисунок 26 – Рабочее место для сборочных работ

К основным задачам сборщика относятся:

- сборка деталей или узлов конструкции в кондукторе по чертежу либомодели,
- проверка точности установки деталей с опорой на чертежи при помощи измерительных инструментов,
- указание примечаний для дальнейшей работы с данной деталью.

Выводы по разделу

Реализация на практике всего комплекса мероприятий и мер, разработанных для данных ОВПФ, позволит практически полностью обезопасить работников во время выполнения технологического процесса.

## **Заключение**

В данной работе представлен обзор ремоторизации мототехники на базе КТМ 690.

В первом разделе проведен анализ рынка конкурентов в сфере электрических мотоциклов. Проведено сравнительное исследование конкурентов по нескольким критериям. Проведена оценка потребительских свойств каждого претендента.

Во втором приведена пошаговая методика применения реверс инжиниринга при помощи специализированного оборудования для 3Д сканирования

В третьем разделе проводятся валидационные расчеты, такие как тягово-динамический расчет, а также прочностной КАЕ анализ рамы мотоцикла после ее модификации.

В четвертом разделе описаны основные требования к безопасности и экологичности выполнения работ.

Итогом работы является оцифрованная при помощи реверс инжиниринга и оптимизированная под электрическую силовую установку КАД модель.

Таким образом, проведенная работа подтверждает, что реинжиниринг и ремоторизации мотоциклов на базе КТМ 690 являются перспективным направлением в развитии мототехники, так как позволяет при меньших экономических затратах получить два продукта с разными силовыми установками. Этот проект может служить примером для дальнейших разработок и внедрения инновационных технологий в производство транспортных средств, способствуя развитию более экологичного и эффективного транспорта.

## Список используемых источников

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т. Т.3. 8-е изд. перераб. и доп. под ред. И.Н. Жестоковой. М.: Машиностроение, 2001. 864 с.
2. Арутюнян Г. А., Евсеев К. Б. Разработка подвески спортивного автомобиля класса «Формула студент» // Молодежный научно-технический вестник. № 1. 2013. С. 148–154.
3. Волкова Е. И., Двоеглазова Н. А. Методика расчёта бизнес-презентации в рамках проекта Formula Student // Ежегодный сборник трудов "Студенческие инженерные проекты". 2017. С. 198–204.
4. Волкова Е. И., Шерстобитова О. О. Разработка пространственной рамы для гоночного болида Black Bullet // VII выпуск журнала "Точная наука". 2017. С. 18–20.
5. Раскин А.М. Основы расчета и указания к дипломному проектированию агрегатов шасси автомобиля. Саратов: Ротапринт, 1975. 68 с.
6. Дэс Хаммилл. Подвеска и тормоза: как построить и модифицировать спортивный автомобиль // пер. с англ. М.: Легион-Автодата, 2005. 96 с.
7. Вишняков Н. Н., Вахламов А.Н. Автомобиль: Основы конструкции: учеб. для ВУЗов специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986, 304 с.
8. Лукин П. П. Конструирование и расчёт автомобиля. М.: Машиностроение, 1984. 376 с.
9. Кисуленко Б.В. Краткий автомобильный справочник. М. : Автополисплюс, 2005. 560 с.
10. Антошкина В. А. Проектирование системы подвески гоночного автомобиля Formula Student // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Механика и машиностроение. 2016. С. 44–47.

11. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 782 с.
12. Маталин А. А. Технология машиностроения: учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. 151001 напр. "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. производств". Изд. 3-е, стер. ; Гриф УМО. Санкт-Петербург: Лань, 2010. 512 с.
13. Маркина А. А., Чепкасов С.Н., Бережная М.А. Разработка комплексной системы управления движением спортивного автомобиля класса «Формула Студент» по заданной трассе // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2019. С. 1–12
14. Горелов В. А., Косицын Б.Б. Разработка комплексной системы управления движением спортивного автомобиля класса «Формула Студент» по заданной трассе // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. С. 45–55.
15. Петрова М. С. Охрана труда на производстве и в учебном процессе: учеб. пособие. М.: ЭНАС, 2006. 232 с.
16. Раймпель Й. Шасси автомобиля / под. ред. И. Н. Зверева. М.: Машиностроение, 1983. 356 с.
17. Дьяков И. Ф., Оптимальный выбор подвески транспортных средств // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. Механика и машиностроение. 2020. С. 148–154.
18. Суслов, А. Г. Технология машиностроения: учеб. для вузов / А. Г. Суслов. - 2-е изд., перераб. и доп.; Гриф МО. – М.: Машиностроение, 2007. - 429 с.
19. Formula SAE URL: <http://www.fsaeonline.com/> (дата обращения: 22.05.2024)
20. Pat's Corner - Back to Basics URL: <https://www.formulastudent.de/pr/news/details/article/pats-corner-back-to-basics/> (дата обращения: 11.08.2024)

21. Milliken, W. and Milliken, D., 1995. Race Car Vehicle Dynamics. 1st ed. United States of America: SAE Publications Group. pp.857.
22. Franca J. D., Gazziro M. A., Ide, A. N., & Saito, J. H. (2005, September). A 3D scanning system based on laser triangulation and variable field of view. In Image Processing, 2005. ICIP 2005. IEEE International Conference on (Vol. 1, pp. I-425). IEEE
23. Joonbum P., Kyoungseok H., Cooling and dynamic performance of electric vehicle traction motor adopting direct slot cooling method, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2023, 147 p.
24. Martín G., Vergara R., Fabián C. Tommasini, applying 3D scanning and printing technology in the replication of pinnae for head-related transfer function measurements, Applied Acoustics, 2024, 223 p.
25. Pothamsetty R., K., Muthumuniyandi Muthupandi, Duduku Mojeswararao, Numerical analysis on space frame chassis of a formula student race car, Materials Today: Proceedings, Part 3, 2022, 759 p.

## Приложение А

## Спецификация к сборочному чертежу рамы мотоцикла

| Формат<br>Зона | Поз.         | Обозначение | Наименование                          | Кол.                                                           | Приме-<br>чание |  |
|----------------|--------------|-------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------|--|
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
| Стор. примен.  |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       | Документация                                                   |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                | A1           |             | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.СБ-Сборочный чертеж |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       | Детали                                                         |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              | 1           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.001                 | Боковой кронштейн<br>крепления мотора                          | 1               |  |
|                |              | 2           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.002                 | Верхний наклонный стержень                                     | 1               |  |
|                |              | 3           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.003                 | Втулка крепления маятника                                      | 2               |  |
| Стор. №        |              | 4           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.004                 | Диагональная труба                                             | 2               |  |
|                |              | 5           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.005                 | Задняя верхняя рамная труба                                    | 2               |  |
|                |              | 6           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.006                 | Косынка диагональной трубы                                     | 2               |  |
|                |              | 7           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.007                 | Крепление заднего амортизатора                                 | 1               |  |
|                |              | 8           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.008                 | Кронштейн для крепления<br>тягового аккумулятора               | 2               |  |
|                |              | 9           | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.009                 | Кронштейн крепления маятника                                   | 2               |  |
|                |              | 10          | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.010                 | Нижний стержень рамы                                           | 2               |  |
|                |              | 11          | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.011                 | Поперечная труб                                                | 2               |  |
|                |              | 12          | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.012                 | Распорка верхнего наклонного<br>стержня и нижнего стержня рамы | 2               |  |
|                |              | 13          | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.013                 | Распорка верхней рамной<br>трубы и нижнего стержня рамы        | 2               |  |
|                |              | 14          | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.014                 | Распорка верхней рамной трубы<br>и поперечной трубы            | 2               |  |
|                |              | 15          | 24.РБ.ЛиЗА.082.02.015                 | Распорка диагональной трубы                                    | 2               |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                | Подп. и дата |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
| Инф. № докум.  |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
| Взам. инв. №   |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
| Подп. и дата   |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
| Инф. № подл.   |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
| Инф. № подл.   |              |             |                                       |                                                                |                 |  |
|                |              |             |                                       |                                                                |                 |  |

|                                                            |               |          |       |      |                      |      |        |
|------------------------------------------------------------|---------------|----------|-------|------|----------------------|------|--------|
| Изм.                                                       | Лист          | № докум. | Подп. | Дата | 24.РБ.ЛиЗА.082.05.СБ |      |        |
| Разработ                                                   | Водк РЛ       |          |       |      |                      |      |        |
| Пров.                                                      | Бабровский АВ |          |       |      |                      |      |        |
| Н.контр.                                                   | Бабровский АВ |          |       |      |                      |      |        |
| Утв.                                                       | Бабровский АВ |          |       |      |                      |      |        |
| Разработка мотоцикла с<br>электрической силовой установкой |               |          |       |      | Лит.                 | Лист | Листов |
|                                                            |               |          |       |      |                      | 1    | 2      |
|                                                            |               |          |       |      | ТГУ, ЭТКдд-1902ас    |      |        |

Копировал

Формат А4

### Рисунок А.1 – Спецификация рамы мотоцикла

