

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

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные
процессы»
(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Системы автоматизированного проектирования в машиностроении
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка методики проектирования процесса сборки шасси
легкового автомобиля в САПР

Студент

А.А. Мартынов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

канд. техн. наук., доцент, П.Н. Шенбергер

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	3
1 Обзор сведений о сборках и САПР технологиях	6
1.1 Основные понятия о сборках.....	6
1.2 Анализ проблем при сборке.....	8
1.3 Четвертая индустриальная революция	11
1.4 Обзор САПР для работы со сборками	13
1.5 Интерактивные руководства для монтажа и сборки изделия.....	16
1.6 Цель и задачи работы	18
2 Анализ последовательности сборки в Siemens NX	19
2.1 Разработка электронной сборочной модели	19
2.2 Моделирование последовательности сборки	27
2.3 Разработка интерактивного руководства для сборки конструкции	39
3 Разработка симуляции в Siemens Mechatronics Jack.....	41
3.1 Подготовка к работе в Siemens Mechatronics Jack.....	41
3.2 Разработка симуляции процесса сборки.....	48
Заключение	72
Список используемых источников.....	73

Введение

Актуальность исследования. Сложность современных проектных работ в жестких условиях быстрого вывода продукции на рынок задает развитие процессов конструкторско-технологической подготовки производства в направлении цифровизации. Внедрение цифровых технологий на ранних стадиях проектирования позволяет получить конкурентные преимущества и сократить вероятность возникновения ошибок на стадиях производства продукта.

Нахождение оптимального варианта последовательности сборки конструкции на основе многочисленных вариантов является важной задачей. Система автоматизированного проектирования (англ. Computer-aided design (CAD)) — автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования [10], представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности [8]. Перевод процесса установления наилучшей последовательности сборки в среду виртуального моделирования позволяет собрать конструкцию заданного качества при наименьших затратах средств и труда.

В среде виртуального моделирования специалист может определить, в какой последовательности собираются или разбираются компоненты сборки, учесть необходимые зазоры, а также записать анимацию процесса. Такой подход является наиболее эффективным при работе с плотной компоновкой сборки в случае жестких требований к зазорам между компонентами сборки.

Автоматический расчет траекторий вставки или изъятия компонентов сборки может являться основой создания интерактивных руководств для монтажа и сборки изделия.

Целью исследования является разработка методики процессов оценки, прогнозирования и контроля сборки в среде виртуального моделирования.

Для достижения поставленной цели были сформулированы **следующие задачи**:

1. Выполнить создание электронного макета сборочной конструкции.
2. Разработать последовательность сборки.
3. Выполнить симуляцию последовательности процесса сборки в виртуальной среде.
4. Провести анализ столкновений деталей в процессе сборки.
5. Выполнить симуляцию процесса сборки с участием цифрового манекена и спроектированного рабочего места.
6. Разработать интерактивное руководство по сборке конструкции в виде медиа файла.

Объектом данного исследования выступает методика анализа собираемости конструкции.

В качестве **предмета исследования** был выбран цифровой сборочный узел амортизатора легкового автомобиля.

Научная новизна работы. Разработанная методика моделирования и оценки процесса собираемости конструкции позволяет обеспечить эффективное планирование производства на ранней стадии разработки продукта на основе анализа, прогнозирования и контроля сборки в среде виртуального моделирования.

Объектом данного исследования выступает методика анализа собираемости конструкции.

В качестве **предмета исследования** был выбран цифровой сборочный узел амортизатора легкового автомобиля.

Методы проведения исследования: в данной работе при разработке методики анализа собираемости были использованы методики оценки

собираемости конструкции, а также моделирования условий сборки в виртуальной среде.

Практическая значимость. Применение разработанной методики позволяет выполнять оценку собираемости конструкции на ранней стадии проектирования и избежать затрат, которые могли бы возникнуть в случае ошибки в процессе реального производства.

Апробация результатов: результаты диссертационной работы были предоставлены и рассматривались на заседаниях кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы» Тольяттинского государственного университета.

Результаты докладывались на следующих конференциях:

- всероссийская студенческая научно-практическая междисциплинарная конференция «Молодежь. Наука. Общество»; работа получила 3 место в конкурсе докладов;
- научно-практическая конференция «Студенческие дни науки в ТГУ».

Личный вклад автора заключается в разработке методики планирования производства, прогнозирования и контроля сборки продукта на стадии его разработки.

Структура и объем магистерской диссертации: магистерская диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Общий объем – 76 страниц. В данной работе содержатся 71 иллюстраций, 1 таблица, 30 использованных источников.

1 Обзор сведений о сборках и САПР технологиях

1.1 Основные понятия о сборках

В технологии машиностроения большое влияние уделяется заключительному этапу производства, а именно сборке изделия. Важность сборки объясняется тем, что ее результаты в значительной мере определяют производственно-техническое и эксплуатационное качество изделия. В структуре технологических процессов производства изделий машиностроения сборочные процессы являются завершающей ступенью, на которой проявляются особенности взаимодействия деталей [15]. Основным термин «Сборка» описывается как образование соединений составных частей изделия [9].

Сборка — технологический процесс, при котором из отдельных деталей создаются готовые механизмы.

Под сборкой понимают совокупность операций по установке деталей в сборочное положение и соединение их в сборочные единицы в определенной технологической последовательности и проверке взаимодействия их в изделии, соответствующего установленным техническим требованиям.

В машиностроении сборку разделяют на узловую и общую. Под узловой сборкой понимают процесс соединения в определенной технологической последовательности деталей в сборочные единицы, а под общей – сборку готового изделия из сборочных единиц и деталей, а также покупных (комплектующих) изделий [21].

Необходимо отметить, что деталь — изделие, которое создано из одного материала, а сборочный узел это — изделие, состоящее из нескольких деталей, которые могут отличаться своими характеристиками.

Сборочные работы классифицируются также по разновидности их последовательностей:

- последовательная,
- параллельная,
- последовательно – параллельная сборка.

Последовательную сборку чаще применяют при сборке продукта, состоящего из отдельных деталей, а параллельную сборку используют для продукта, состоящего из отдельных сборочных узлов. Сначала независимо друг от друга собираются отдельные сборочные узлы, а затем их собирают в один готовый продукт.

Для осуществления сборочных работ существуют различные методы сборки:

- метод пригонки;
- метод полной взаимозаменяемости;
- метод неполной взаимозаменяемости.

Индивидуальная пригонка поверхностей деталей по месту может осуществляться вручную или с применением механической обработки. Чаще всего это производится слесарной обработкой [13].

При сборке по методу полной взаимозаменяемости сопряжение деталей осуществляется без дополнительных обработок или замены деталей. Полная взаимозаменяемость – это тот случай, когда все детали изделия, поступившие на сборку, взаимозаменяемы [16].

Метод сборки с применением подбора деталей (неполная взаимозаменяемость) основан на учёте вероятностей отклонения размеров, составляющих размерную цепь, причём возможно получение некоторого количества узлов, выходящих за установленные пределы точности. Использование метода неполной взаимозаменяемости приводит к тому, что в процессе сборки узлов или механизмов возникает необходимость дополнительной обработки отдельных звеньев или применения других приемов

для обеспечения точности замыкающего звена [7]. Сборка с применением подбора деталей, благодаря расширению допусков на все звенья размерной цепи, позволяет экономичнее изготавливать детали [11].

Сборочные работы являются завершающим этапом изготовления машин и оборудования различных производств, который в значительной степени определяет их качество, т.е. заданные выходные параметры, надежность и долговечность и другие эксплуатационные характеристики. При проектировании машин и аппаратов конструкцию расчленяют на сборочные единицы, законченные в конструктивном и технологическом отношении, что облегчает выполнение процесса сборочно-монтажных работ. Трудоемкость сборочных работ в машиностроении может достигать 50 % от общей трудоемкости производства машин, и в значительной степени обусловлена большим объемом ручных пригоночных операций [25].

1.2 Анализ проблем при сборке

Основные проблемы типового сборочного производства [1]:

- Недостаточно развиты имеющиеся теории и технологии автоматизации сборочных работ.
- Малая технологичность конструкций машин, что приводит к малой гибкости сборочных процессов.
- Многообразие соединений и методов сборки, которые затрудняют создание универсального оборудования для сборки.
- Строгая необходимость сверхточного позиционирования деталей перед началом сборочного процесса.
- Значительное количество размерных цепей, динамических и кинематических связей в современных машинах.

- Большое количество номенклатуры в современных производствах, что затрудняет создание оборудования для сборки.
- Традиции создания оборудования под неавтоматизированные процессы.
- Информационная разобщенность между технологической и конструкторской подготовками производства.

Делая вывод по проблемам, на первый план выступает разобщенность между технологическими и конструкторскими работами и сложность проектирования рабочего процесса, при разработке продукта. Важность слаженной работы между технологическими и конструкторскими отделами на начальной фазе могут предотвратить много проблем в будущем, таких как, невозможность улучшений продукта с технологической стороны из-за конструкторских особенностей разработанного продукта, широкий ассортимент номенклатуры необходимого инструмента для сборки изделия, необходимость дорогостоящего оборудования или инструмента и отсутствие возможности его закупки, невозможность равномерной загрузки рабочих постов, что может привести к замедлению темпа производства целого предприятия. Данная работа, как раз, будет направлена на поиск возможности совместной работы двух отделов: технологического и конструкторского. И дополнительно, будет затронута тема проектирования рабочего участка для работы над разрабатываемым продуктом и создание интерактивного пособия по сборочному процессу.

Длительная недооценка монтажно-сборочных работ привела к возрастанию их доли в суммарной трудоемкости и отрицательно сказалась на экономических показателях производства. Если затраты времени на выполнение операций механической обработки деталей за последние полвека уменьшились в 20 - 50 раз, то затраты на сборочные операции, выполняемые вручную,

остались почти на том же уровне [6]. Но в последнее время специалисты ведут активную работу над улучшением показателей сборочных работ.

Совершенствование сборки ведется по следующим направлениям [3]:

- повышение технологичности в конструкции изделий;
- сближение и параллельная работа сфер сборочных процессов, конструирования, изготовления деталей и управления на основе идеологии CAD/CAM/CAE;
- развитие модульного метода построения конечных продуктов;
- создание и развитие новых способов и методов сборки;
- автоматизация сборочных процессов;
- введение роботизации в сборочные процессы;
- разработка нового и внедрение существующего модернизированного сборочного оборудования;
- проектирование сборки с учетом технологической наследственности.

Из выше сказанного, следует, что на данный момент одна из основных проблем в индустрии производства заключается в обособленности процессов изготовления деталей, технологии сборки, конструирования деталей, общем управлении и отсутствии налаженных автоматизированных процессов передачи данных между данными сферами.

Для решения этих проблем предлагаются технологии, которые относятся к возможностям четвертой промышленной революции («Индустрия 4.0»), направленной на слияние технологий и стирание граней между физической, цифровой и биологической реальностью [17].

1.3 Четвертая индустриальная революция

Четвертая промышленная революция, известная за рубежом как «Индустрия 4.0», первоначально появилась в западных странах в 2011 г. как проект, направленный на повышение конкурентоспособности обрабатывающей промышленности [24]. «Индустрия 4.0» - это четвертая индустриальная революция в истории, предшественниками которой были:

- Индустрия 1.0 — промышленная революция, в которой движущей силой стала сила воды и пара. Отличительной особенностью Индустрии 1.0 является внедрение машинного производства на паровом двигателе.
- Индустрия 2.0 — промышленная революция, в которой движущей силой стала сила электричества. Для этой революции характерно внедрение массового поточного производства, использование двигателя внутреннего сжигания и электрического двигателя.
- Индустрия 3.0 — компьютерная эра. Эта революция характеризуется автоматизацией отдельных машин и процессов, внедрением электроники и достижений информационных технологий.
- Индустрия 4.0 — активная цифровизация сфер производства и быта.

В результате двух последних промышленных революций сформировался инновационный тип развития хозяйственных систем, получивший название цифрового, главным ресурсом которого стали данные [18].

Внедрение технологий «Индустрии 4.0.» требует от промышленных предприятий цифрового проектирования и моделирования технологических процессов, объектов, изделий на всем жизненном цикле от идеи до эксплуатации. Программа «Индустрия 4.0» предусматривает цифровизацию и интеграцию технологических, производственных и бизнес-процессов по

вертикали в рамках всего предприятия, начиная от разработки продуктов и закупок и заканчивая производством, логистикой и обслуживанием в процессе эксплуатации [18]. Такой подход позволит сократить большое количество времени и поможет избежать краха проекта и его убыточность.

Четвертая индустриальная революция (Индустрия 4.0) – означает переход на полностью автоматизированное цифровое производство. Так по итогам исследований Capgemini Research Institute, опубликованных в ноябре 2018 года, внедрение автоматизации на производствах к 2022 году поможет сэкономить компаниям по всему миру до 165 млрд долларов [28].

Цифровое производство - это интегрированная компьютерная система, включающая в себя средства численного моделирования, трехмерной (3D) визуализации, инженерного анализа, предназначенные для разработки конструкции изделий и технологических процессов их изготовления. Данная технология также позволяет моделировать производственные процессы, оптимизировать технологии до начала выпуска продукта.

Концепция цифрового производства предлагает решение проблемы разобщенности между конструкторскими и технологическими этапами разработки продукта в использовании цифровых систем автоматизированного проектирования (САПР) или CAD (computer-aided design)/CAM (computer-aided manufacturing) - систем для решения проблем, связанных с использованием 3-D технологий и их внедрением на производства с последующим успешным переходом к PLM технологиям (Product Lifecycle Management). Технологии PLM собирают, объединяют и хранят информацию с этапов всего жизненного цикла продукта и дают возможность всем участникам производства продукта работать в одной цифровой среде.

Так с использованием компьютерных технологий, в частности САПР, возможна тесная работа инженера-конструктора, инженера-технолога по процессу и инженера-технолога по оборудованию. Они смогут совместно

работать над продуктом, параллельно решая возникающие вопросы, и улучшать его на стадии разработки.

У данного решения проблемы есть свои сложности. Для разработки подходящих настраиваемых приложений виртуальной сборки/разборки в соответствии с различными сценариями необходимы профессиональные навыки программирования, что в определенной степени приводит к тому, что специализированное программное обеспечение требует высоких затрат на разработку и остается дорогостоящим [29]. Руководители высшего звена не всегда связывают ускорение выпуска новых изделий с применением данных технологий, что сказывается на внедрении инструментов цифровизации в процессы производства [14].

1.4 Обзор САПР для работы со сборками

В настоящее время под понятием САПР понимают систему проектирования, которая поддерживает коллективную работу над проектом. Использование САПР позволяет сократить время и стоимость разработки, а также выпуска продукта. В настоящее время разработано множество программных продуктов, необходимых для организации коллективной работы.

Одним из основных направлений работ в области САПР является разработка сборочных узлов, согласованная работа над которыми в коллективном режиме дает наиболее заметное ускорение.

Системы автоматизации инженерной деятельности, включающие в себя и САПР, в общем случае используются для следующих целей:

- проведения инженерных расчетов;
- автоматизации чертежных работ;
- программирования устройств числового программного управления станками;

- управления производством и движением материалов;
- проектирования технологических процессов и т.д. [2].

Основная цель создания САПР — повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращение трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращение сроков проектирования;
- сокращение себестоимости проектирования и изготовления изделий, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращение затрат на натурное моделирование и испытания [19].

Для достижения поставленных задач САПР программы предоставляют следующие возможности:

- автоматизированного составления документации;
- возможности использования технологии параллельного проектирования;
- унификации в вопросе проектных решений и проектирования;
- возможности повторного использования прошлых проектных решений;
- управления проектированием;
- стратегического проектирования;
- использования математического моделирования взамен натуральных испытаний и макетирования.

Рассмотрим программные продукты со стороны их использования в работе со сборками и симуляции сборочного процесса на основе применения цифровых манекенов.

Delmia Process Detailing & Validation: система Delmia позволяет создать виртуальное предприятие с учетом имеющихся производственных мощностей (промышленного оборудования, роботов, операторов), в котором каждый параметр может меняться по желанию до тех пор, пока не будет создана наиболее подходящая конфигурация. Основным преимуществом данной системы является то, что она представляет собой комплексное решение и позволяет моделировать среду, полностью соответствующую реальной фабрике: от действий отдельных исполнителей до размещения складов и сборочных линий. Система Delmia предназначена для моделирования производственных процессов. В целом этот комплекс является частью решения по управлению жизненным циклом изделия (PLM), разработанным французской компанией Dassault Systemes, в который также входит система CAD/CAM/CAE высокого уровня Catia, системы управления базами данных ENOVIA SmarTeam и VPLM [26]. Для данного продукта характерен скромный набор антропометрической библиотеки и инструментов для эргономического анализа, а также не реалистичность картины отображаемых результатов.

Компания Siemens предлагает для работы с цифровыми манекенами такой продукт как Tecnomatix Jack. Цифровая модель человека в среде Tecnomatix Jack имеет реалистичные биомеханические свойства с естественным диапазоном движений и суставов, которые были взяты из настоящих исследований NASA. Такая модель человека состоит из 71 сегментов и 69 суставов, некоторые из которых имеют несколько осей и несколько степеней свободы [30]. Программный комплекс Tecnomatix Jack позволяет выполнять различные эргономические анализы. Проводимый анализ в данной программе может быть, как статическим (вид на соответствующий объект, угол обзора и т.д.), так и кинетический (перемещение предмета, замена компонент). Данная программа обладает своей антропометрической библиотекой. Стоит отметить, что Siemens предлагает бесплатную версию этой программы в учебных целях.

Следующий продукт – RAMSIS. Это ведущий программный продукт в мире по работе с цифровыми манекенами. Он реалистично моделирует людей, находящихся в автомобиле, и анализирует эргономику интерьеров, позволяя гарантировать высокий уровень зрелости продукта и экономить на физических прототипах на ранней стадии разработки продуктов. Недостатком данной программы является то, что она работает и анализирует данные по статической симуляции и не имеет возможности провести симуляцию в динамике.

Таким образом, с помощью САПР можно следовать тенденциям развития «Индустрии 4.0.». Данный подход поможет сократить сроки разработки продукта, затраты на мероприятия, сопутствующие разработке нового продукта, а также наладить связь между конструированием детали и, формированием процесса сборки и проектировании сборочного участка.

Из всего разнообразия продуктов, для данной работы была выбрана программа NX от Siemens PLM Software. Данный продукт предоставляет полный доступ для моделирования, как отдельных деталей, так и структуры всего сборочного узла.

1.5 Интерактивные руководства для монтажа и сборки изделия

Чтобы справиться с растущим рыночным спросом и конкурентами - производственным компаниям, действующим по всему миру, необходима возможность делиться знаниями о процессах сборки таким образом, чтобы они были легко понятны сборщикам. Потребность в квалифицированных рабочих особенно высока для компаний в сегменте специальной техники, поскольку им нужны квалифицированные кадры для их специализированного производства [31].

Существующий подход, который сложился за прошедшие десятилетия к созданию технической документации, требует много времени и усилий. Главная

причина сложностей — это то, что руководства создаются уже после изготовления первого образца или по имеющимся скриншотам от инженеров конструкторов. При последующих изменениях в конструкции продукта, будут требоваться дополнительные изменения и в документации. В процессе разработки продукта конструкторам приходится выполнять дополнительную работу - создавать скриншоты электронных моделей.

В качестве альтернативы современные программные продукты предлагают свой функционал, в который может входить создание текстовых, графических, аудио- и видеоданных, для последующей передачи на производство. Данные функции особенно актуальны для организаций, полностью перешедших на безбумажную технологию разработки, выпуска, сопровождения изделий и обучения производственного персонала.

Современные программы предоставляют иной подход к составлению технической документации, благодаря своей работе с электронными моделями, они позволяют создавать текст, изображение, чертёж проекций и видеоролики. Такой подход к созданию технических публикаций предполагает прежде всего эффективное использование уже существующих CAD, PDM и ERP данных, что позволяет существенно сократить сроки и расходы на разработку документации. Кроме того, создание текста и иллюстраций в значительной мере автоматизировано — автору не требуется выполнять ручное копирование и вставку.

В интерактивные электронные технические руководства встраиваются фотореалистичные изображения и трехмерная мультипликация. Представленные в них трехмерные интерактивные анимации с высокой степенью детализации объектов можно просматривать перед выполнением эксплуатационных и ремонтных процедур либо при наличии портативного компьютера непосредственно на рабочем месте во время работы. Созданные анимации с записанным движением 2D- или 3D-моделей могут быть

представлены в виде мультимедийного AVI-файла и использованы для презентации проекта [4].

Преимущества такого подхода заключаются в следующем:

- анимация технологических процессов обеспечивает максимальную наглядность. Появляется возможность воспроизводить анимацию несколько раз, приближать объект и менять ракурс просмотра;
- наглядные справочные материалы сокращают время выполнения сложных технологических операций на производстве;
- персонал допускает меньше ошибок – сокращается количество брака.

1.6 Цель и задачи работы

При обзоре первой главы, для данной работы были сформулированы цель и задачи исследования.

Целью работы является разработка методики процесса оценки, прогнозирования и контроля сборки в среде виртуального моделирования.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Выполнить создание электронного макета сборочной конструкции.
2. Разработать последовательность сборки.
3. Выполнить симуляцию последовательности процесса сборки в виртуальной среде.
4. Провести анализ столкновений деталей в процессе сборки.
5. Выполнить симуляцию процесса сборки с участием цифрового манекена и спроектированного рабочего места.
6. Разработать интерактивное руководство по сборке конструкции в виде медиа файла.

2 Анализ последовательности сборки в Siemens NX

2.1 Разработка электронной сборочной модели

САПР обладают широкими функционалом и позволяют работать со сборками различных масштабов: от сборочного узла из 3 деталей до целого автомобиля в сборке. Работа может идти одновременно с крупным узлом и с его подсборкой.

Рассмотрим стандартную подвеску легкового автомобиля. Это совокупность деталей, узлов и механизмов, выполняющих роль соединительного звена между кузовом автомобиля и дорогой [22]. Когда автомобиль перемещается по дороге, его шасси воспринимает динамические силы, вызванными дорогой, двигателем, трансмиссией и многим другим объектами [27].

Подвеска автомобиля предназначена:

- для снижения интенсивности вибраций и динамических нагрузок, действующих на пассажиров, перевозимый груз и элементы конструкции автомобиля при его движении;
- для осуществления передачи сил и моментов, возникающих от внешних воздействий, как на колеса, так и на несущую систему;
- для демпфирования вертикальных колебаний колес и вертикальных и угловых колебаний несущей системы [20].

Подвеска автомобиля в качестве узла входит в огромный сборочный узел, такой как автомобиль, но и сама подвеска является крупным сборочный узлом, который состоит из направляющих и упругих элементов, гасящих устройств, стабилизатора поперечной устойчивости, опор колеса, а также элементов крепления.

В данной работе основное внимание было направлено на амортизатор автомобиля (рисунок 2.1), выполняющего функции гасящего устройства.



Рисунок 2.1 - Амортизатор легкового автомобиля

Амортизатор автомобиля – это одна из важнейших частей подвески. Амортизаторы в равной мере служат как для безопасности, так и комфортабельности движения автомобиля. Они должны соответствовать основным параметрам колебательной системы (подрессоренной массе и жесткости упругих элементов подвески) и оптимальному соотношению сил сопротивления при ходах сжатия и отбоя в заданном режиме движения (скорость, дорога), предотвращая отрыв колес от дороги и гася колебания кузова [12].

Если бы не было этого демпфирующего устройства в конструкции автомобиля, то он бы во время движения постоянно вертикально раскачивался. Дополнительно амортизатор улучшает сцепление с дорогой, увеличивает безопасность, улучшает рулевое управление, курсовую устойчивость и торможение автомобиля. Амортизаторы являются сборочным узлом, которые в

свою очередь входят в более крупную сборку, такую как подвеска автомобиля. Она физически соединяет колёса или неразрезные мосты с несущими системами автомобиля — кузовом или рамой; передаёт на несущую систему силы и моменты, возникающие при взаимодействии колёс с дорогой; обеспечивает требуемый характер перемещения колёс относительно кузова или рамы, а также необходимую плавность хода.

Процесс разработки электронной модели сборочной конструкции амортизатора можно разбить на два этапа:

- разработка отдельных электронных моделей конструкции;
- формирование электронной модели сборки с установленными ограничениями.

На первом этапе разработки сборочной конструкции было выполнено создание электронных моделей в модуле «Моделирование» программного обеспечения Siemens NX. Были созданы отдельные 3D-модели деталей амортизатора легкового автомобиля:

- двух стопорных колец (рисунок 2.2);
- клапана (рисунок 2.3);
- нижней опоры пружины (рисунок 2.4);
- штока (рисунок 2.5);
- наконечника (рисунок 2.6);
- цилиндра (рисунок 2.7);
- крышки цилиндра (рисунок 2.8);
- пружины (рисунок 2.9);
- гайки, затягивающей пружину (рисунок 2.10).

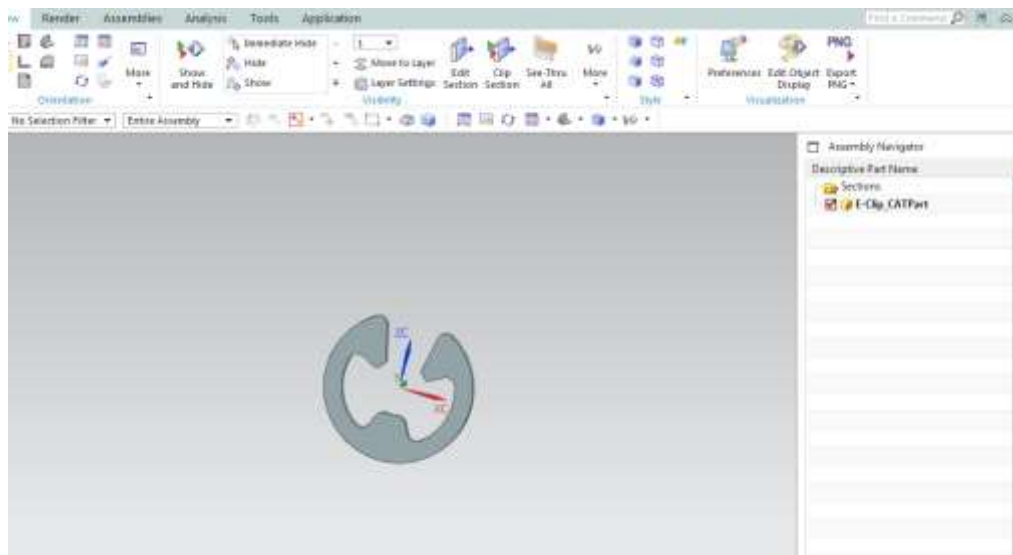


Рисунок 2.2 - Электронная модель стопорного кольца

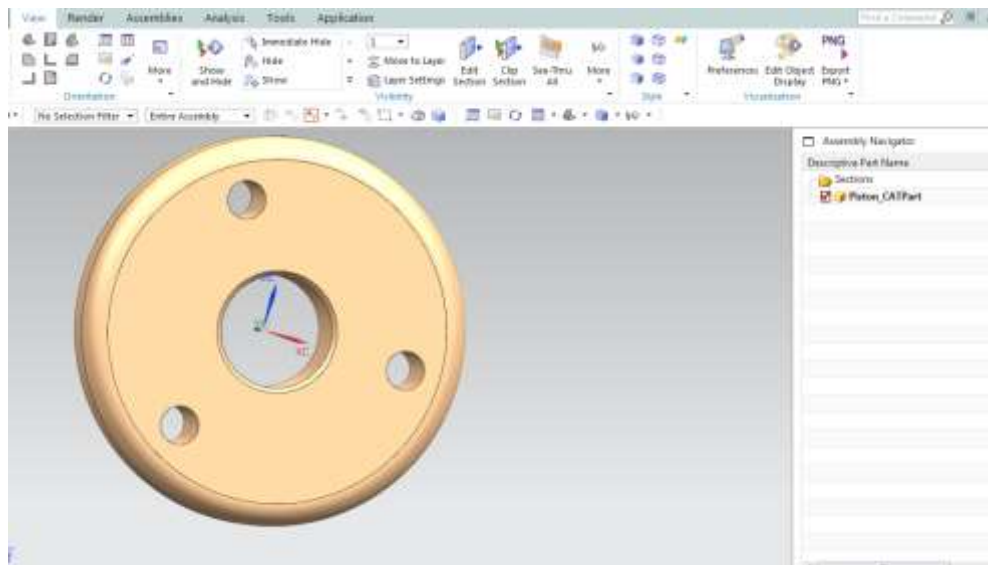


Рисунок 2.3 - Электронная модель клапана

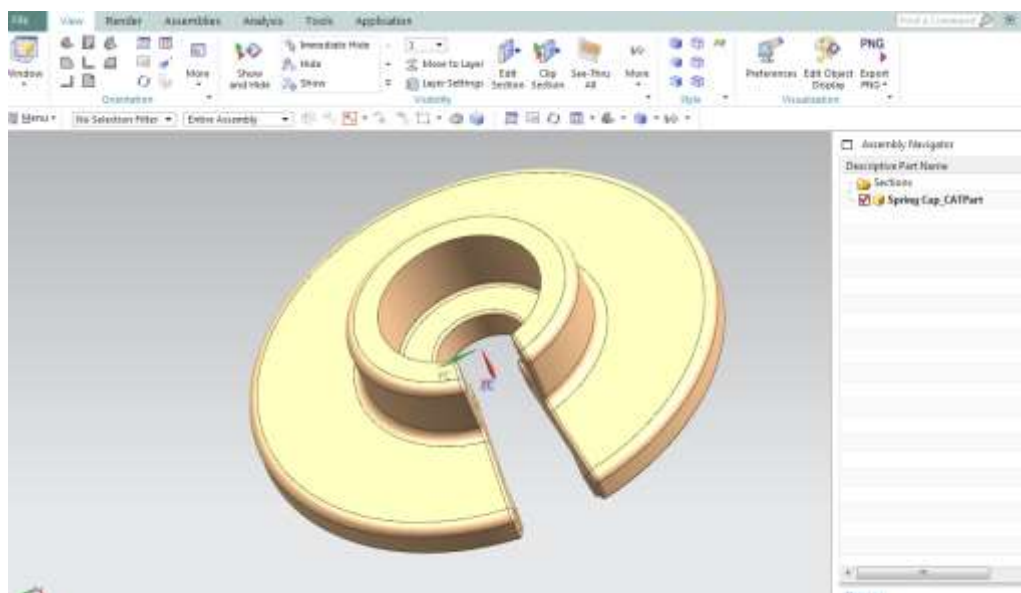


Рисунок 2.4 - Электронная модель нижней опоры пружины

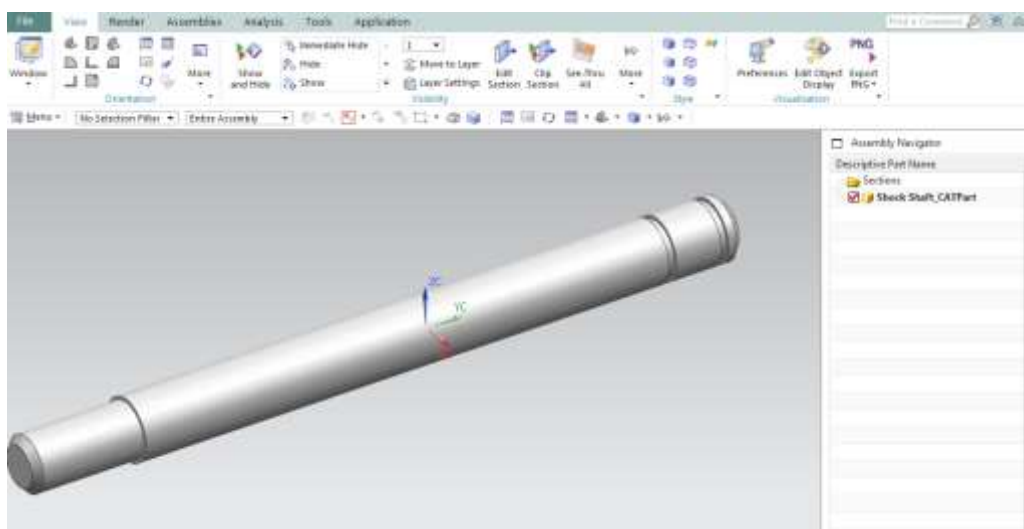


Рисунок 2.5 - Электронная модель штока

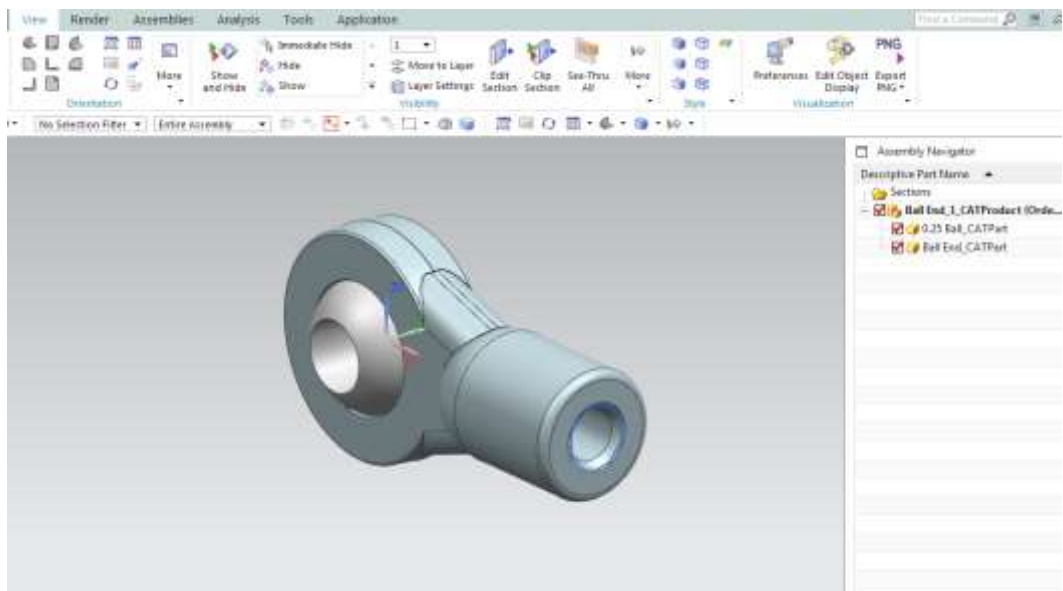


Рисунок 2.6 - Электронная модель наконечника

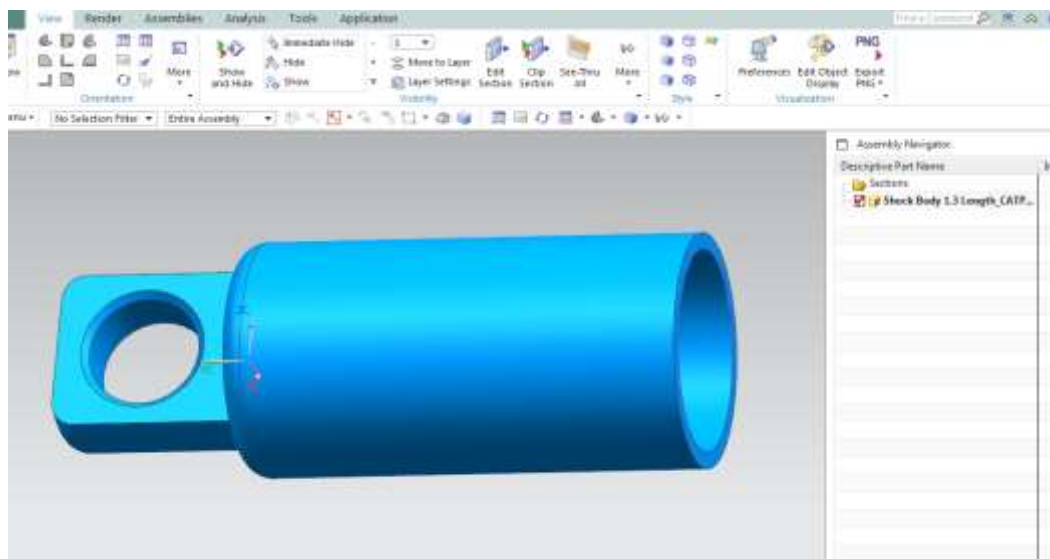


Рисунок 2.7 - Электронная модель цилиндра

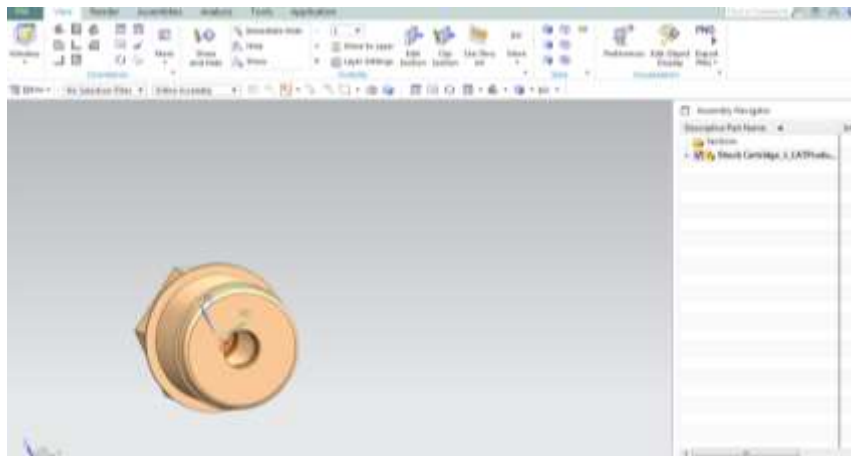


Рисунок 2.8 - Электронная модель крышки цилиндра

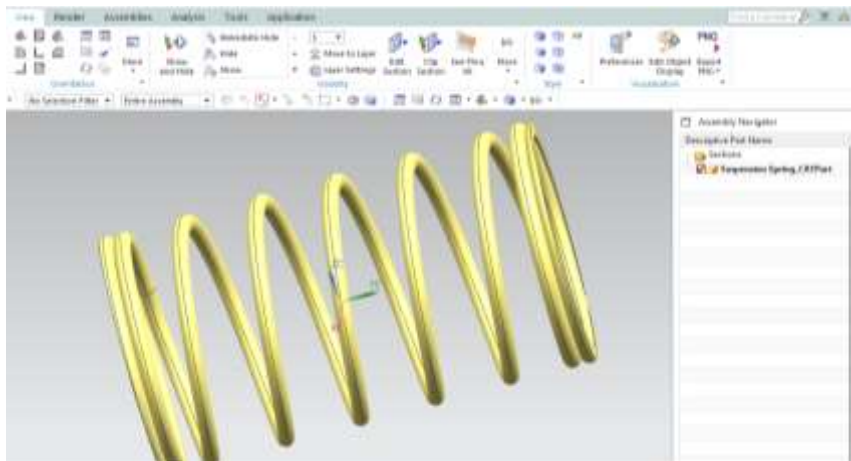


Рисунок 2.9 - Электронная модель пружины

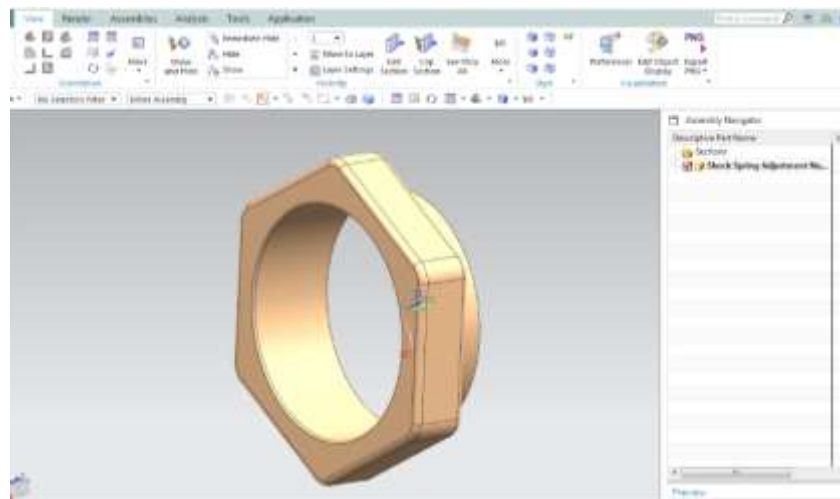


Рисунок 2.10 - Электронная модель затягивающей пружины

На следующем этапе была выполнена сборка электронных моделей деталей в виде локального сборочного узла. Сборка выполнялась в приложении «Сборка» системы NX (рисунок 2.10).

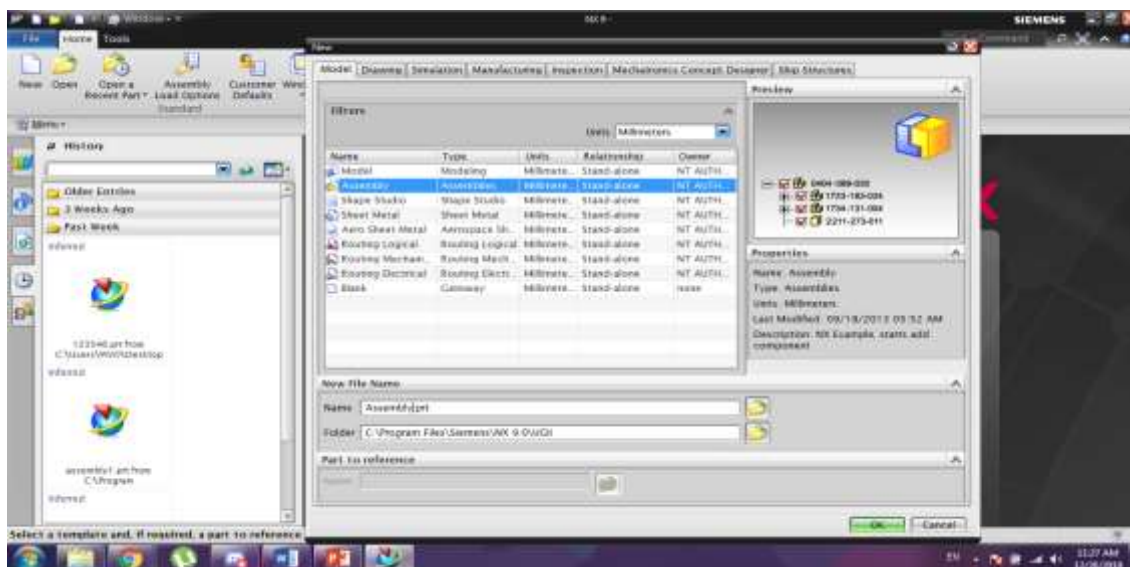


Рисунок 2.10 - Создание файла сборки

В итоге был получен единый сборочный узел (рисунок 2.11) со всеми деталями, которые были выставлены на свои позиции с учетом введенных ограничений.

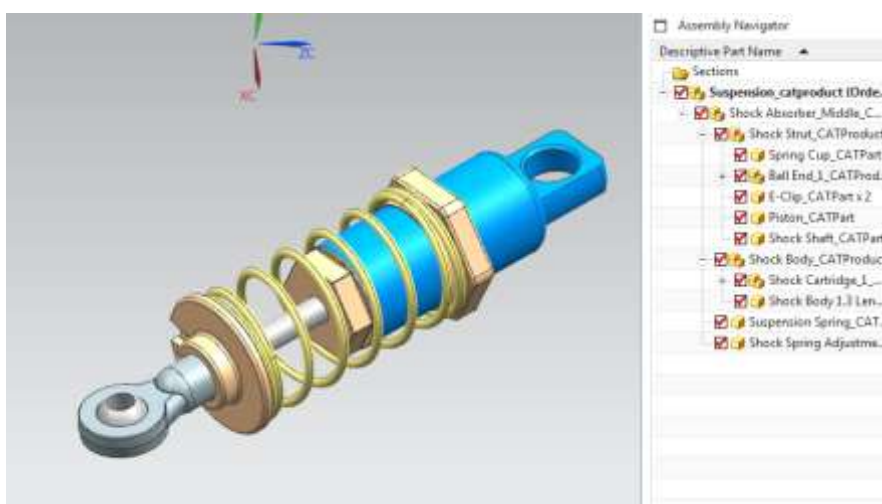


Рисунок 2.11 – Электронная модель сборки амортизатора

2.2 Моделирование последовательности сборки

Виртуальное моделирование позволяет выполнять построение различных тематических пространств [5]. В среде виртуального моделирования специалист может определить, в какой последовательности собираются или разбираются компоненты сборки, учесть необходимые зазоры, а также записать анимацию процесса. Такой подход является наиболее эффективным при работе с плотной компоновкой сборки в случае жестких требований к зазорам между компонентами сборки.

Автоматический расчет траекторий вставки или изъятия компонентов сборки может являться основой создания интерактивных руководств для монтажа и сборки изделия.

Приступая к работе в системе САПР определяется состав сборки и её предварительная последовательность в MS Excel (рисунок 2.12) для формализации сборочного процесса и учета всех компонентов сборки.

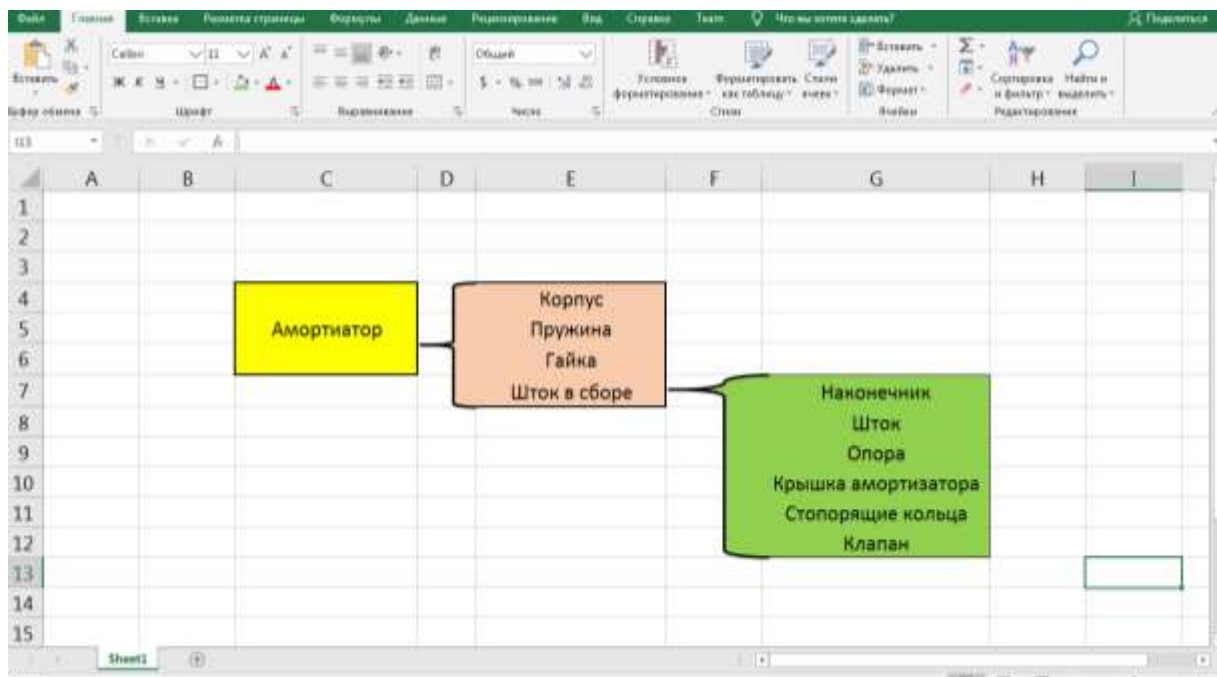


Рисунок 2.12 – Состав и предварительная последовательности сборки

Рассмотрим алгоритм работы при выполнении расчета последовательности процесса сборки:

1. Заходим в Siemens NX и загружаем сборку, далее необходимо убедиться в активности модуля сборки, для этого нажимаем «File» и отмечаем наличие галочки напротив слова «Assemblies».

2. Возвращаясь к открытой сборке в Siemens NX, приступим к процессу создания последовательности в компьютерной среде. В открывающейся паллете «Menu» находим пункт «Assemblies» и в нём выбираем «Sequence...» (рисунок 2.13).

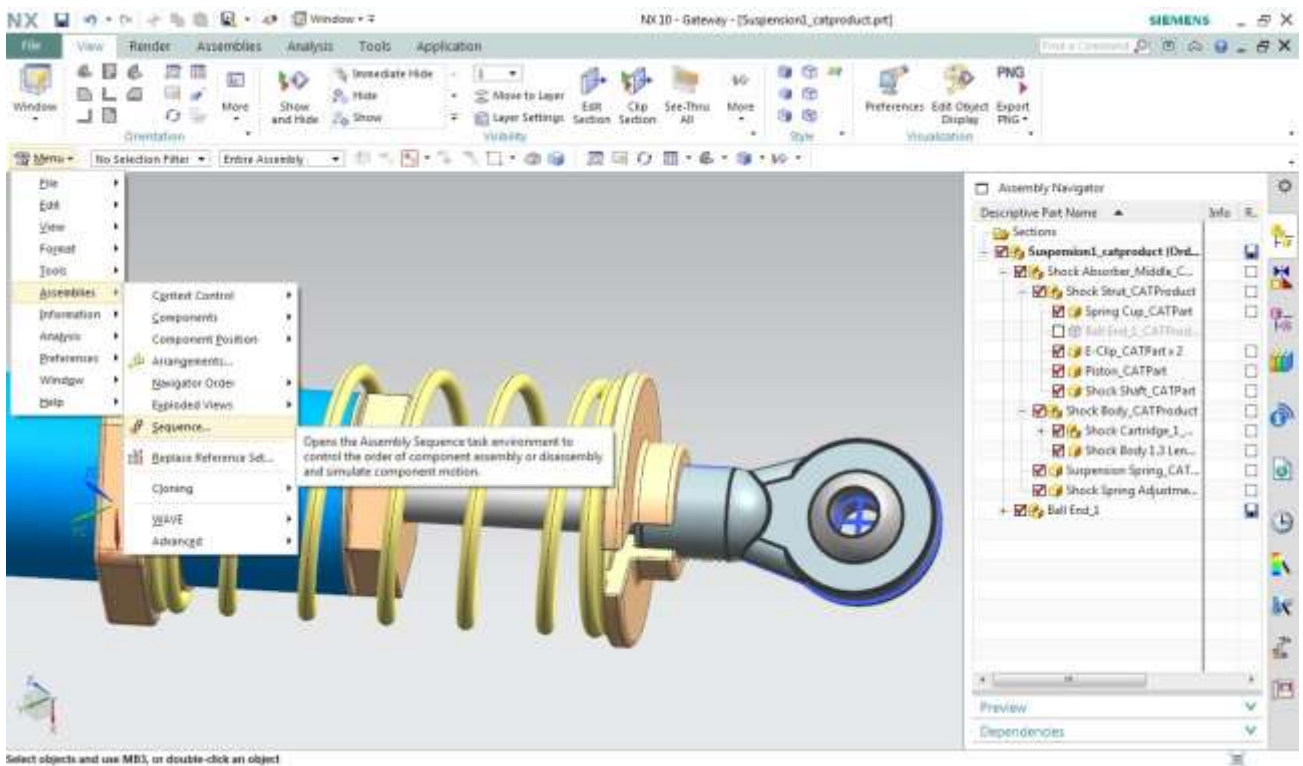


Рисунок 2.13 - Запуск модуля Sequence

В качестве альтернативного пути запуска модуля «Assembly sequence» во вкладке «Assemblies» находим «New sequence» (рисунок 2.14), именно в этом модуле будет выполняться расчет последовательности для процесса сборки.

3. Запускается команда «New», которая находится слева сверху, после чего справа появляется дерево последовательности, именно в нём будут отображаться будущие перемещения деталей.

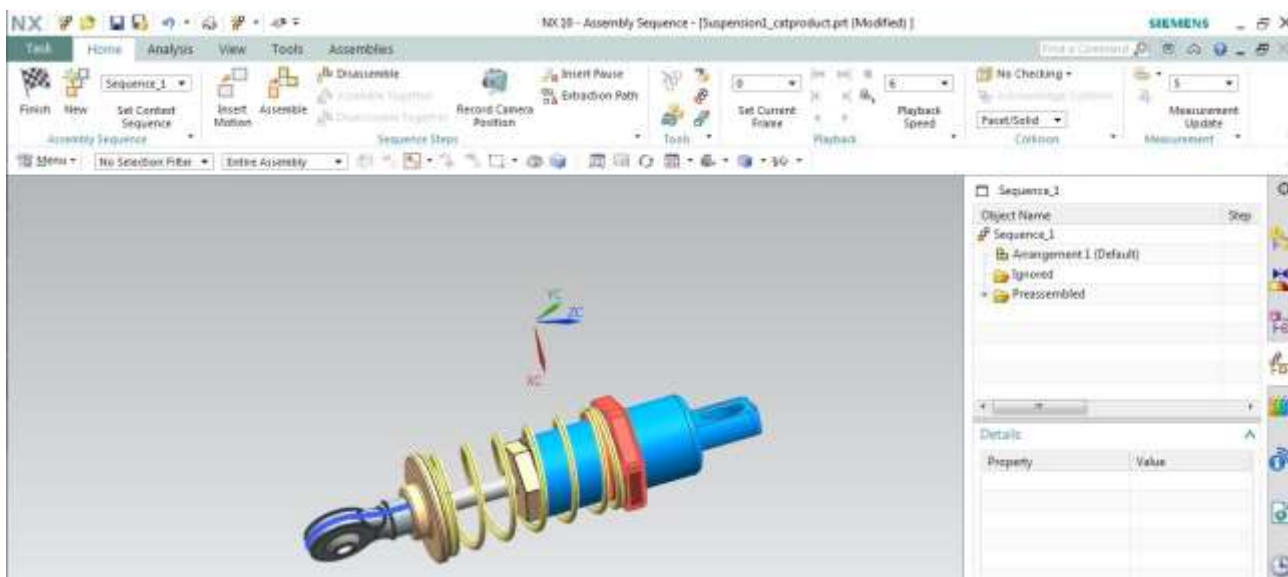


Рисунок 2.15 - Рабочее окно модуля «Assembly sequence»

4. Для создания первой траектория движения необходимо найти на верхней панели команду «Insert motion», после её активации появится новая панель команд «Record component motion» (рисунок 2.16).

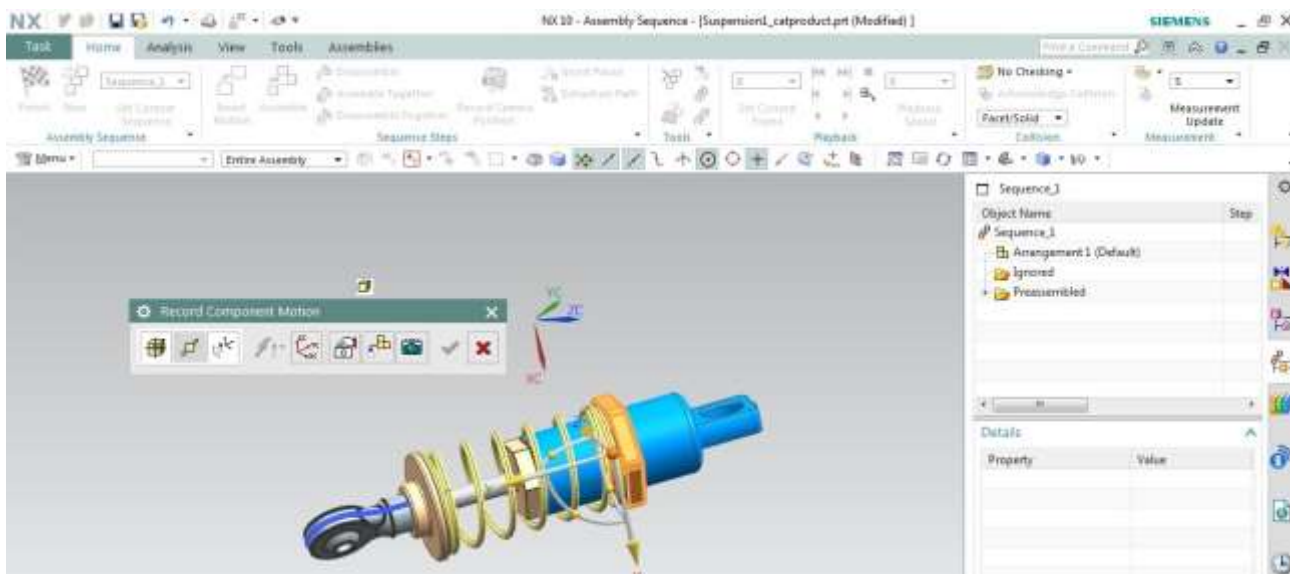


Рисунок 2.16 - Панель команд «Record component motion»

С помощью опции «Select component» можно выбрать деталь для манипуляций, затем прописать траекторию движения, используя команду «Move objects», после чего, нажатием зеленой галочки, завершаем перемещение детали и назначаем для её окончательное место. Таким образом, создается траектория движения для гайки, затягивающей пружину (рисунок 2.17.).

5. Для остальных деталей по такому же алгоритму создаются траектории, и постепенно разбирается весь узел. Положение деталей после разборки показано на рисунке 2.18.

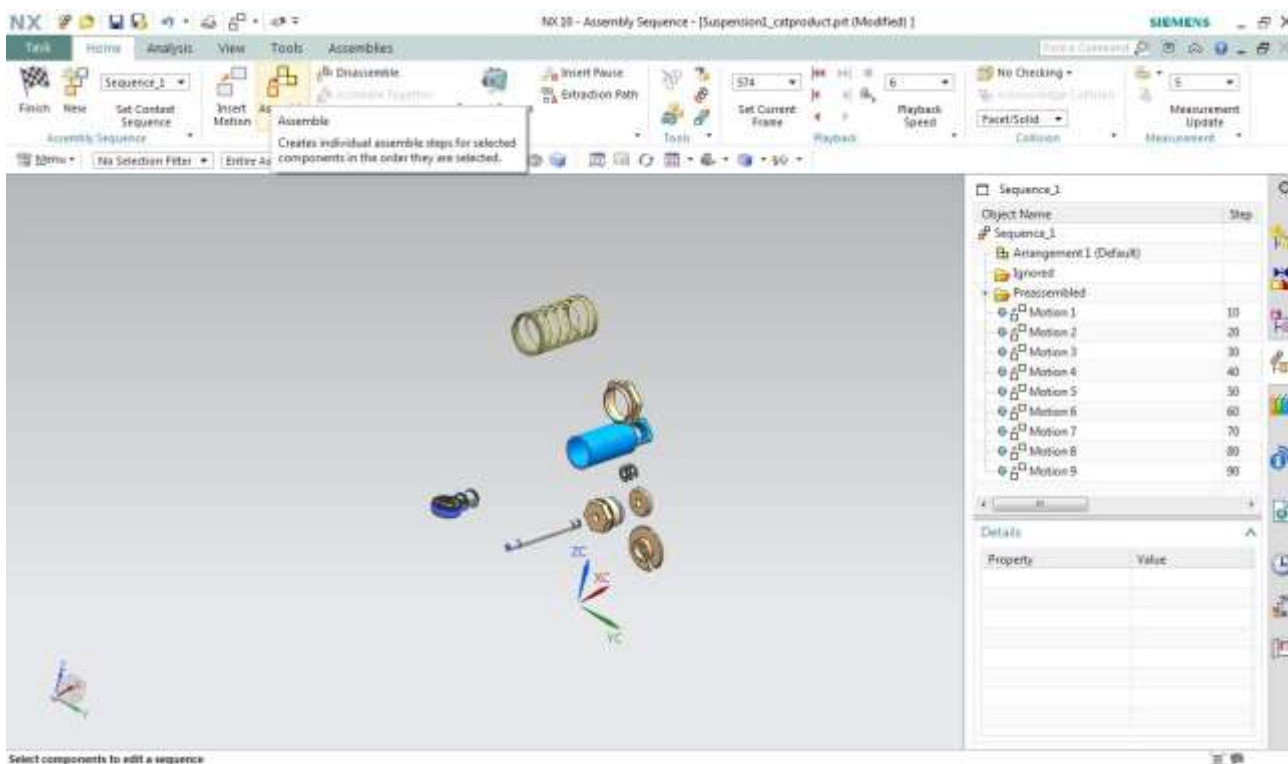


Рисунок 2.19 - Положение деталей после разборки

В боковом меню, в дереве последовательности проведенных манипуляций (рисунок 2.20) представлена «Последовательность_1».

Создание ряда альтернативных последовательностей позволяет выполнить их сравнение для установления наилучшей последовательности сборки в среде виртуального моделирования, что позволяет собрать конструкцию заданного качества при наименьших затратах средств и труда.

Object Name	Step	Count	Start	Duration
Sequence_1				102
Arrangement 1 (...)				
Ignored		0		
Preassembled		20		
Motion 1	10		1	19
Motion 2	20		20	19
Motion 3	30		39	10
Motion 4	40		49	15
Motion 5	50		64	10
Motion 6	60		74	15
Motion 7	70		89	12
Motion 9	80		101	2

Рисунок 2.20 - Дерево последовательности сборки

Последовательность сборки была сформирована в обратном направлении, то есть по сути, была выполнена разборка сборочного узла.

После нажатия на кнопку воспроизведения запускается анимация разборки (рисунок 2.21).

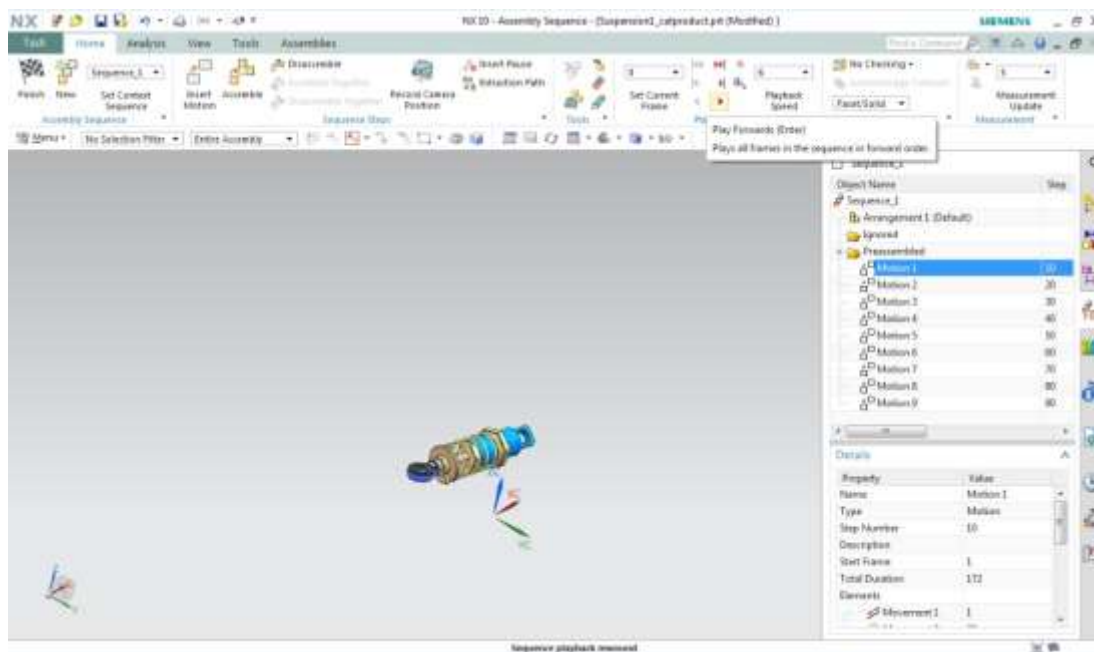


Рисунок 2.21 - Воспроизведение анимации разборки

В функционале NX есть возможность настраивать скорость анимации (рисунок 2.22) в диапазоне от 1 до 10 и отслеживать процесс разборки по дереву последовательности (рисунок 2.23). Действия, которые прошли, отмечены голубыми стрелками, а действие, выполняемое в данный момент, отмечается прозрачной стрелкой. Стоит отметить, что действия можно переименовывать для их удобного распознавания. Для того выбираем действие в поле «Details», находим строчку «Name» и исправляем стандартное имя на необходимое.



Рисунок 2.22 – Настройка скорости воспроизведения анимации

Object Name	Step	Count	Start	Duration
Sequence_1				102
Arrangement 1 (Default)				
Ignored		0		
Preassembled		20		
Motion 1	10		1	19
Motion 2	20		20	19
Motion 3	30		39	10
Стопорные кольца	40		49	15
Motion 5	50		64	10
Motion 6	60		74	15
Motion 7	70		89	12
Motion 9	80		101	2

Property	Value
Name	Стопорные кольца
Type	Motion
Step Number	40
Description	
Start Frame	49
Total Duration	15

Рисунок 2.23 – Дерево в процессе воспроизведения последовательности

Настройка процесса в обратном направлении позволяет воспроизвести процесс сборки (рисунок 2.24).

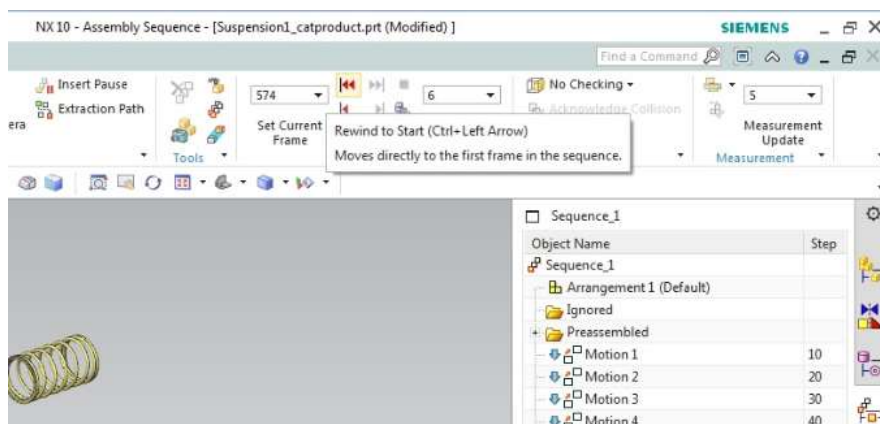


Рисунок 2.24 – Воспроизведение сборки

Для анализа альтернативного процесса сборки можно рассмотреть другую последовательность сборочного процесса. Рассмотрим, например, изображенную ниже последовательность (рисунок 2.25).

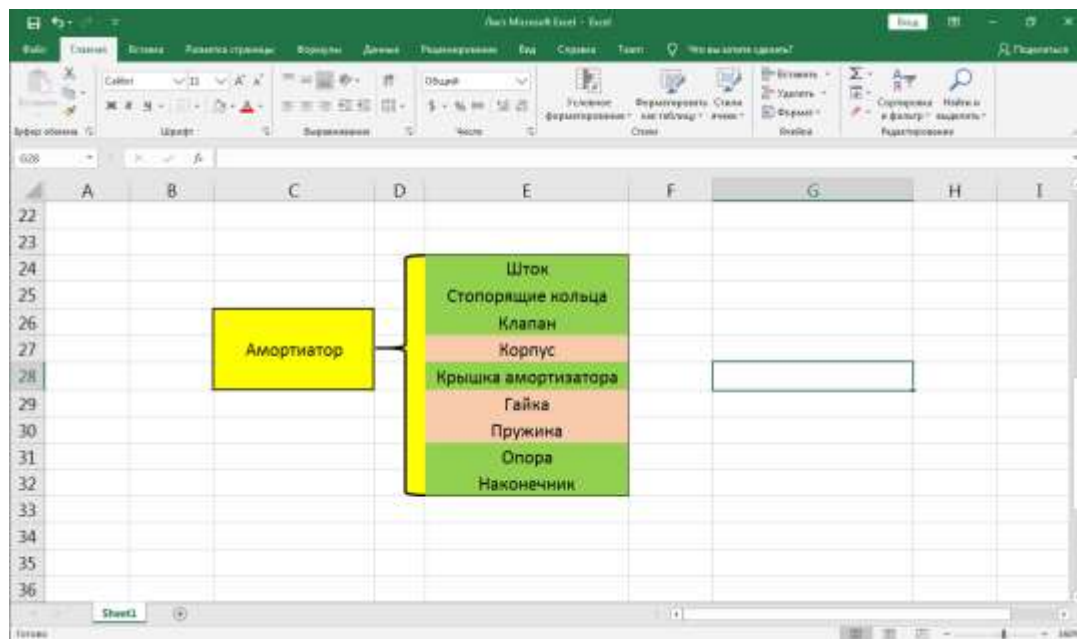


Рисунок 2.25 – Альтернативная последовательность сборки

Эта последовательность отличается от предыдущей отсутствием

подбора штока амортизатора. Данную последовательность можно протестировать в Siemens NX. Для этого вернёмся к пункту 3 нашего алгоритма и создадим новую последовательность с именем «Последовательность_2». После симуляции новой последовательности можно оценить показатели в дереве новой последовательности (рисунок 2.26).

Object Name	Step	Count	Start	Duration
Sequence_2				112
Arrangement 1 (...)				
Ignored		0		
Preamsembled		20		
Наконечник	10		1	12
Опора пружи...	20		13	11
Пружина	30		24	30
Регулирующ...	40		54	13
Крышка корп...	50		67	10
Корпус	60		77	10
Стопорные к...	70		87	12
Клапан	80		99	14

Рисунок 2.26 – Дерево альтернативной последовательности

В дереве можно найти столбец «Duration», в нём отображается время каждого движения детали и всего процесса в целом. Эту характеристику можно взять для сравнения нескольких последовательностей.

При анализе сборки необходимо также учитывать, что процесс будет выполнять один оператор, то есть необходимо учитывать перехваты детали в руках, любое действие будет к затратам времени.

Анализируя две рассматриваемые последовательности (рисунок 2.19 - 2.27), можно заметить, что в первой последовательности детали находятся в одной стороне относительно координаты «X» в отличии от второго варианта последовательности. Из этого можно сделать вывод, что при первом варианте время, затрачиваемое на перехват детали будет стремиться к нулю. Разница по

времени выполнения сборки составила 10 секунд. Из этого следует, что второй вариант сборки более продолжительный.

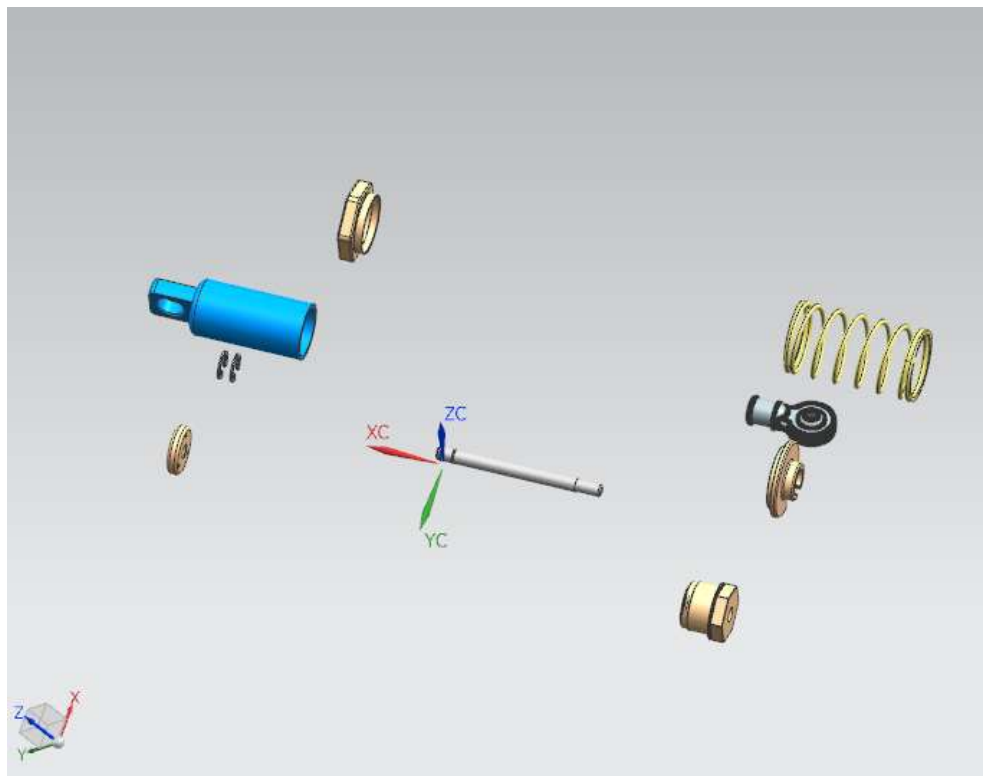


Рисунок 2.27 – Альтернативная последовательность сборки/разборки

Таким образом, на основе электронной модели конструкции в среде виртуального моделирования были разработаны две последовательности сборки, выполнен их анализ, на основе которого выбрана оптимальная последовательность сборки-разборки модели.

Анализ собираемости позволил разработать пошаговую последовательность сборки, которая соответствует реальным действиям.

Оценка собираемости позволила установить техническую возможность разборки конструкции при ремонте узла. Определен оптимальный вариант последовательности сборки на основе ее возможных вариантов. Визуализация процесса сборки с проверками позволила перевести процесс моделирования на

более качественный уровень осуществления работ.

На следующем этапе моделирования процесса сборки выполняется проверка на столкновения при сборке с целью выявления отсутствия пересечений траекторий перемещения деталей и инструмента.

Анализ проводится на основе смоделированного сборочного узла и сформированной последовательности процесса сборки. От результатов этого анализа зависит возможность собираемости конструкции.

Анализ проверки столкновений выполняется по следующему алгоритму:

1. Открывается файл сборки. Во вкладке «Assemblies» находим поле «Collision» и выпадающую паллету «No checking». Нажав на неё, видим список, состоящий из трех позиций:

- No checking (не будет проверять/опознавать столкновения, детали будут проходить сквозь друг друга);
- Highlight collision (при распознавании пересечения геометрии деталей, области, участвующие в пересечении, будут окрашены в красный цвет);
- Stop before clash (программа анализирует траекторию и геометрию деталей и до момента столкновения останавливает процесс сборки, а также подсвечивает области которые пересекаются с окружением).

2. Выбираем «Highlight collision», так как будем контролировать процесс вручную. При появлении красного цвета будем останавливать процесс с помощью команды «Stop» (рисунок 2.27) и анализировать ситуацию.

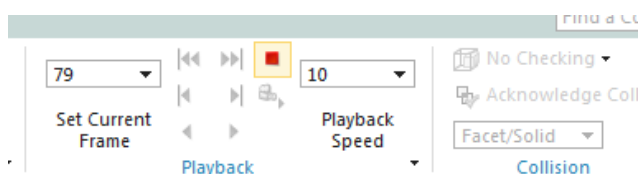


Рисунок 2.27 – Команда «Stop»

Красным цветом подсветились детали, которые имеют плотное прилегание друг с другом. В нашем случае это поршень с корпусом цилиндра (рисунок 2.28).

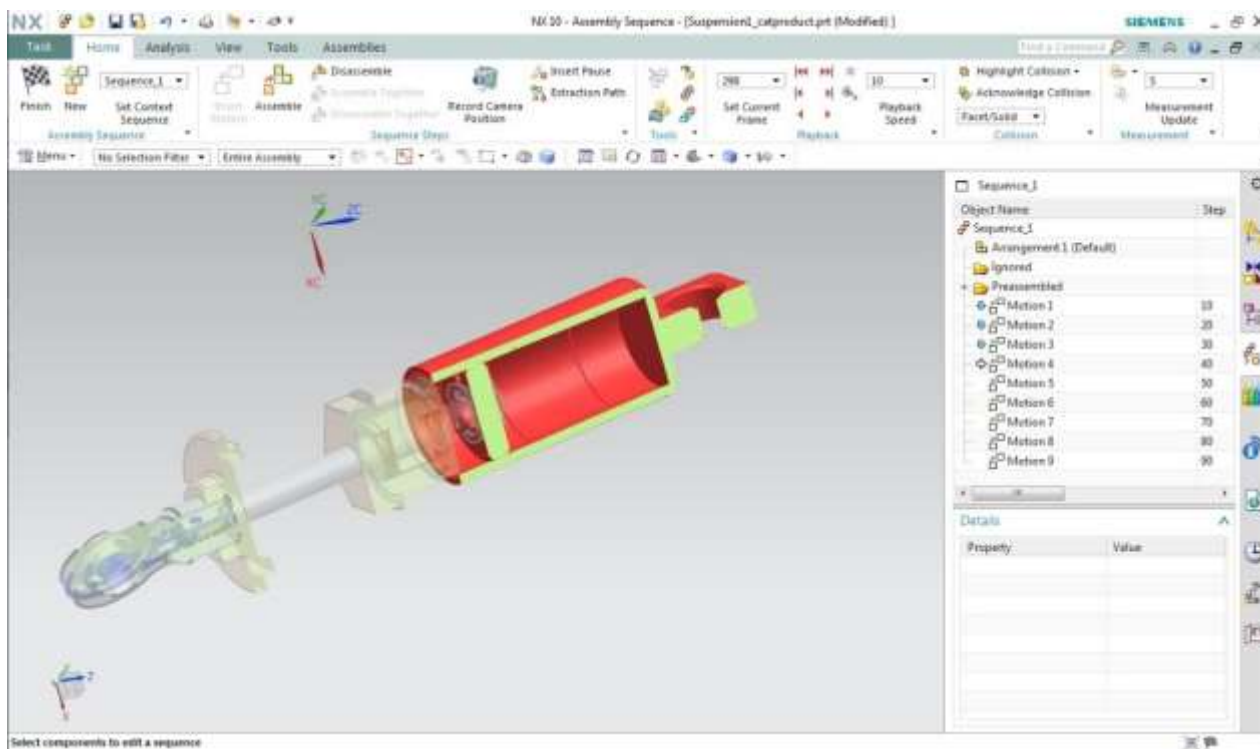


Рисунок 2.28- Информирование о существующем пересечении деталей

Если данное пересечение не является отклонением, как в данном случае, то можно задать программе установку игнорировать данный момент, с помощью команды «Acknowledge collision» (рисунок 2.29).

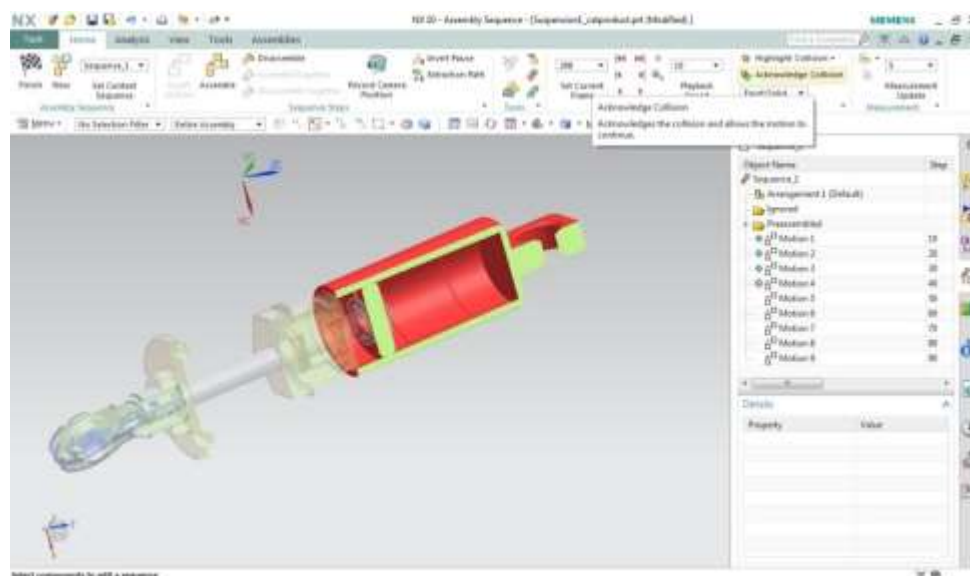


Рисунок 2.29 - Команда «Acknowledge collision»

Таким образом, проверка на столкновения при сборке показала отсутствие пересечения траекторий перемещения деталей.

Анализ собираемости позволил разработать пошаговую последовательность сборки, которая соответствует реальным действиям.

Оценка собираемости позволила установить техническую возможность разборки конструкции при ремонте узла. Определен оптимальный вариант последовательности сборки на основе ее возможных вариантов. Визуализация процесса сборки с проверками позволила перевести процесс моделирования на более качественный уровень осуществления работ.

2.3 Разработка интерактивного руководства для сборки конструкции

Расчёт и анализ траекторий вставки или изъятия компонентов сборки являются основой создания интерактивных руководств для монтажа и сборки изделия. На базе созданной последовательности выполняется ее экспорт в формат видео с целью ознакомления рабочего персонала с

последовательностью сборки. Для этого переходим во вкладку «Tools», находим команду «Record» и выбираем месторасположение будущего видео-ролика. Во вкладке «Home» запускаем последовательность, по её окончании возвращаемся во вкладку «Tools» и заканчиваем запись командой «Stop recording» (рисунок 2.30).

Таким образом, был создан видеоролик (рисунок 2.31), который может выступать в качестве наглядного пособия по сборочным работам.

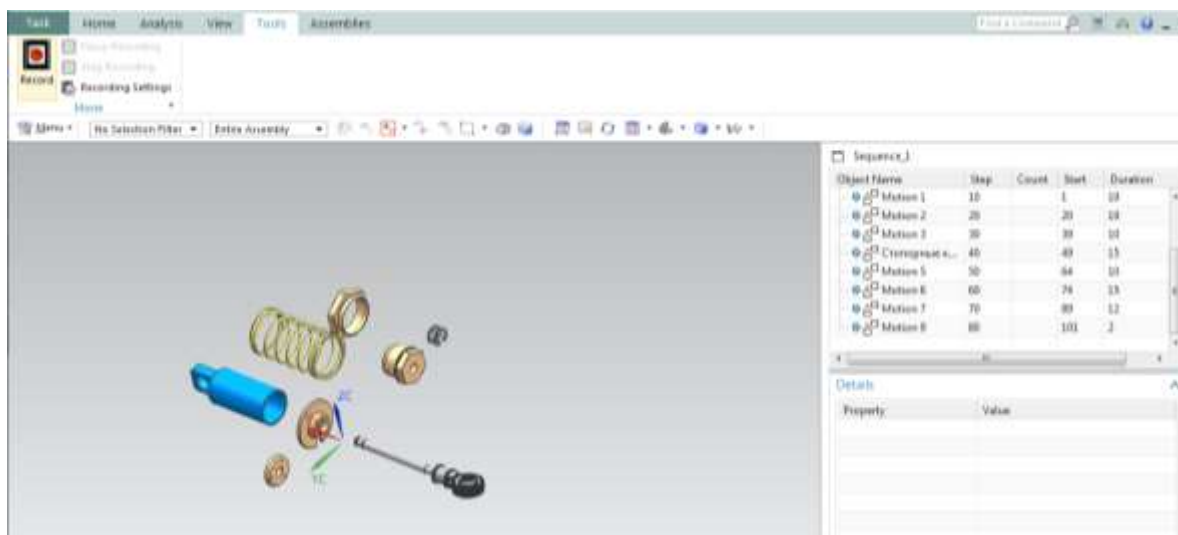


Рисунок 2.30 – Команда записи видеоролика

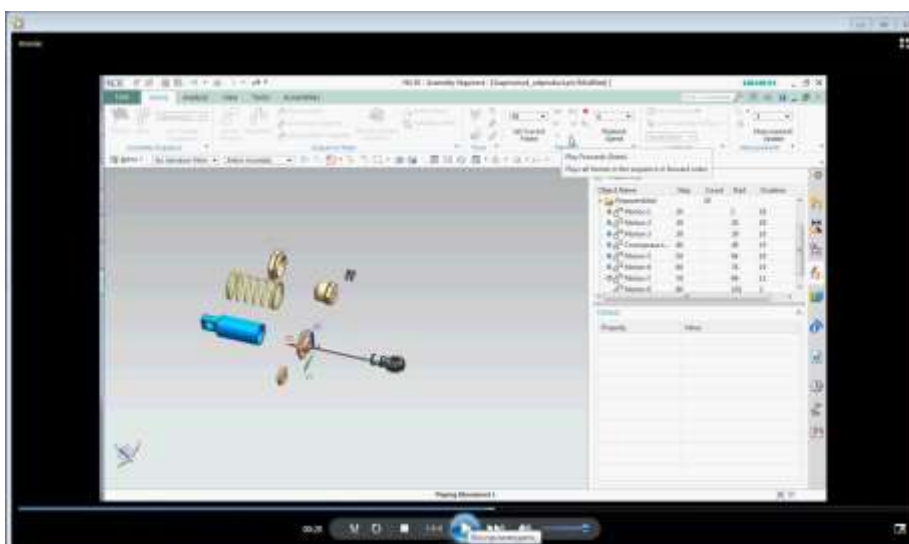


Рисунок 2.31 – Полученный видеоролик сборки

3 Разработка симуляции в Siemens Mechatronics Jack

3.1 Подготовка к работе в Siemens Mechatronics Jack

Оценка условий выполнения сборки с учетом затрачиваемого времени осуществляется в среде виртуального моделирования. В качестве системы, позволяющей провести моделирование процесса сборки с использованием цифровой копии работника, была выбрана программа Siemens Mechatronics Jack.

Функционал Siemens Mechatronics Jack позволяет использовать ранее созданные электронные модели сборки амортизатора. Для этого ранее созданные модели были экспортированы в формат IGES. Чтобы сохранить детали в новом формате, потребовалось открыть в отдельном окне каждую деталь и экспортировать ее с помощью команд: File – Export – IGES (рисунок 3.1).

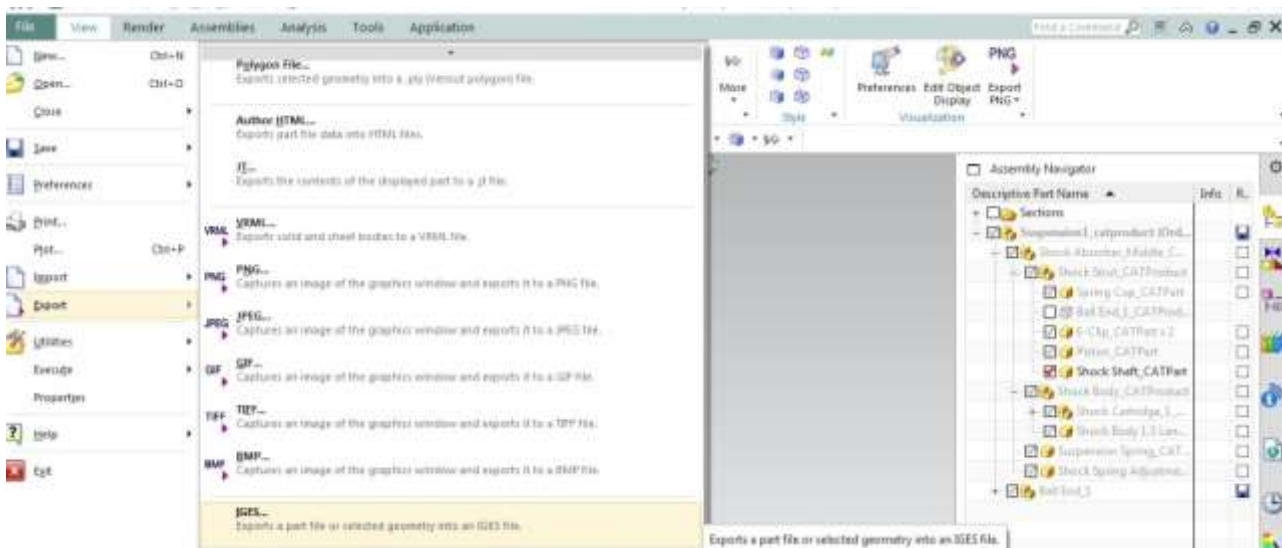


Рисунок 3.1 - Процесс экспорта деталей

Выполняется запуск Mechatronix Jack. После активации программы открывается ее рабочее окно (рисунок 3.2). Необходимо отметить, что при запуске программы Jack главное меню и окно рабочего пространства всегда открываются обособленно друг от друга. При этом если закрыть одно из этих окон, то закроется вся программа.

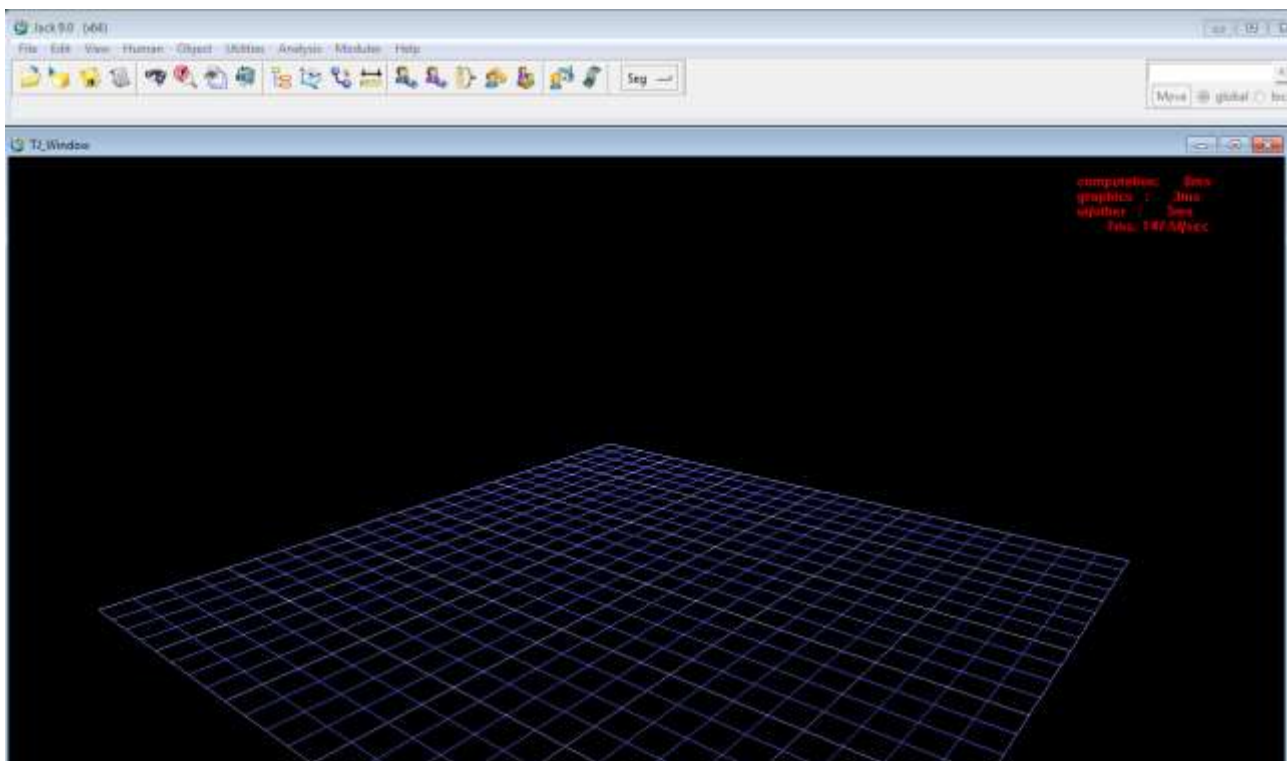


Рисунок 3.2 - Окно главного меню и рабочего пространства

Процесс подготовки к работе в среде моделирования Siemens Mechatronics Jack можно представить в виде нескольких этапов.

На первом этапе выполняется загрузка всех объектов процесса. Импорт моделей возможен, как из сторонних программных продуктов, так и из библиотеки стандартных и типовых производственных объектов.

Выполняется загрузка модели стола из библиотеки CAD-модели по команде: Object – Create – Figure from Library (рисунок 3.3). Открывается окно

загрузки файлов из стандартной библиотеки (рисунок 3.4), где выбирается необходимый для расчета стол.

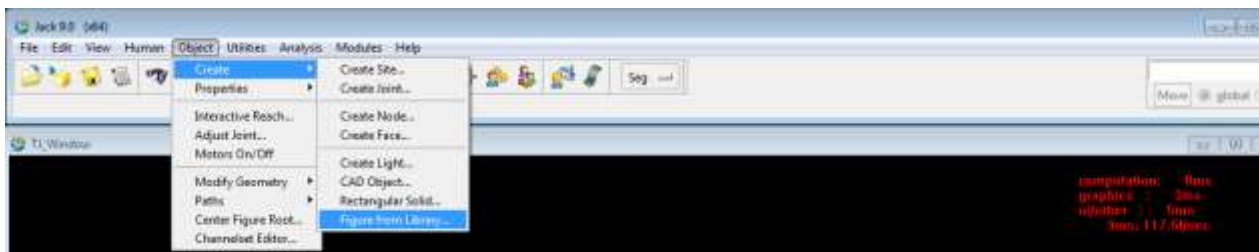


Рисунок 3.3 - Вызов библиотеки CAD-объектов

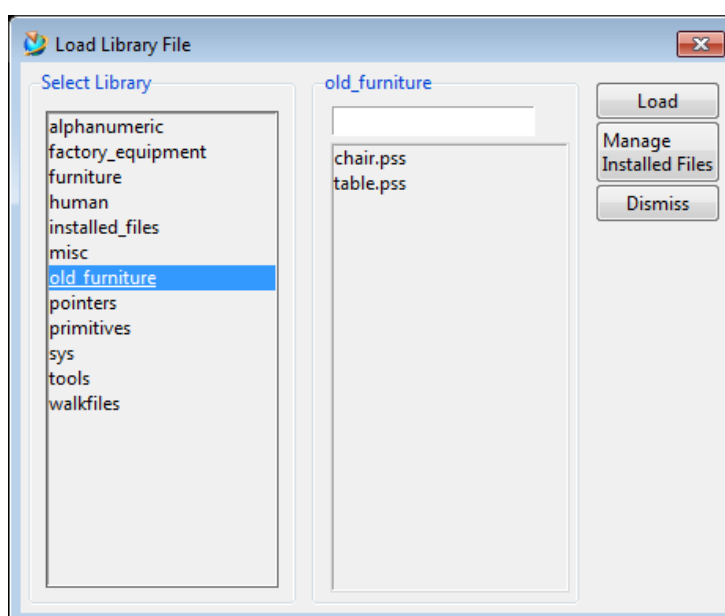


Рисунок 3.4 - Окно выбора CAD-объектов из стандартной библиотеки

На третьем этапе работы в файл задачи загружается стандартная электронная модель манекена работника с использованием следующих команд: «Human – Create – Default male/female». Манекен редактируется: для этого необходимо использовать контекстное меню, в котором требуется выбрать из выпадающего списка команду «Scale». В окне антропометрического редактирования (рисунок 3.5) можно выбрать необходимый рост и вес цифровой модели манекена. Данные подтверждаются командой «Apply».

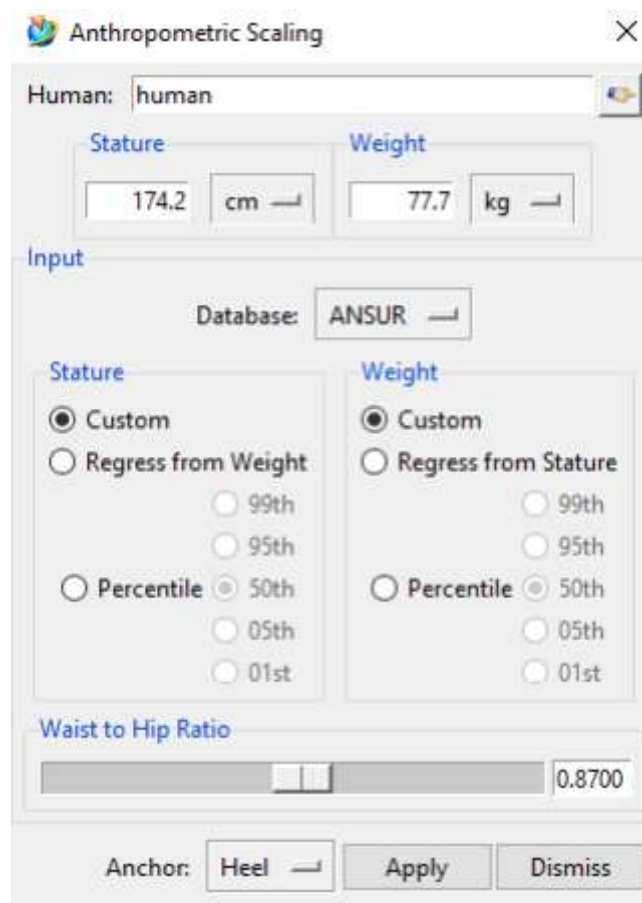


Рисунок 3.5 - Окно диалога для антропометрического редактирования цифрового манекена

На четвертом этапе на рабочее поле загружаются ранее созданные детали сборки. Обращаемся в главное меню «File» и выбираем команду «Import...», далее находим рабочую папку, содержащую файлы формата «iges», указываем необходимые файлы и добавляем их в задачу. Далее открывается окно настроек импортируемого объекта (рисунок 3.6), в котором настраивается тип импортируемого файла.

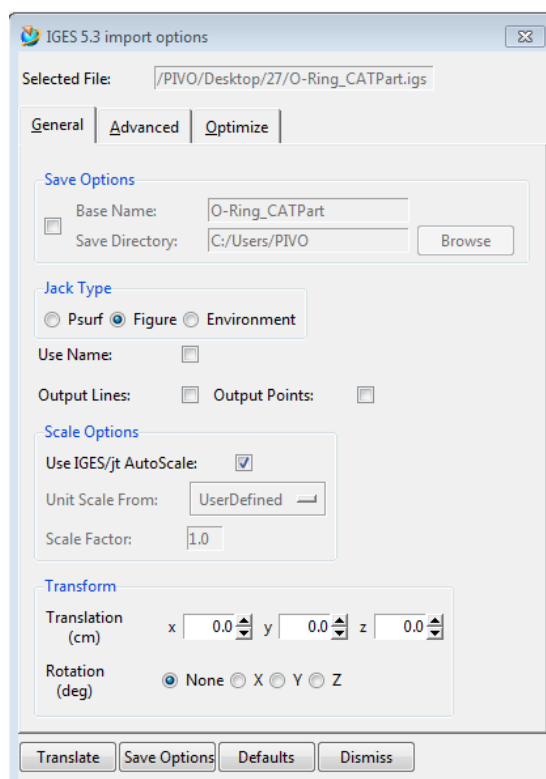


Рисунок 3.6 – Окно настройки импортируемого файла в Jack

При импорте моделей в приложение Jack по умолчанию выполняется автоматическое масштабирование. Для редактирования пользовательских настроек необходимо снять метку перед пунктом «Auto Scale» и ввести собственное значение коэффициента масштабирования в поле «Scale Factor». В зоне Transform можно повернуть импортируемый объект по трём осям: X, Y и Z. Так же можно сменить базовое имя импортируемого файла и его конечное расположение, поставив метку в зоне «Save Options». После завершения выставления всех настроек нажимается кнопка «Translate».

После завершения загрузки всех необходимых моделей расчета выполняется процедура их позиционирования. По умолчанию все необходимые модели были добавлены в нулевую точку рабочего поля.

Приступая к выбору положений объектов в задаче необходимо обратиться к рассмотрению опций, предназначенных для управления видами:

- Ctrl + ЛКМ – перемещение точки обзора вокруг оси Y;
- Ctrl + ПКМ + перемещение мыши – приближение или отдаление точки обзора;
- Ctrl + СКМ – изменение положения камеры;
- Ctrl + Shift+ ЛКМ – изменение угла обзора камера, относительно которого выполняется управление видом.

Разобравшись с управлением камеры, можно приступать к выставлению наших объектов, системы координат которых находятся в одной точке. Для того чтобы переместить какой-либо предмет в рабочем пространстве, необходимо найти справа в главном окне иконку с рукой (рисунок 3.7).

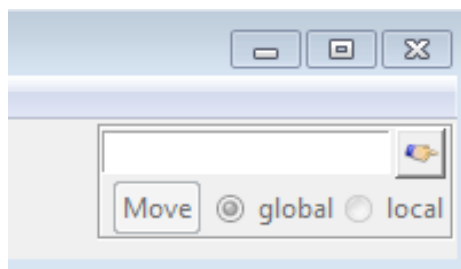


Рисунок 3.7 - Главное окно программы Jask

При нажатии на эту опцию необходимо выделить объект, который требуется переместить. После активации можно перемещать объект по трём координатам X, Y и Z. Перемещать объекты также можно при помощи кнопок мыши:

- при зажатии ЛКМ перемещение происходит по оси X;
- при зажатии СКМ перемещение происходит по оси Z;
- при зажатии ПКМ перемещение происходит по оси Y.

Для точного позиционирования объектов служат инструменты панели, показанной на рисунке 3.8.

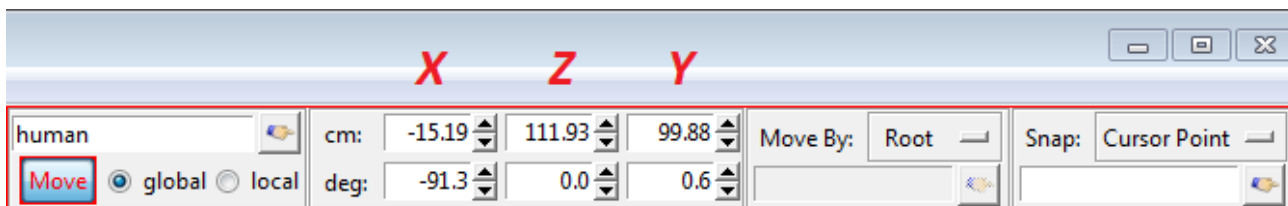


Рисунок 3.8 - Панель управления объектами в пространстве

После выполнения позиционирования объектов было получено виртуальное рабочее место, показанное на рисунке (рисунок 3.9). Такое рабочее место при необходимости может быть дополнено другими объектами: стеллажами, конвейерами, пультами управления, различным ручным инструментом.

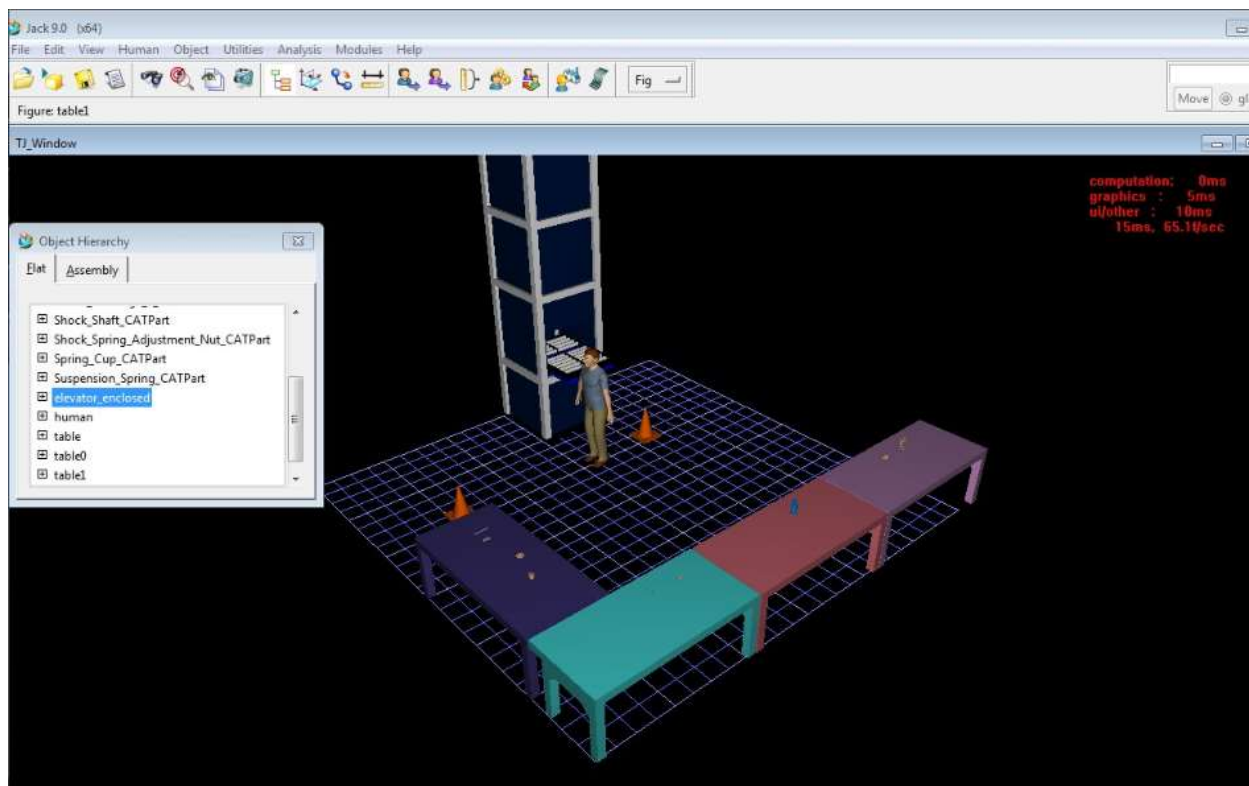


Рисунок 3.9 - Виртуальное рабочее место

Модели, загруженные в файл, структурированы в навигаторе дерева объектов (рисунок 3.10). Такая упорядоченная структура позволяет обеспечить быстрый доступ к объектам.

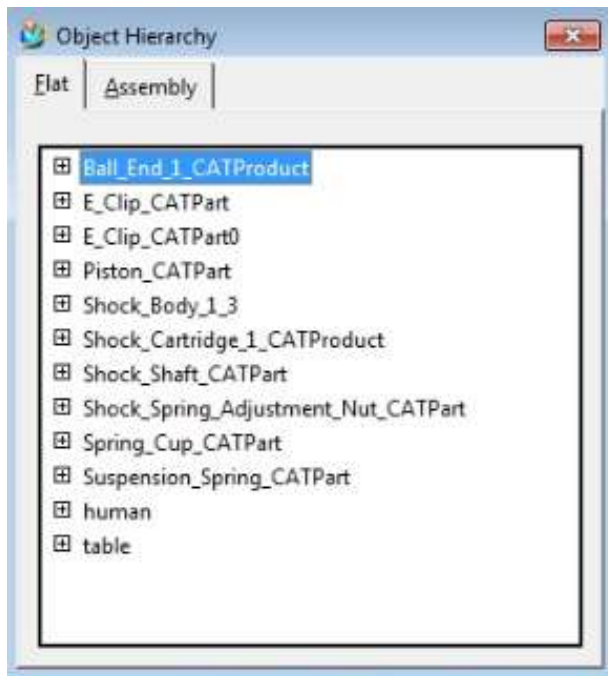


Рисунок 3.10 – Навигатор дерева объектов

3.2 Разработка симуляции процесса сборки

Функционал приложения Jack позволяет формировать траектории перемещения цифрового манекена, задавать ему необходимое для этого время.

Для наглядности построим путь, по которому манекен будет подходить к рабочему столу. Для этого в главном меню находим команду «Object», выбираем из раскрывающегося списка строку «Path» и активируем команду «Create Path...» (рисунок 3.11).

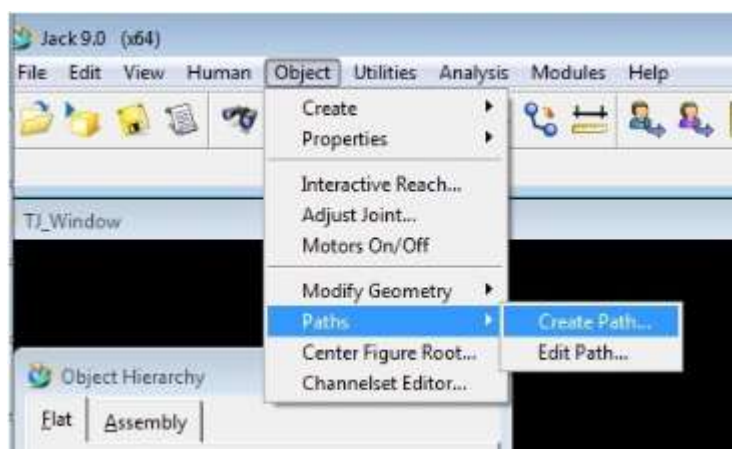


Рисунок 3.11 – Команда создания траектории движения манекена

После запуска меню построения пути (рисунок 3.12) необходимо расставить точки, через которые манекен должен будет пройти. В поле «Path point» отображается номер точки, которая сейчас настраивается. После её выставления для создания новой точки необходимо нажать кнопку «Add After». Если необходимо изменить уже существующую точку, то в поле «Path point» нажимаем кнопку с изображением руки и в рабочем поле выбираем нужную точку. Выбрав команду «Modify» настраиваем положение точки.

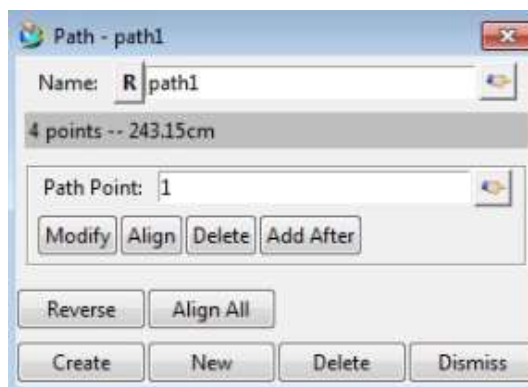


Рисунок 3.12 - Окно создания точек траектории

После выставления всех точек нажимаем «Create» и траектория будет готова (рисунок 3.14). Программа сама выстроит траекторию через построенные точки.

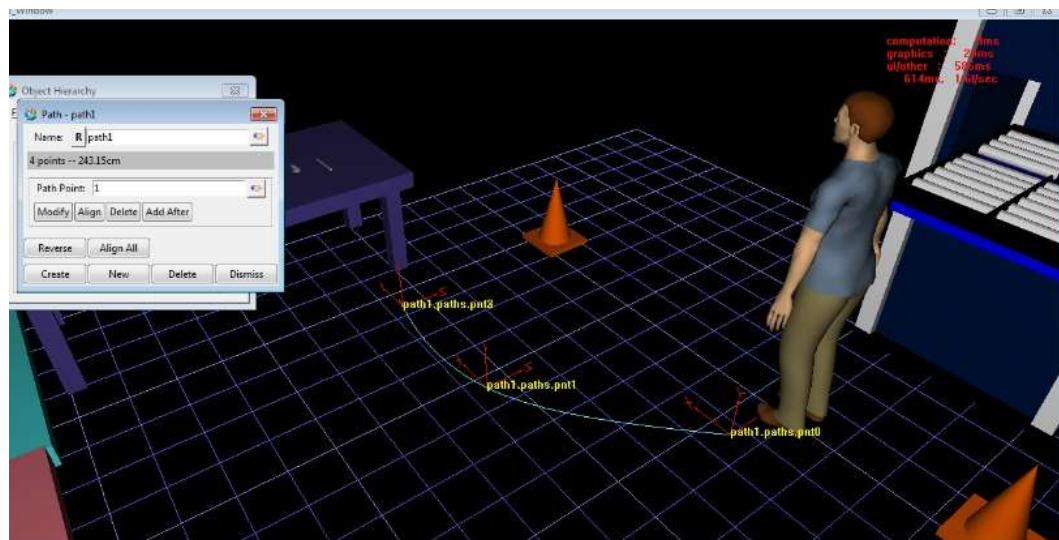


Рисунок 3.14 –Траектория перемещения манекена к рабочему месту

Перейдём к анимации перемещения манекена. Для этого в главном меню выбираем паллету «Module» и указываем «Animation system» (рисунок 3.15).

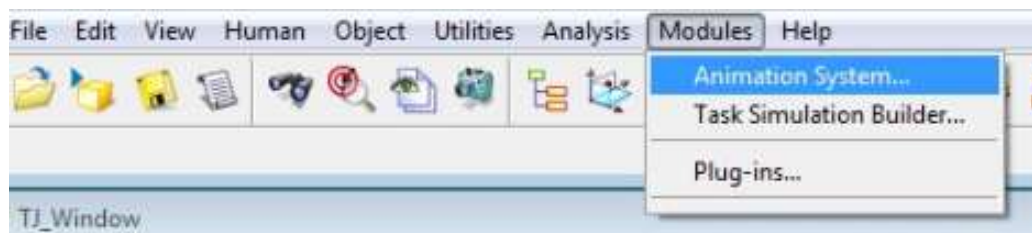


Рисунок 3.15 – Запуск модуля анимации

После появляется главное окно модуля анимации, для визуализации перемещения манекена: находим «Human» и в выпадающем списке активируем команду «Path Walk...» (рисунок 3.16).

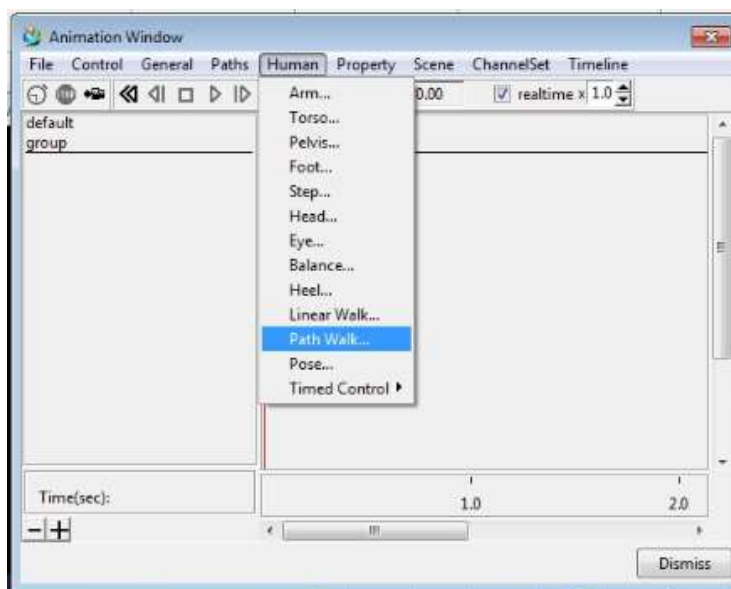


Рисунок 3.16 – Процесс создания анимации перемещения манекена

Открывается окно создания анимации перемещения по траектории (рисунок 3.17). В строке «start» можно задать момент времени, когда будет начинать движение манекен. В строке «duration» есть возможность указать длительность перемещения по всему пути.

Для выбора манекена необходимо активировать опцию с изображением руки в строке «human». Далее таким же способом выбираем траекторию, по которой будет выполняться анимация перемещения. В отдельном окне выбираем маркером, будет ли манекен задействовать руки в процессе перемещения:

- «No arms» – при перемещении руки у манекена не будут задействованы;
- «Swing arms» – манекен при перемещении будет выполнять естественные махи руками.

Завершаем создание анимации командой «Create».



Рисунок 3.17 – Окно создания анимации перемещения

Для завершения создания анимации в главном окне модуля анимации, активируем команду «Generate» (рисунок 3.18) при этом будет создана первая анимация.

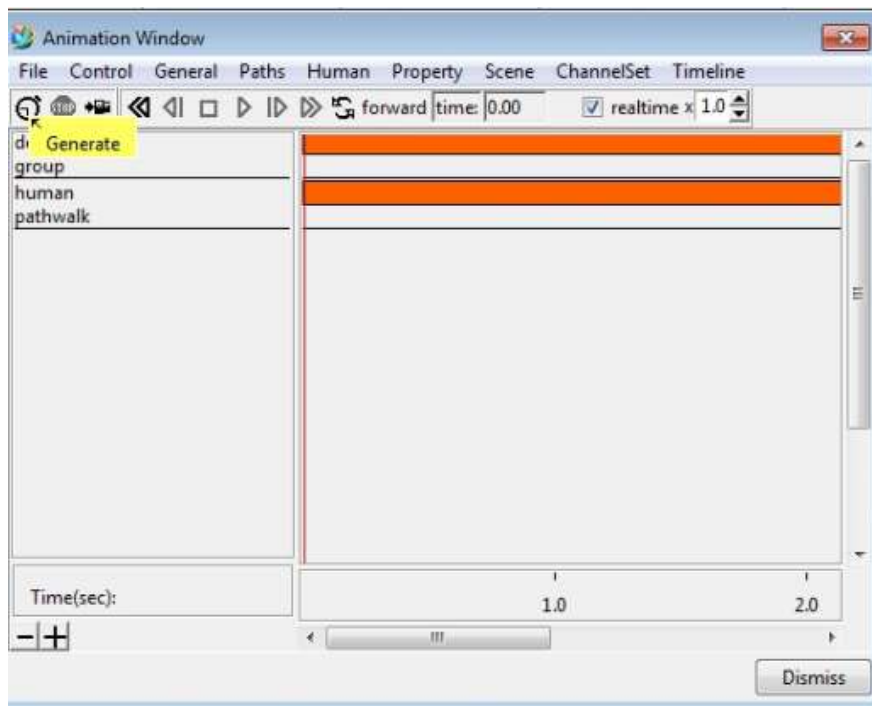


Рисунок 3.18 – Создание анимации

Для просмотра полученной анимации находим команду «play» и просматриваем результат (рисунок 3.19).

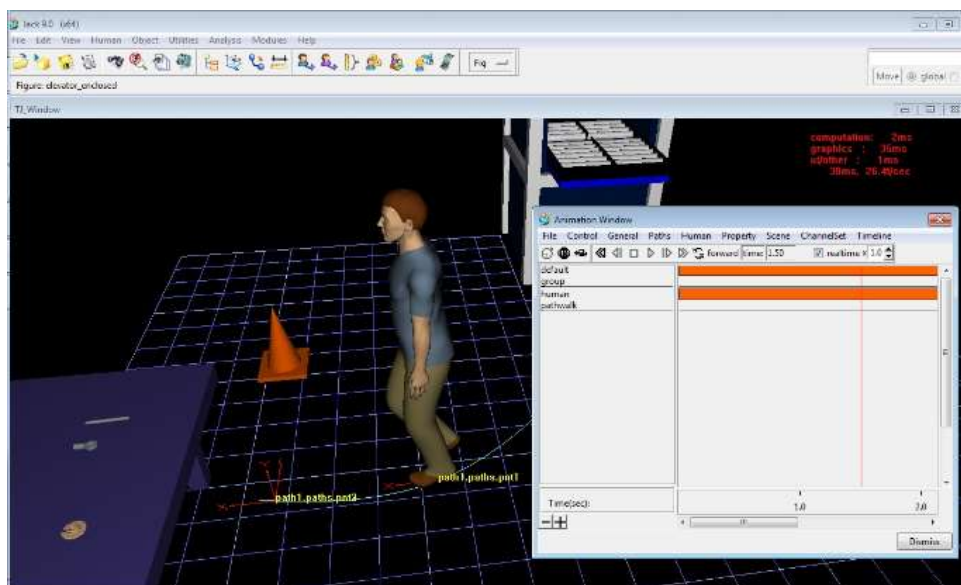


Рисунок 3.19 – Полученная анимация перемещения

По плану выполняемых работ манекен подошёл к рабочему месту. Далее смоделируем его действия при сборочных работах. Для моделирования этого процесса, необходимо перейти в конструктор задач «Task simulation builder». Данный конструктор позволяет создавать симуляции в приложении Jack. Для перехода в рабочее окно «Task simulation builder» в строке главных команд ищем значок запуска модуля (рисунок 3.20).





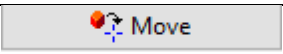
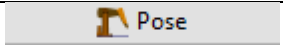



Рисунок 3.20 - Команда запуска «Task simulation builder»

Конструктор задач «Task simulation builder» является альтернативным способом создания симуляций в приложении Siemens Mechatronics Jack. Он позволяет создавать симуляции и анимации гораздо быстрее, чем стандартная система анимации «Animation system» (рисунок 3.18). Основные функции конструктора задач представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Основные функции конструктора задач

Команда	Расшифровка команды
Действия с манекеном	
 Go	Перемещение манекена от точки к точке, угол наклона туловища всегда 0 градусов
 Get	Взятие предмета, выставление конечной позиции. Возможно настроить хват и положение пальцев
 Put	Размещение взятого предмета в указанное конечное место
 Position	Перемещение предмета в пространстве, взятого в руку/руки манекена
 Pose	Настройка положения тела манекена, добавление нагрузок
 Regrasp	Перехват предмета ранее взятого
 Wait	Простой в пространстве манекена или предмета
 Apply_Force	Применение силы манекеном относительно предмета
 Force Profile	Применение силы манекеном относительно предмета, дополнительно учитывается профиль применения силы

Продолжение таблицы 3.1

 Sit	Простое действие – сесть
 Stand	Простое действие – встать
Симуляция действий объектами	
 Move	Перемещение предмета в пространстве
 Pose	Удержание позиции предметом
 Wait	Установка времени удержания предмета в пространстве
 Attach	Привязка одного предмета к другому
 Detach	Отвязка предмета от другого

Для взятия манекеном детали из списка команд (таблица 3.1) выбираем пункт «Get». В поле «Who» указывается манекен. Далее в поле «What» выбираем наконечник, лежащий на рабочем столе. В заключении в поле «Hand(s)» выбирается левая рука. Подтверждаем действия кнопкой «Solve now» (рисунок 3.21).

В дальнейшей работе необходимо настроить кисть руки, чтобы операция выглядела более реалистично. Для этого после команды «Solve now» необходимо нажать на опцию «Back» и активировать команду «Change final posture and grasp» (рисунок 3.22).

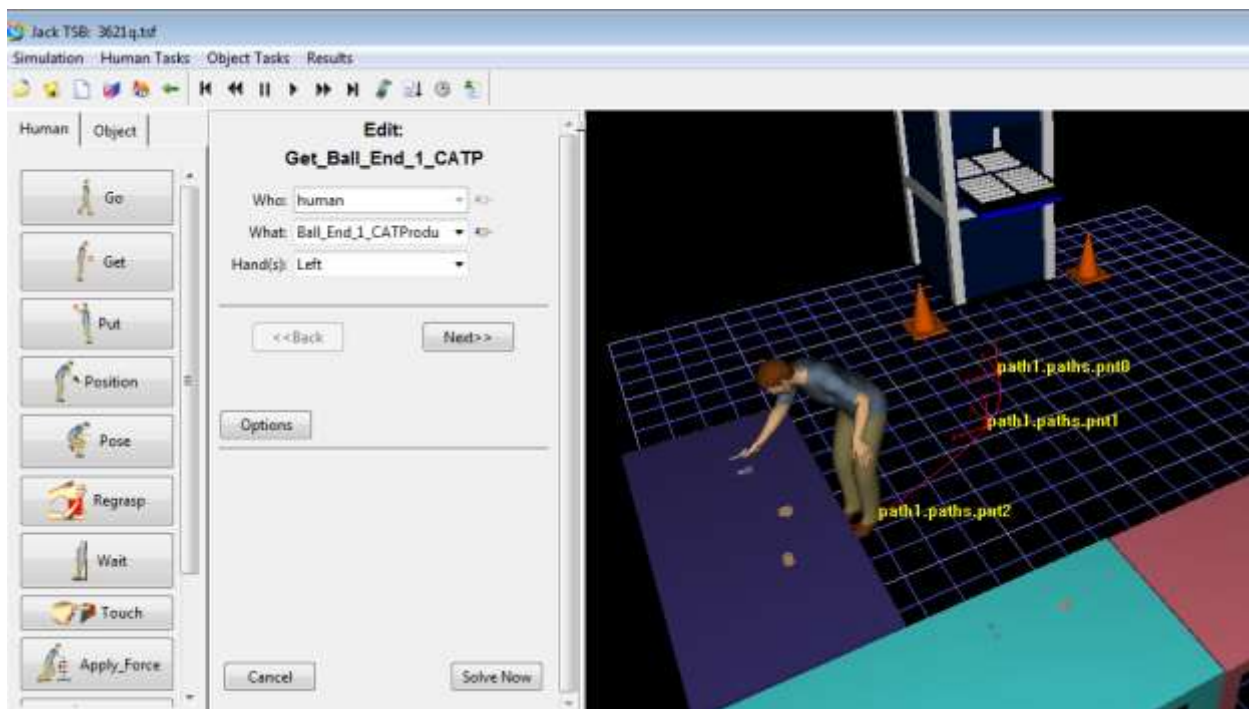


Рисунок 3.21 – Постановка задачи взятия предмета для манекена



Рисунок 3.22 – Команда по конечному расположению манекена

Появится панель контроля над манекеном, где можно настроить каждый фрагмент манекена. Наводим на кисть и правой кнопкой мыши вызываем меню, в котором выбираем «Grasp the segment». Затем выбираем предмет, который необходимо взять в руку. Так была выполнена привязка руки к предмету.

Для настройки хвата на панели контроля над манекеном повторно наводим курсор на кисть и вызываем меню, где выбираем «Adjust gras». Перемещаем кисть руки вдоль детали, выбирая её положение при хвате детали (рисунок 3.23).

Для настройки положения кисти используем кнопки мыши, как и при перемещении предметов. Для вращения кисти используем следующие команды:

- Shift + ЛКМ + перемещение мыши – вращение вокруг оси Y;
- Shift + ПКМ + перемещение мыши – вращение вокруг оси X;
- Shift + СКМ + перемещение мыши – вращение вокруг оси Z.

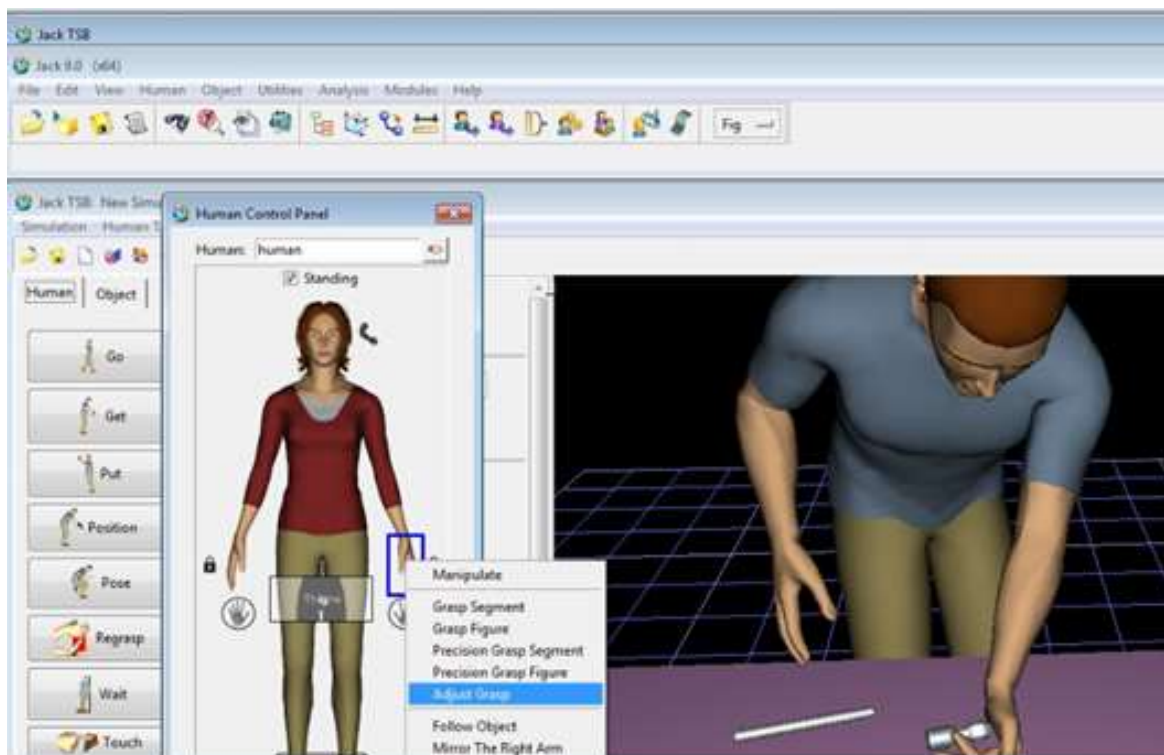


Рисунок 3.23 - Настройка положение кисти руки

Когда выполнили корректировку положения кисти относительно детали, необходимо настроить положение пальцев. Для этого в том же окне управления манекеном нажимаем правой кнопкой мыши на кисть и из выпадающего списка команд выбираем «Adjust finger joints» (рисунок 3.24).

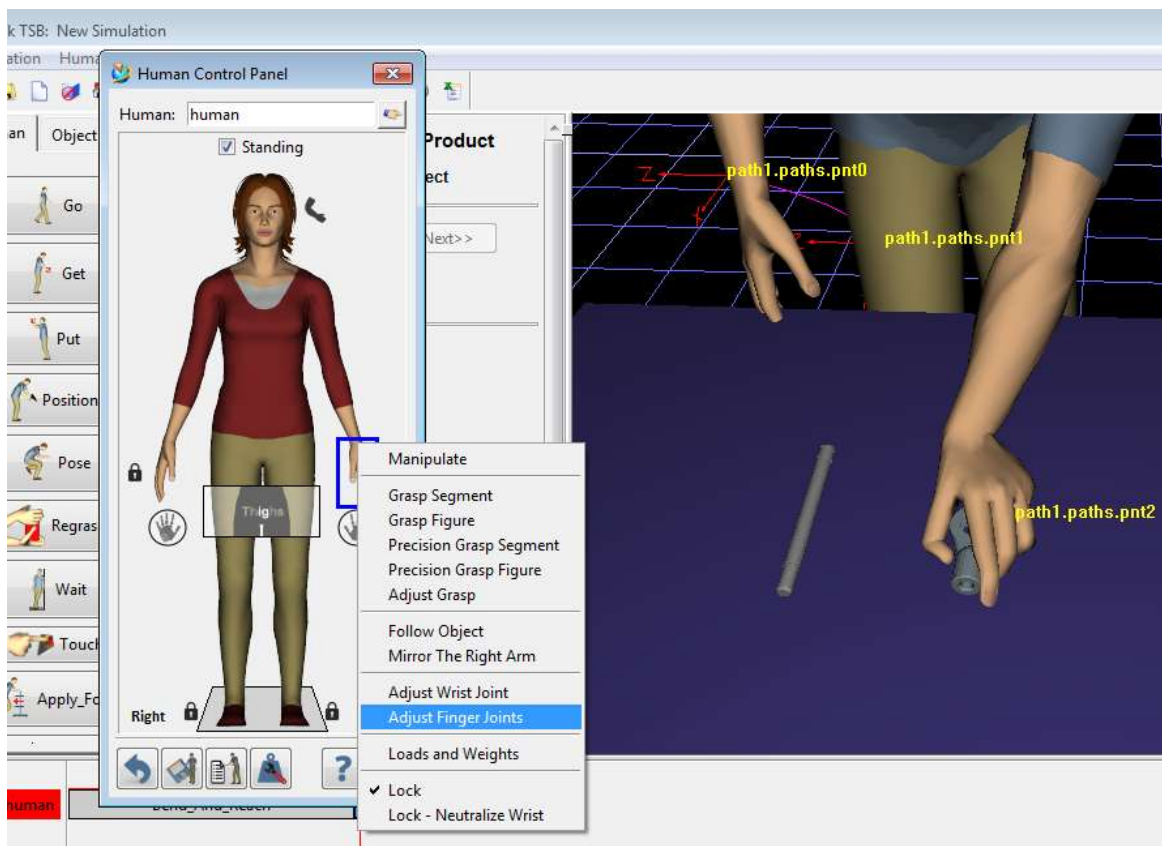


Рисунок 3.24 – Запуск окна настройки положение пальцев

Открывается окно для выбора сегмента на кисти (рисунок 3.25). Выбрав необходимую фалангу кисти, программой предлагается её настройка с помощью ползунков. Каждая фаланга, согласно физиологии человека, имеет свои возможности по настройке. По окончании редактирования крайнего положения манекена при выполнении операции взятия предмета отключаем команду «Change final posture and grasp» и повторно нажимаем «Solve now».

Необходимо отметить, что манекен остался в такой позе, при которой он взял предмет, но не поднял его. Для того чтобы поднять предмет рукой будем использовать команду «Position». Стандартно в пункте «Who» выбираем манекен - «What» - указываем на взятый предмет. Для определения конечного положения предмета, который находится у манекена в руке, в поле «Where» нажимаем команду «Place object». После этого можем с помощью кнопок мыши выставить конечное положение предмета в воздухе, а с комбинацией Shift+кнопки мыши выставить другой угол положения. По окончании настройки положения, отключаем кнопку «Place object» и нажимаем команду «Solve now» (рисунок 3.26).

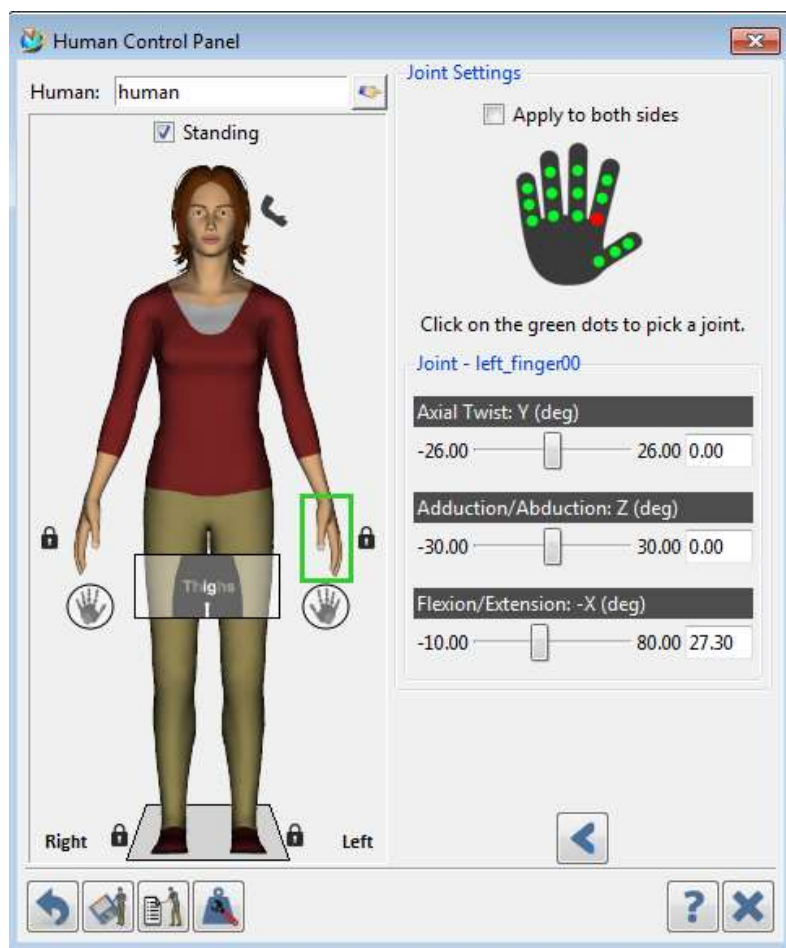


Рисунок 3.25 - Настройка сегментов

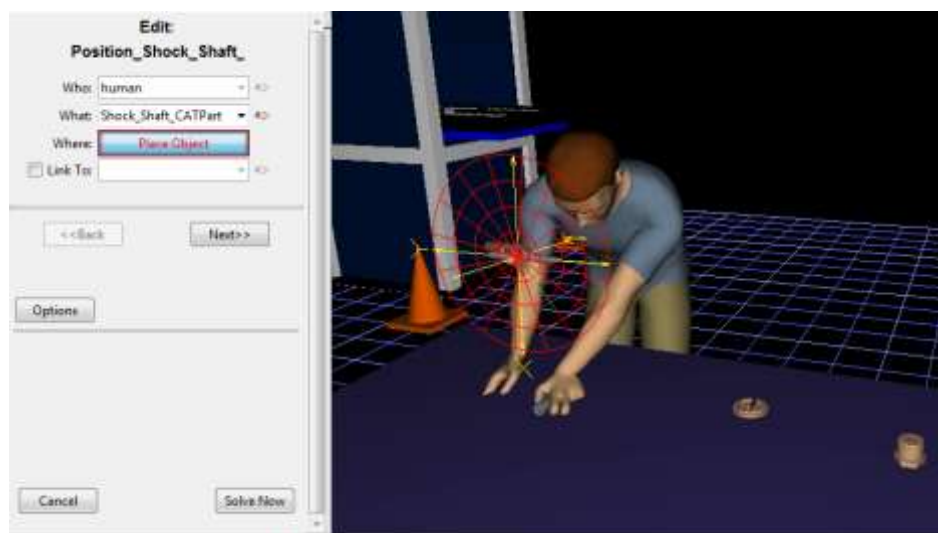


Рисунок 3.26 - Выставление позиции предмета вместе с рукой

После моделирования взятия и поднятия предмета приступим к симуляции операции по соединению двух деталей. Для начала определимся, что с чем будем соединять. В нашем случае первой сборочной операцией является соединение штока с наконечником. Для этого необходимо симулировать процесс поднесения штока к наконечнику. Команда симуляции расположения предмета была описана выше. После позиционирования штока и наконечника в непосредственной близости (рисунок 3.27) следует воспользоваться командой «Put» из конструктора симуляции задач.

Открывается окно создания задачи «Put», отвечающая за размещение предмета в пространстве. В окне редактора, по стандарту, в поле «Who» выбираем манекен. В поле «What» выбираем предмет, который будем размещать. Для определения конечного положения предмета, который находится у манекена в руке, в поле «Where» нажимаем команду «Place object». Важно в окне «Option» установить маркер напротив строчки Keep uninvolved hand still и из списка выбрать команду выставления противоположного предмета (в нашем случае наконечника). Это необходимо для того, чтобы

зафиксировать противоположную руку, чтобы она не смогла увлечь за собой вторую руку, как на рисунке 3.28. После нажимаем команду «Solve Now».



Рисунок 3.27 – Процесс позиционирования штока

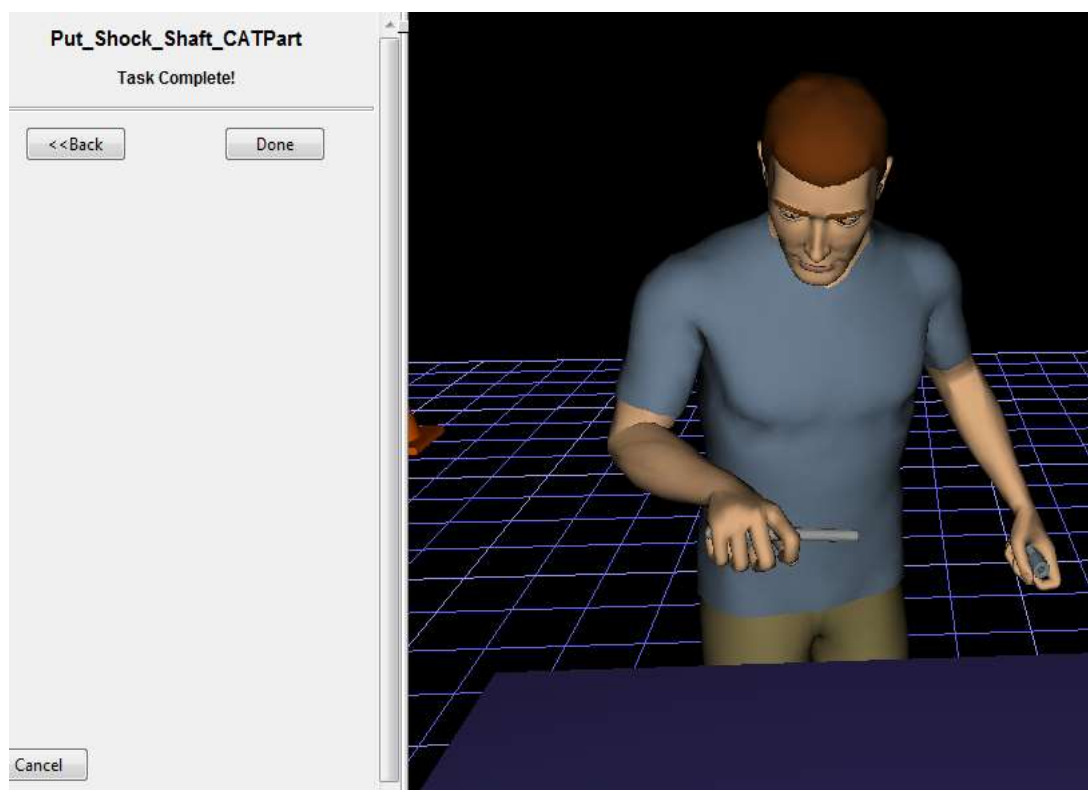


Рисунок 3.28 – Неверный исход симуляции

К сожалению, в функционале Technomatix Jack отсутствует такая задача, как «закрутить». Поэтому этот процесс будет заменен следующим действием, дублирующим реальный процесс: в левой руке у манекена наконечник, к нему подвели шток и располагаем его так, имитируя процесс завинчивания. Для того чтобы смоделировать соединение двух предметов воспользуемся командой «Attach» (рисунок 3.29). Открывается окно, где в поле «What» выбираем предмет, который крепим – шток. В поле «To» - предмет, к которому идёт фиксация -наконечник. После нажимаем «Solve now» и теперь два предмета связаны между собой, т.е. имитировано резьбовое соединение. В дальнейшем при перемещении одного предмета вместе с ним будет перемещаться и второй.

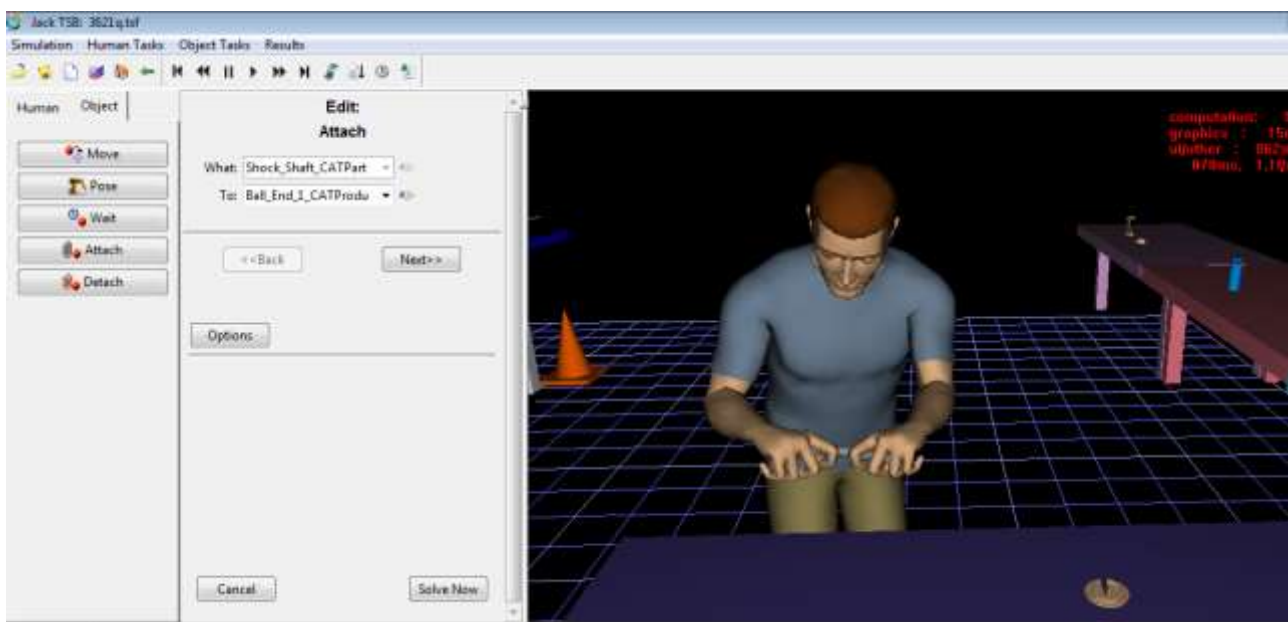


Рисунок 3.29 – Создание фиксации между двумя предметами

Следующая для рассмотрения команда - это «Walk». После соединения двух деталей, у манекена правая рука пустая, а левая занята сборочным узлом из наконечника и штока. Манекену необходимо подойти к следующему набору деталей для продолжения сборки.

В наборе команд находим «Walk», после чего открывается окно создания команды, где в поле «Who» выбираем манекен. Командой «Place object» определяем его конечное положение, а кнопкой «Solve now» завершаем создание команды. Стоит отметить, что для данного способа не нужно создавать траекторию движения, программа сама создаст более оптимальную траекторию.

Таким образом, манекен подошёл к следующему набору деталей (рисунок 3.30). Поскольку в функционале Technomatix Jack отсутствует команда наживить, будем выполнять имитацию движения.

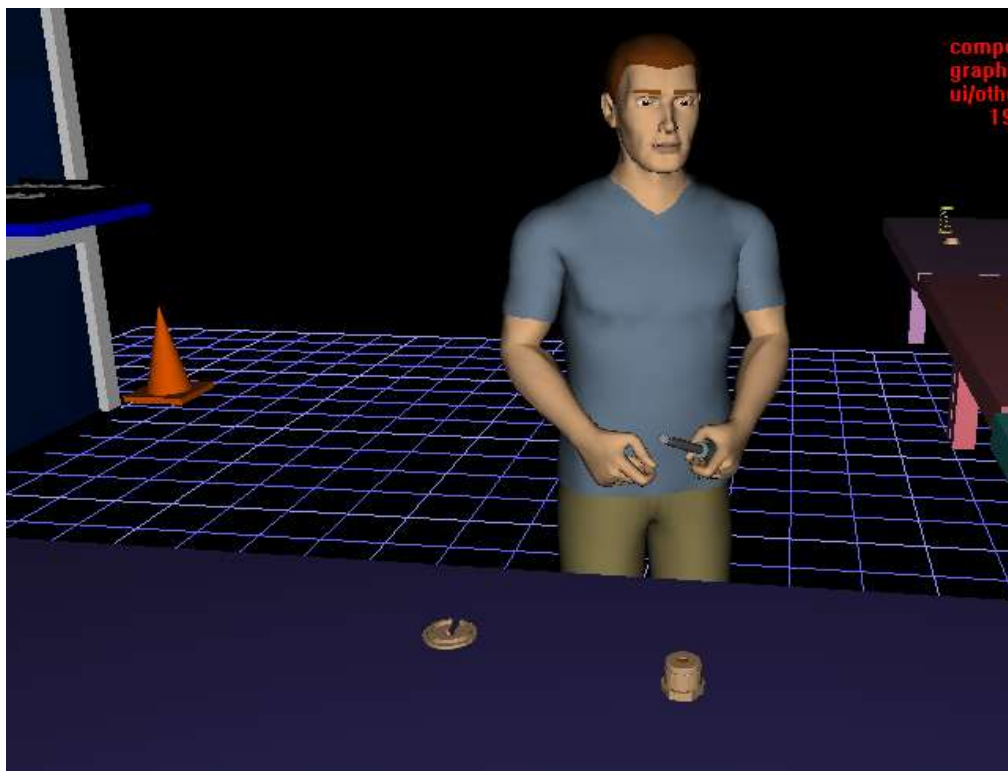


Рисунок 3.30 – Манекен в процессе сборки подходит к другому столу

Для начала необходимо взять следующую деталь - опору пружины. Применение команды «Get» было описано выше. Как и в предыдущей операции позиционируем опору вблизи узла из штока и наконечника. Командой «Put» размещаем опору так, как будто наживили ее на шток. Командой «Move»

(рисунок 3.31) выбираем предмет - опору пружины и указываем ее конечное положение. Опцией «Solve now» имитируем скольжение опоры вдоль штока (рисунок 3.32).

Таким образом, с помощью конструктора задач имитировали взятие и соединение двух деталей, перемещение манекена с деталью в руке, имитацию наживления опоры пружины на шток. Последующие операции такого же типа. Остановимся на рассмотрении последней операции.

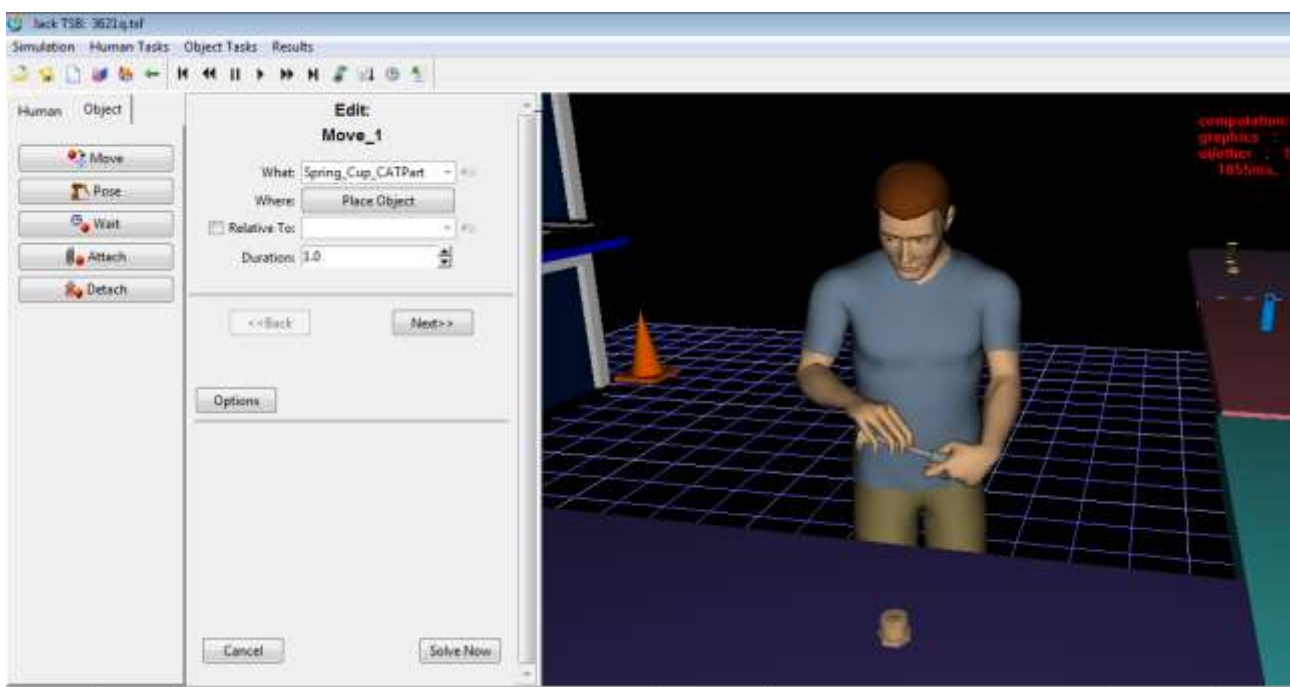


Рисунок 3.31 – Создание команды «Move»

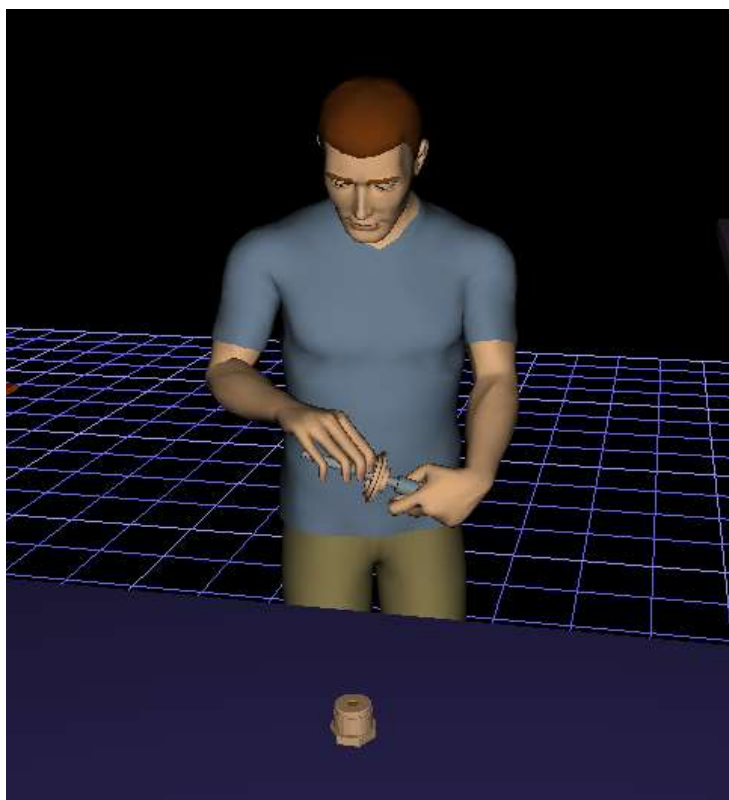


Рисунок 3.32 – Имитация скольжения опоры вдоль штока

Когда манекен собрал полностью весь узел, ему будет необходимо его отнести в лифт, для передачи узла в производство. Для этого создаем уже нам знакомое действие «Walk», манекен будет идти с последнего рабочего поста к лифту и когда будет находится в непосредственной близости, создаем команду «Put» и размещаем узел на поверхности транспортировочной плиты внутри лифта. На этом рассмотрение симуляции сборочного узла можно закончить.

В итоге получаем последовательность действий, расписанных на временной шкале снизу. С её помощью можно вернуться на необходимый участок, отредактировать действие и отслеживать процесс симуляции. Возвращаясь в модуль симуляций, полученную цепочку операций можно экспортировать в этот модуль. Для этого по завершению команд, находим сверху в главном меню конструктора задач строку «Results» и из выпадающего списка выбираем «Export to Animation System» (рисунок 3.33).

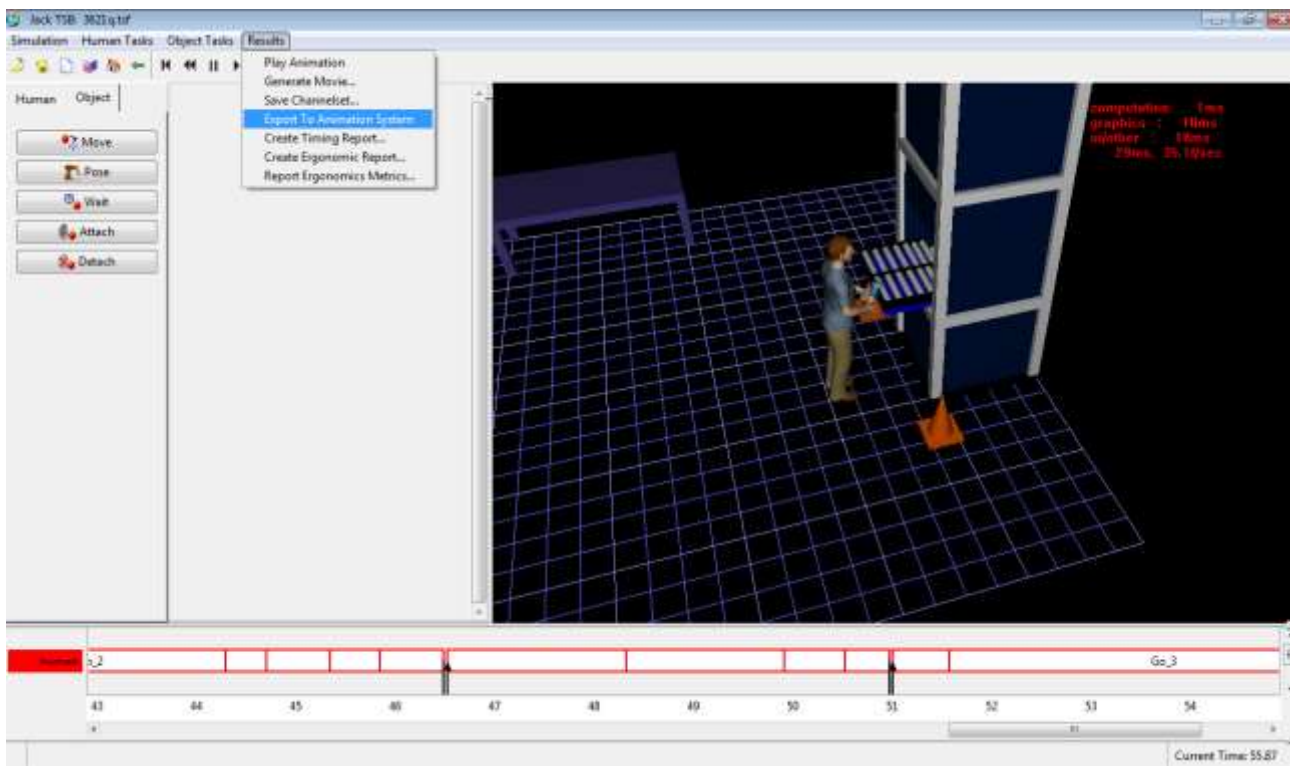


Рисунок 3.33 – Экспорт данных из конструктора задач в модуль анимации

Перед тем как закончить работу с конструктором задач воспользуемся возможностью сделать видеоролик получившегося процесса. Для информативности расставим камеры по ходу процесса. Переходя по временной линии в начало, создадим первую точку обзора. В окне конструктора задач в верхней строке команд находим команду «Simulation» и в выпадающем списке выбираем команду «Viewpoint Control...» (рисунок 3.34).

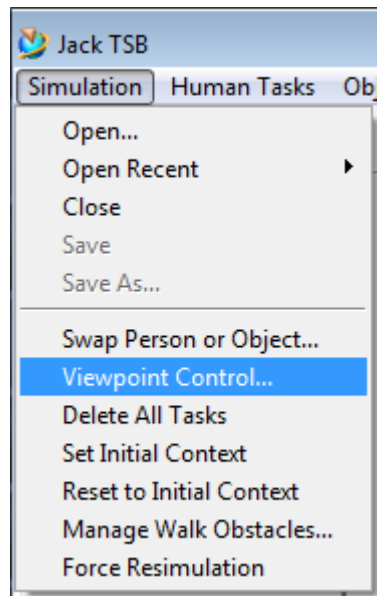


Рисунок 3.34 – Запуск модуля управления камеры

После нажатия команды появляется окно «TSB Viewpoint Control». Выставляем камеру так, чтобы все первые действия были доступны обзору. Для этого используем команду «Add New» (рисунок 3.35).

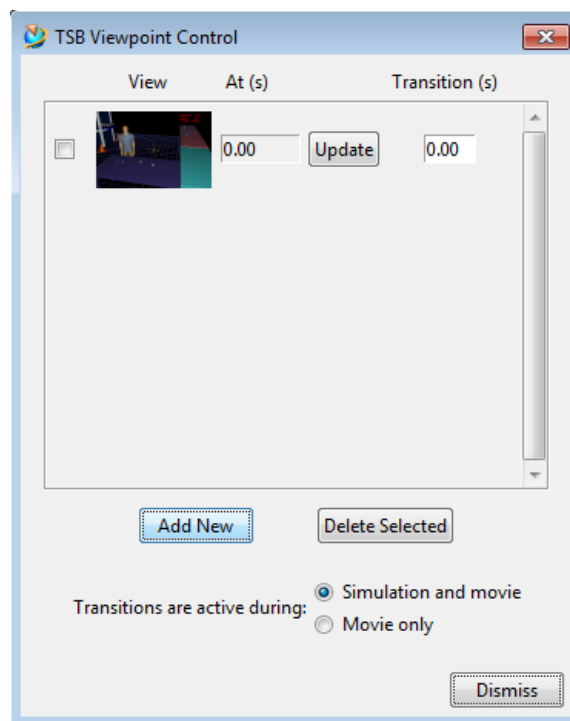


Рисунок 3.35 – Добавление новой точки обзора

Так была создана первая точка обзора. После запускаем анимацию и когда она доходит до того момента, где нужно поменять угол обзора:

1. Ставим на паузу.
2. Выставляем необходимый угол обзора.
3. Открываем окно «TSB Viewpoint Control».
4. Добавляем новый ракурс с помощью команды «Add New».

Таким образом выставляем все точки обзора. При повторном запуске будем видеть процесс сборки с выставленных ранее точек.

Ещё одной интересной функцией обладает Technomatix Jack. В главной панели команд находим команду «Utilities» и из выпадающего списка выбираем «Collision Detection» - это анализ на пересечения деталей, но уже с участием манекена и окружающих предметов. Появляется окно «Collision Detection» (рисунок 3.36), в котором для начала необходимо создать группу отслеживаемых деталей. Для этого в поле Name вводим название группы. Далее ниже с помощью курсора-пальца можно выбрать предметы, у которых будет отслеживаться наличие пересечений, или же можно нажать кнопку «Add all scene segments», добавив все имеющиеся в работе предметы. Завершаем настройку командой «Usage». Теперь во время воспроизведения процесса все детали, имеющие столкновения будут подсвечены красным цветом. Для отключения отслеживания пересечений, в окне «Collision Detection» выбираем отслеживаемую группу в поле «Active sets». При помощи, находящейся рядом стрелки, перекидываем группу в поле «Inactive sets», после чего отслеживание столкновений будет приостановлено.

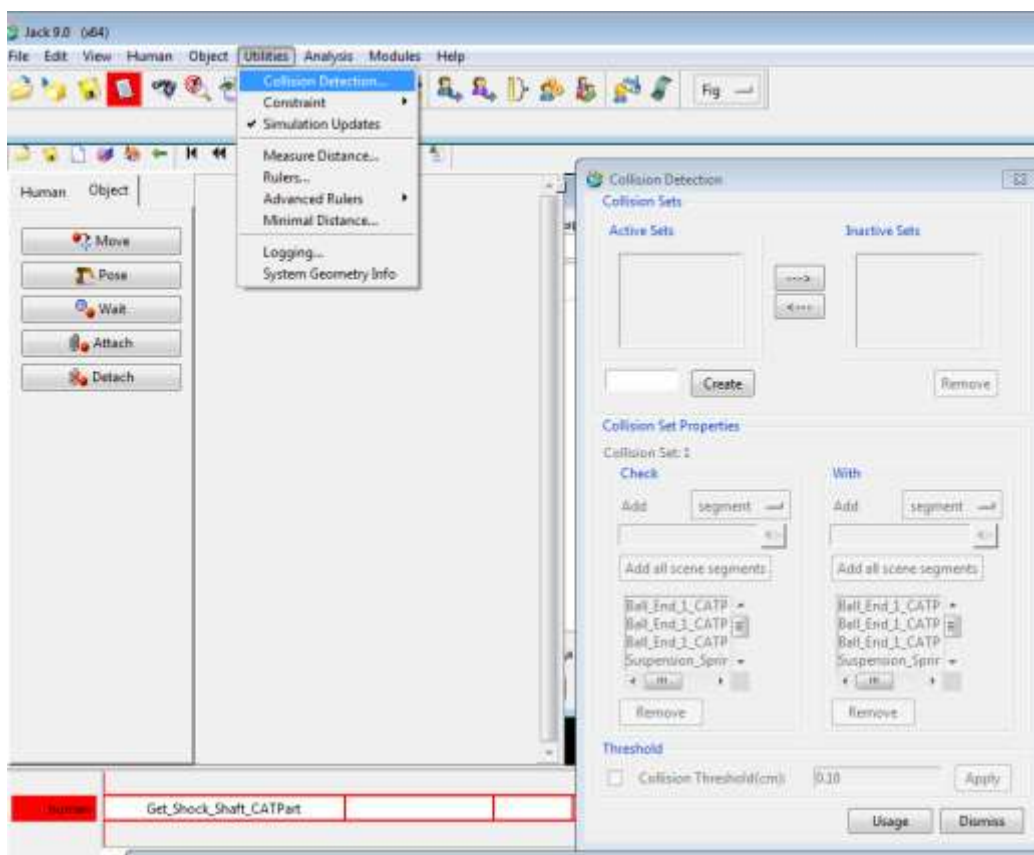


Рисунок 3.36 – Создание запроса на отслеживание столкновений

Siemens Tecnomatix Jack может также предоставлять отчёт о затрачиваемом времени. Для этого на главной панели команд конструктора задач находим команду «Create timing report» (рисунок 3.37).

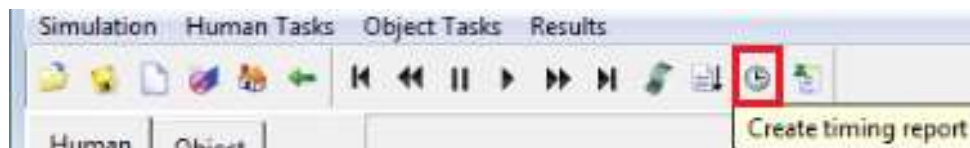


Рисунок 3.37 – Запуск модуля по созданию отчёта

Далее открывается окно «TSB Timing Report», где настраиваются параметры исходящего файла: заполняются описательные характеристики, выбирается формат сохранения (рисунок 3.38).

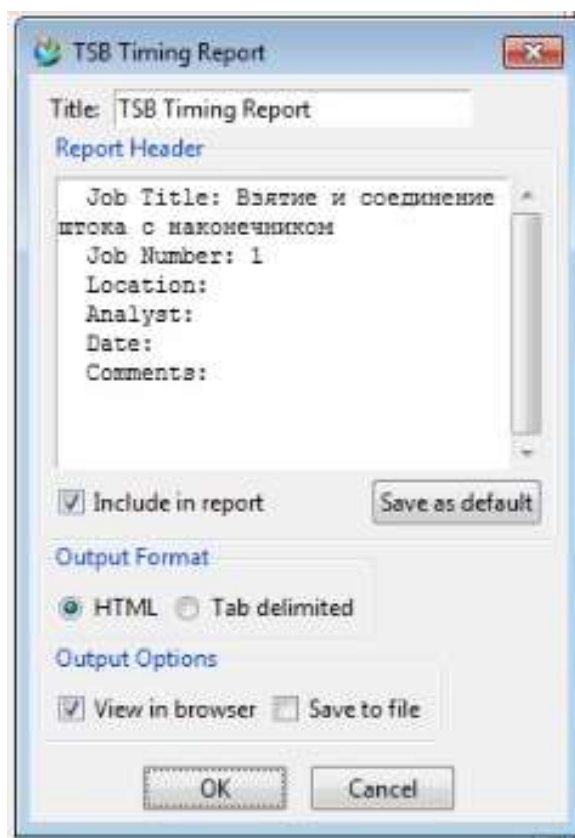


Рисунок 3.38 - Окно «TSB Timing Report»

Согласно созданному отчёту общее время смоделированного процесса составляет 1 минуту и 1 секунду. Так согласно отчёту (рисунок 3.39) время, затрачиваемое на взятие и установку пружины равно 1.78 секунды. В справочнике [23] указано время на ручную установку пружины 2.7 секунды – это значение определяет предельный максимум, установленный для выполнения этого действия. Расчетное время ниже на секунду, что соответственно является нормой. Подводя итоги, можно сказать, что точность расчетного времени, полученного на основе симуляции, не выходит за границы справочных предельных величин.

Get_Suspension_Spring_CATPart		0.64	
	Reach	0.57	R9.988A(l)
	Grasp	0.07	G1A(l)
Position_Suspension_Spring_CATPart		0.50	
	Reach	0.50	R8.620A(b)
Put_Suspension_Spring_CATPart		0.64	
	Reach	0.57	R9.664A(b)
	Release	0.07	RL1(l)

Рисунок 3.39 – Отчёт затрачиваемого времени на взятие и позиционирование пружины

Выполнив все необходимые действия, для удобства демонстрации выполненной работы можно сохранить анимацию в виде видеоролика (рисунок 3.39) с помощью выпадающей паллеты «Modules».

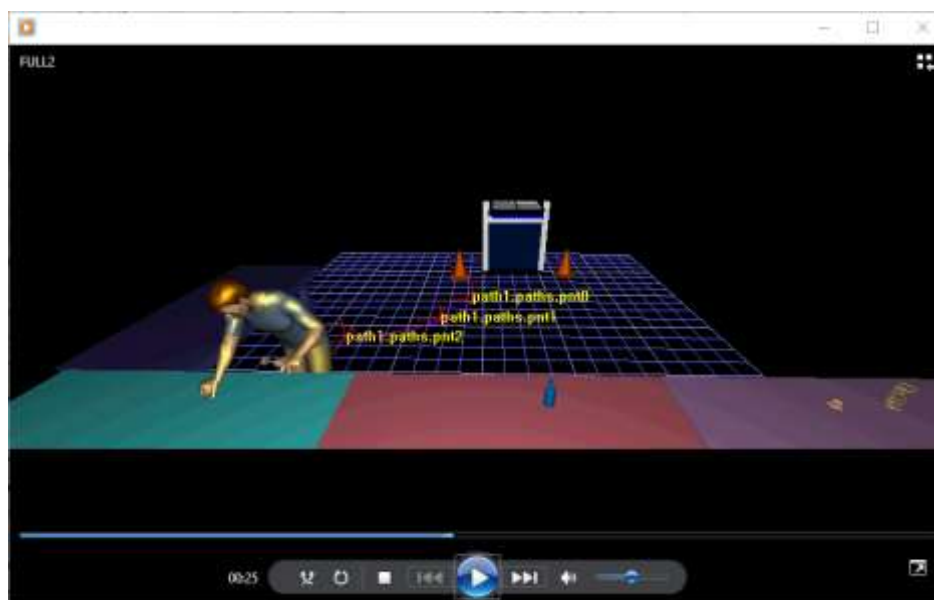


Рисунок 3.39 – Скрин видеоролика выполнения сборки

Заключение

1. Выполнено создание электронного макета сборочной конструкции амортизатора легкового автомобиля.
2. Проведен анализ собираемости конструкции, который позволил разработать пошаговую последовательность сборки в соответствии с реальными действиями.
3. Оценка собираемости позволила установить техническую возможность разборки конструкции при ремонте узла.
4. Показан алгоритм проверки процесса сборки на столкновения на основе отсутствия пересечений траекторий перемещения деталей.
5. Разработана симуляция производственного процесса сборки амортизатора легкового автомобиля с учетом затрачиваемого времени в среде виртуального моделирования. Расчет был проведен на основе движений цифрового манекена работника и электронной модели рабочего места. Виртуальная рабочая среда и симуляция рабочих обязанностей работника разработаны на основе учета факторов воздействия на работника и конструктивных особенностей оборудования. Точность расчетного времени, полученного на основе симуляции, не выходит за границы справочных предельных величин.
6. Показан алгоритм проверки процесса сборки на столкновения на основе отсутствия пересечений траекторий перемещения деталей и движений манекена.
7. Разработано интерактивное руководство по сборке конструкции в виде медиа файла на основе автоматического расчета траекторий вставки и изъятия компонентов сборки.

Список используемых источников

1. Аверченков В.И., Аверченков А.В., Базров Б.М., Вартанов М.В., Васильев А.С. и др. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. С. Васильева, А. А. Кутина; 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. 818 с
2. Аронсон К.Э., Блинков С.Н., Брезгин В.И., Бродов Ю.М. Купцов В.К., Ларионов И.Д., Ниренштейн М.А., Плотников П.Н., Рябчиков А.Ю., Хаеи С.И. ТЕПЛООБМЕННИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК Учебник для вузов/ Изд. второе, перераб. и доп. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008, 816 с.
3. Безъязычный В. Ф., Семенов А. Н. Научные и методические основы сборки. Состояние теории // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2004. № 4. С. 3–7.
4. Берлинер Э. М. САПР конструктора машиностроителя: учебник для студентов высших учебных заведений / Э. М. Берлинер, О. В. Таратынов. – Москва: Форум: ИНФРА-М, 2018. – 287 с.
5. Берлянт А.М. Виртуальные геоизображения. – М.: Научный мир, 2001. – 54 с.
6. Бурлев М.Я., Илюхин В.В., Тамбовцев И.М. Технологическое оборудование молочной отрасли. Монтаж, наладка, ремонт и сервис : учеб. пособие для академического бакалавриата /— 2-е изд. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 418 с.
7. Голыгин Н.Х., Педь С.Е., Дружинин П.В. Основы взаимозаменяемости: Учебное пособие для вузов. –М.: Изд-во МИИГАиК, 2020. –316 с.

8. ГОСТ 23501.101-87 Системы автоматизированного проектирования. Основные положения – Введ. 01.07.88.- М.: Издательство стандартов, 1988. – 16 с.
9. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий.– Введ. 01.01.83. - М.: Стандартиформ, 2012. – 88 с
10. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. – Введ. 01.01.92. - М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2009. – 16 с.
11. Данилевский В.В. Технология машиностроения. Учебник для техникумов. Издание 5-е, перераб. и доп. М., "Высшая школа", 1984
12. Добромиров В.Н., Острецов А.В. Конструкции амортизаторов: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле и тракторостроение». – М: МГТУ «МАМИ», 2007. – 47 с.
13. Иванова В. П. Основные сведения об изготовлении машин [Text] : учебное пособие / В. П. Иванова, А. Д. Аникина, Д. Ф. Брюховец. - Москва : Машиностроение, 1966. - 341 с
14. Каблов Е.В. Финогеев А.Г. ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРОЕКТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 11 – С. 14-17.
15. Коришонков С.Н. Особенности разработки технологических процессов сборки // Вестник науки и образования. 2019. №4-2 (58). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razrabotki-tehnologicheskikh-protssesov-sbornki> (дата обращения: 07.04.2021).
16. Кравченко Л. С. Размерный анализ при проектировании, изготовлении и сборке: Учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – 352с.

17. Левин Ю.А. «Индустрия–4.0»: концептуальные вопросы цифровизации в легкой промышленности / А.А.Никитин, Ю.А.Левин // Инновации и инвестиции. — 2019. — №1. — С. 3-5.

18. Левин Ю.А., Полетаева Л.П. Инновационное развитие хозяйственных систем: формирование цифровой экономики //Инновации и инвестиции № 11, 2017. С.7-10.

19. Муленко В.В. Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении. Учебное пособие для студентов вузов... РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, МОСКВА, 2015.

20. Острецов А.В., Красавин П.А., Воронин В.В., Павлова Л.А. Автомобильные подвески: Учебное пособие по дисциплине «Конструкция автомобиля и трактора» для студентов вузов, обучающихся по специальности 190201 (150100) «Автомобиле – и тракторостроение». Часть I. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 162 с.

21. Покровский Б.С. Слесарно-сборочные работы : учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования /. -10-е изд.стер.-М. : Издательский центр «Академия», 2016.-352 с.

22. Раймпель, Йорнсен. Шасси автомобиля /сокр. пер. с нем./ = Fahrwerktechnik. — Москва: Машиностроение, 1983. — Т. I. — С. 278. — 356 с.

23. Романова О.О., Рафальский В.П., Кузюткина А.В., Гапенкова Г.М. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях массового, крупносерийного и среднесерийного типов производства: Нормативно-производственное издание. М: Экономика, 1991. – 159 с.

24. Тарасов И.В. Индустрия 4. 0: понятие, концепции, тенденции развития // Стратегии бизнеса. 2018. №6 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-ponyatie-kontseptsii-tendentsii-razvitiya> (дата обращения: 07.03.2021).

25. Черный В.В., Богуш В.А. Технологический процесс сборки узлов машин и аппаратов: Методические указания / Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, Тамбов, 2004. 24 с.
26. Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия / Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 188 с.
27. Bangar, A., Shrivastava, M., Sharma, R.Sharma, T. Design and Analysis of Car Chassis// International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development 2017.
28. Buvat J., Slatter M., Manchanda N., Yardi A. Reshaping the future: unlocking automation's untapped value, Capgemini Research Institute, Capgemini, 2018. URL:https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2018/10/Automation-Use-Cases_Digital1.pdf
29. Dr Nicos Bilalis/Technical University of Crete/ COMPUTER AIDED DESIGN CAAD/ Report produced for the EC funded project INNOREGIO: dissemination of innovation and knowledge management techniques.- 2000 – [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.adi.pt/docs/innoregio_cad-en.pdf / (дата обращения: 14.11.2020).
30. Hovanec, Michal & Korba, Peter & Šolc, Marek. (2015). Tecnomatix for successful application in the area of simulation manufacturing and ergonomics. 1. 347-352.
31. Philipp Menn J., Seliger G. Increasing Knowledge and Skills for Assembly Processes through Interactive 3D-PDFs, Procedia CIRP, Volume 48, 2016, Pages 454-459.