

Я.Ю. Низовцева¹, Е.Ю. Дульский¹, П.Ю. Иванов¹, А.А. Хамнаева¹, В.Д. Шестакова¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

РЕВЕРСИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Аннотация. В данной работе изложен принцип реверсивного инжиниринга применительно к железнодорожной технике. Для данной технологии аппаратными средствами являются 3D сканеры, 3D-принтеры, компьютеры для сбора и обработки полученной информации и создания модели объекта.

Остановка поезда по причине неисправности тормозного оборудования ведет к задержкам как грузовых, так и пассажирских поездов, срывам передач вагонов по международным стыкам, создает угрозу безопасности движения, влияет на участковую скорость и экономические показатели сети железных дорог. Необходимо предотвращать отказы в тормозном оборудовании, это заметно снизит число неисправностей и расходы на их unplanned ремонты. При этом тормозная техника не претерпевала существенных изменений уже много лет. Значительно ускорить модернизацию и совершенствование тормозных приборов можно за счет использования прототипирования и реверсивного инжиниринга.

В компетенции будущих специалистов должны добавляться компетенции проектирования в CAD системах, обратного реверсивного инжиниринга, математического моделирования в 3D-пространстве, умение применять программное обеспечение по применению технологий реверсивного инжиниринга для восстановления деталей.

Ключевые слова: автотормозное оборудование, реверсивный инжиниринг, 3-D сканирование, система автоматизированного проектирования.

Y.Yu. Nizovtseva¹, E.Yu. Dulsky¹, P.Yu. Ivanov¹, A.A. Khamaneva¹, V.D. Shestakova¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

REVERSE ENGINEERING IN THE PRODUCTION OF ROLLING STOCK PARTS AND ASSEMBLIES

Abstract. This paper describes the principle of reverse engineering in relation to railway equipment. For this technology, the hardware is 3D scanners, 3D printers, computers for collecting and processing the received information and creating a model of the object.

Stopping a train due to a malfunction of the braking equipment leads to delays in both freight and passenger trains, disruptions in the transmission of cars at international junctions, poses a threat to traffic safety, affects the section speed and economic indicators of the railway network. It is necessary to prevent failures in the brake equipment, this will significantly reduce the number of malfunctions and the cost of their unplanned repairs. At the same time, the braking technology has not undergone significant changes for many years. Significantly accelerate the modernization and improvement of brake devices can be through the use of prototyping and reverse engineering.

The competencies of future specialists should be added to the competence of design in CAD systems, reverse engineering, mathematical modeling in 3D space, the ability to use software for the application of reverse engineering technologies for the restoration of parts.

Keywords: auto-brake equipment, reverse engineering, 3-D scanning, computer-aided design system.

Введение

Несоответствие принципов автоматизации снижает качество продукции и отрицательно влияет на внедрение новых технологий. Реализация принципа реверсивного инжиниринга, является основополагающей при создании цифрового производства и моделирования производственных деталей, которая опирается на использовании трехмерных моделей на всех стадиях технологической подготовки. Это позволяет исключить ошибки неизбежно возникающие при переводе информации из одного формата в другой, и снижает влияние человеческого фактора.

Обратный или реверсивный инжиниринг – это комплекс технологий, аппаратных и программных средств, необходимых для создания свойств объекта с внесением в него ряда

доработок. Для данной технологии аппаратными средствами являются 3D сканеры, 3D-принтеры, компьютеры для сбора и обработки полученной информации и создания модели объекта. Нынешний научно-технический прогресс позволяет реализовать технологическую подмену классических производственных процессов методом внедрения модернизированного оснащения, с поддержкой которого возможно добиться модернизации многих объектов.

Необходимость в средствах реверсивного инжиниринга:

1. Разработка дизайна нового изделия;
2. Определение применяемых в производстве материалов;
3. Трехмерное сканирование, получение CAD-модели;
4. При необходимости – снятие размеров других элементов устройства;
5. Создание рабочей модели, подгонка и проверка;
6. Разработка чертежей.

В результате реверсивного инжиниринга необходимо не просто получить копию со сканированной детали, а определенным образом доработать или отредактировать 3D-модель. При этом возникает необходимость совмещать в едином 3D-пространстве данные и гибридную (поверхностную или твердотельную) CAD-модель. Уникальность заключается в возможности совместного использования STL данных и поверхностей с точным математическим описанием.

Проблемы эксплуатации автотормозного оборудования

Остановка поезда по причине неисправности тормозного оборудования ведет к задержкам как грузовых, так и пассажирских поездов, срывам передач вагонов по международным стыкам, создает угрозу безопасности движения, влияет на участковую скорость и экономические показатели сети железных дорог [1, 2].

Диаграмма на рисунке 1 показывает распределение отказов основных узлов вагона.



Рис. 1. Анализ отказов технических средств вагонов по сети дорог

Исходя из представленной диаграммы на рисунке 1 анализа отказов технических средств вагонов по сети дорог 2020 г., можно сделать следующий вывод – наиболее проблемной частью, в плане возникновения непредвиденных неисправностей, является тормозное оборудование. В каждом из исследуемых промежутков времени тормозное оборудование занимает более 55 % от общего количества отказов, это наибольшее значение среди всех подверженных неисправностям частей.

Тормозное оборудование не оптимизировано, это доказано вышеизложенным анализом статистики неисправностей тормозного оборудования. Необходимо предотвращать

отказы в тормозном оборудовании, это заметно снизит число неисправностей и расходы на их неплановые ремонты.

Тормозное оборудование не претерпевало существенных конструктивных изменений уже много лет.

С оперативного совершенствования тормозного оборудования необходимо использовать современные цифровые технологии такие как реверсивный инжиниринг и аддитивные технологии, которые позволят существенно ускорить процесс проектирования, а также снизить себестоимость исследований, а в будущем позволить полностью заменить штатные технологии изготовления изделий из металла.

В данной работе в качестве примера рассмотрены магистральная часть воздухораспределителя №483 и стабилизатор крана машиниста усл. №395.

Реверсивный инжиниринг при проектировании автотормозного оборудования

Одним из методов реверсивного инжиниринга является 3D сканирование. В данной работе для проектирования магистральной части воздухораспределителя №483 и стабилизатора крана машиниста усл №395 используется 3D-сканер RangeVision Spectrum.

Преимущества RangeVision Spectrum:

1. Три настраиваемые области сканирования для профессиональной оцифровки объектов любых размеров, от 1см до 3м;
2. Две промышленные камеры для получения цветных 3D моделей с высокой детализацией (от 0,072мм);
3. В зависимости от особенностей объекта и условий работы, можно выбрать любой удобный режим сканирования - для сканирования объектов любых размеров и форм;

Для создания полноценной модели объекта нужно получить участки поверхностей, в своей совокупности, повторяющие форму объекта, т.е. отсканировать объект с разных ракурсов. Полученные фрагменты программно объединяются по геометрии поверхности, отсюда вытекает еще одно требование – объект должен быть жестким и не менять свою форму за все время сканирования. Иначе геометрия одного и того же участка поверхности объекта на разных сканах может отличаться, и объединить фрагменты в единое целое не получится.

В 3D-сканере Rangevision реализовано 3 варианта сканирования, которые отличаются в первую очередь методом совмещения фрагментов:

1. Свободное сканирование;
2. Сканирование с использованием маркеров;
3. Сканирование на поворотном столе.

В данной работе рассмотрены два вида сканирования, «Сканирование на поворотном столе» и «Сканирование с маркерами».

Сканирование на поворотном столе осуществляется без меток. Объект сканирования устанавливается на платформе стола и автоматически сканируется с нескольких ракурсов, что ускоряет процесс получения 3D-модели, представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Стабилизатора крана машиниста усл №395 на поворотном столе

Перед сканированием на поворотном столе необходимо выполнить калибровку оси поворотного стола. Осуществить калибровку можно двумя способами: по геометрии объекта, по калибровочному полю.

Для того, чтобы калибровка оси поворотного стола по геометрии объекта прошла успешно, объект должен иметь четко выраженную поверхность, не содержащую повторяющихся участков. Для сканирования гладких, симметричных сферических и цилиндрических объектов лучше использовать калибровку оси поворотного стола по калибровочному полю.

Результаты сканирования выдаются в виде файлов измерений или файлов фасетной 3D модели в форматах OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASCII и др.

Следует подчеркнуть, что после 3D сканирования в распоряжении инженера имеется только полигональная модель. Это очень важный момент, поскольку он существенно влияет на дальнейшие процессы обратного инжиниринга, на рисунке 3 в качестве примера показана модель недостатками [1, 2].

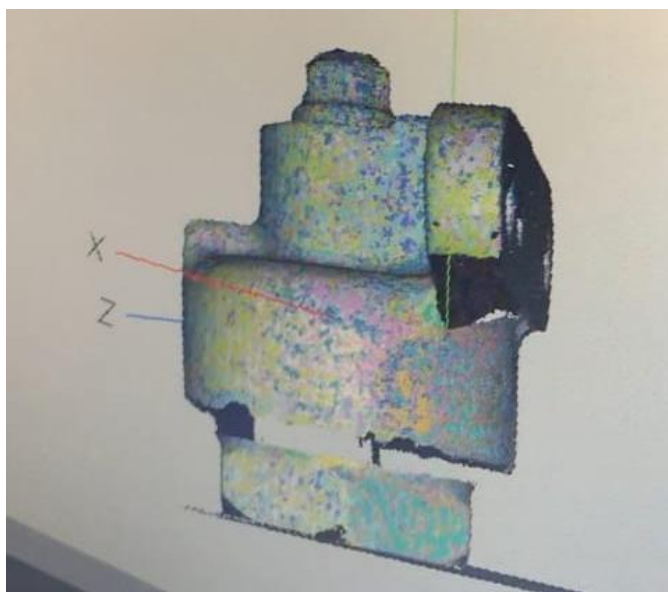


Рис. 3. Начальный результат сканирования

На рисунке хорошо видно, что некоторые поверхности частично или полностью отсутствуют. Понятно, что такой файл нельзя отправлять на 3D печать, полигональная модель нуждается в доработке.

Необходимость доработки полученной модели возникает не только из-за погрешности сканирования. Редактирование может понадобиться в связи с модификацией детали, внесением каких-то изменений в конструкцию. Этим фактом обусловлена одна из сложностей обратного инжиниринга.

Сканирование с использованием маркеров.

Этот метод сканирования более удобен, чем сканирование без маркеров. Его суть заключается в том, что на объект или вспомогательную поверхность наносятся специальные круглые метки(маркеры). Помимо построения поверхности объекта, в этом режиме сканер находит нанесенные метки, определяет размер и рассчитывает их координаты. Если на каждом следующем скане достаточно смежных меток с предыдущих, новый фрагмент автоматически устанавливается в нужное положение.

Таким образом, все фрагменты автоматически образуют трехмерную модель объекта, упрощая дальнейшую обработку данных сканирования и ускоряя процесс получения 3D-модели. Найденные метки образуют опорную сеть. Можно заранее создать опорную сеть маркеров, а затем отсканировать объект. При этом каждый скан будет подшиваться к опорной сети, а не к предыдущему скану, без необходимости перекрытия между ними.

Из этого следует, что можно наклеивать на объект меньшее количество маркеров. Опорная сеть может быть многократно использована, если поозваться вспомогательным объектом для сканирования, как на рисунке 4.



Рис. 4. Магистральная часть воздухораспределителя №483 с вспомогательным столом

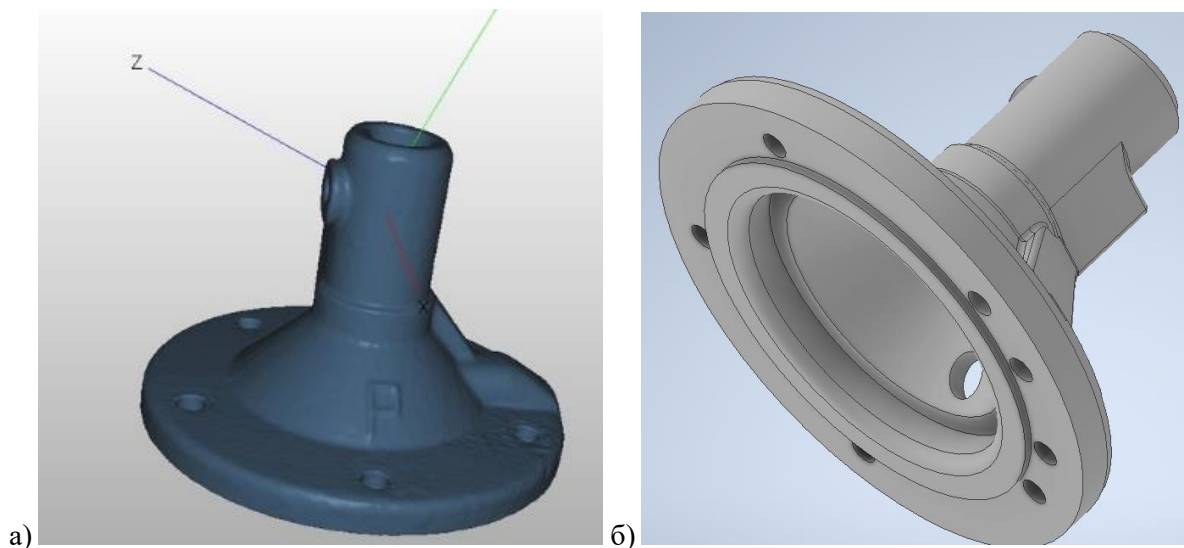
Опорная сеть может быть загружена в форматах basegrid, obs, txt из сторонних источников, например, из фото, что позволяет сканировать большие объекты без значительной потери точности. При наклеивании маркеров на сам объект желательно выбирать плоские участки. В этом случае в полученной модели можно будет вырезать участок с меткой и аккуратно заполнить образовавшуюся пустоту. Результаты сканирования выдаются в виде файлов измерений или файлов фасетной 3D модели в форматах OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASCII и др.

Обработка и совмещение сканов

Для построения трехмерной модели фрагменты, образующие в своей совокупности поверхность объекта, должны быть максимально совмещены. Совмещение происходит по общей уникальной геометрии (рельефу) поверхности объекта. Выполнить сшивку плоских поверхностей проблематично, так как на поверхности нет общих точек для совмещения сканов. При сканировании с маркерами или на поворотном столе модель выглядит целостной, однако точности совмещения фрагментов этими методами недостаточно для построения единой модели.

Функции регистрации слоев (сканов, фрагментов) используются для их совмещения перед построением единой модели и находятся в меню Совмещение.

Сканирование с маркерами, 1 проект.



**Рис. 5. 3-D модель магистральной часть воздухораспределителя №483:
а) до обработки, б) после обработки**

Для обработки такого проекта требуется выполнить следующие операции:

1. Перейти в режим Обработки.
2. Выделить и удалить с модели лишние участки и элементы.
3. Выполнить глобальную сшивку.

Сканирование с маркерами, 2 проекта.

Требуется выполнить следующие операции:

1. Перейти в режим Редактора.

2. Выделить и удалить с модели лишние участки и элементы, выполнить глобальную сшивку.

3. Загрузить второй проект. Для второго проекта те же операции, что и для первого

4. Объединить обе стороны модели объекта вместе с помощью ручной сшивки.

5. Перенести объединенные группы сканов в одну папку (группу), выполнить глобальную сшивку общей группы.

Построение из группы совмещенных сканов единой модели – это финальная операция по обработке данных сканирования. Создавать единую модель можно только по предварительно совмещенным сканам.

После завершения обработки и совмещения сканов модель можно сохранить (рис. 5, б) и сделать чертежи в разных проекциях.

Заключение

Система сканирования RangeVision Spectrum позволяет проводить обратный реверсивный инжиниринг с целью создания высокоточных 3D модели, которые позволят проводить точные расчеты с последующей модернизацией деталей и узлов подвижного состава, и может применяться на производстве для упрощения изготовления деталей. Данное исследование подводит к необходимости введения ИТ-технологий специалистам инженерных направлений. В компетенции будущих специалистов должны добавляться компетенции проектирования в САД системах, обратного реверсивного инжиниринга, математического моделирования в 3D-пространстве, умение применять программное обеспечение по применению технологий реверсивного инжиниринга и аддитивных технологий для восстановления деталей и конструирования нового, более совершенного оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов П.Ю. Исследование причин самопроизвольного срабатывания автотормозов грузовых поездов / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский, А.М. Худоногов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2017. Т. 2. С. 399-403.

2. Иванов П.Ю. Исследование работы стабилизатора крана машиниста усл. № 395 / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский, А.М. Худоногов // В сборнике: Инновационные проекты и технологии машиностроительных производств. Материалы второй всероссийской научно-технической конференции. Омский государственный университет путей сообщения. 2017. С. 62-69.

3. Никитин Г.: «Я ожидаю утверждения правил в ближайшее время» [Электронный ресурс]: [сайт]. [07.12.2015г.] // minpromtorg.gov.ru: Сайт Минпромторг России. URL: http://minpromtorg.gov.ru/presscentre/news/#!gleb_nikitin_ya_ozhidayu_utverzheniya_pravil_v_blizhayshee_vremya (Дата обращения 29.03.2021г.).

4. Техническое описание Компетенция «Реверсивный инжиниринг» // [Электронный ресурс] URL: https://spo.mosmetod.ru/docs/safety-andhealth/requirements/40_Reversivnyj_inzhiniring/TO_reverse_17.pdf (Дата обращения 29.03.2021г.)

REFERENCES

1. Ivanov, P. Yu., Manuilov, N. I., Dulsky, E. Yu., and Khudonogov, A. M., Research of the causes of spontaneous actuation of auto-brakes of freight trains, Transport Infrastructure of the Siberian Region. 2017. Vol. 2. p. 399-403

2. Ivanov P. Yu. Research of the work of the stabilizer of the machinist crane усл. No. 395 / P. Yu. Ivanov, N. I. Manuylov, E. Yu. Dalsky, A.M. Khudonogov // In the collection: Innovative projects and technologies of machine-building productions. Materials of the Second All-Russian Scientific and Technical Conference. Omsk State University of Railway Transport. 2017. pp. 62-69.

3. Nikitin G.: "I expect the approval of the rules in the near future" [Electronic resource]: [website]. [07.12.2015] // minpromtorg.gov.ru: Website of the Ministry of Industry and Trade of Russia. URL: http://minpromtorg.gov.ru/presscentre/news/gleb_nikitin_ya_ozhidayu_utverzheniya_a_pravil_v_blizhayshee_vremya (Accessed 29.03.2021).

4. Technical description of the competence "Reverse engineering" // [Electronic resource] URL: https://spo.mosmetod.ru/docs/safetyandhealth/requirements/40_Reversivnyj_inzhiniring/TO_reverse_17.pdf (Accessed 29.03.2021)

Информация об авторах

Низовцева Ярослава Юрьевна – студент факультета «Транспортные системы», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pikachu_pikachu00@mail.ru

Дульский Евгений Юрьевич - к. т. н. доцент, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: E_Dulskiy@ssdigit.ru

Иванов Павел Юрьевич - к. т. н. доцент, доцент кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: P_Ivanov@ssdigit.ru

Хамнаева Алена Александровна – ассистент кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: alenalend@mail.ru

Шестакова Валерия Дмитриевна – студент факультета «Транспортные системы», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: valeriyashestakova0509@gmail.ru

Authors

Yaroslava Yuryevna Nizovtseva – Student of the Faculty "Transport Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pikachu_pikachu00@mail.ru

Evgeny Yurievich Dulskiy – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor the Subdepartment of Cars and carriage facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: E_Dulskiy@ssdigit.ru

Pavel Yurievich Ivanov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor the Subdepartment of Electric rolling stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: P_Ivanov@ssdigit.ru

Alyona Aleksandrovna Khamnaeva – Assistant of the Department "Electric Rolling Stock", Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk e-mail: alenalend@mail.ru

Valeria Dmitrievna Shestakova – Student of the Faculty "Transport Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: valeriyashestakova0509@gmail.ru

Для цитирования

Низовцева Я.Ю. Реверсивный инжиниринг в производстве деталей и узлов подвижного состава [Электронный ресурс] / Я.Ю. Низовцева, Е.Ю. Дульский, П.Ю. Иванов, А.А. Хамнаева, В.Д. Шестакова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №1 (11). – Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

For citation

Nizovtseva Y.Yu., Dulskiy E.Yu., Ivanov P.Yu., Khamaneva A.A., Shestakova V.D. *Reversivnyy inzhiniring v proizvodstve detaley i uzlov podvizhnogo sostava* [Reverse engineering in the production of parts and components of rolling stock]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 1 (11).