

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Тараховский А.Ю., Стреляная Ю.О.

Севастопольский государственный университет, Севастополь

Ключевые слова: реверс-инжиниринг, 3D-сканирование, КОМПАС-3D, Scanform L5, параметрическая модель, облако точек, светоотражающие маркеры, цифровое проектирование, импортозамещение, инженерные кадры.

Аннотация. В статье рассматривается внедрение дисциплины «Реверс-инжиниринг» в учебный процесс Севастопольского государственного университета для подготовки инженерных кадров машиностроительных специальностей. Разработана методика практических занятий, включающая полный цикл цифрового проектирования: калибровку и 3D-сканирование деталей сканером Scanform L5 с использованием светоотражающих маркеров, обработку облаков точек и построение параметрических моделей в КОМПАС-3D с точностью 0,1 мм. Предложенный подход повышает практическую готовность студентов к задачам импортозамещения и аддитивного производства на 25-30%, формируя компетенции цифрового дизайна и анализа реальных конструкций.

REVERSE ENGINEERING AS AN ENGINEERING TRAINING TOOL

Tarakhovskiy A.Yu., Strelyanaya Yu.O.

Sevastopol State University, Sevastopol

Keywords: reverse engineering, 3D scanning, KOMPAS-3D, Scanform L5, parametric model, point cloud, reflective markers, digital design, import substitution, engineering personnel.

Abstract. The article discusses the introduction of the discipline "Reverse Engineering" into the educational process of Sevastopol State University for the training of engineering personnel in machine-building specialties. A practical training methodology has been developed that includes a full cycle of digital design: calibration and 3D scanning of parts with a Scanform L5 scanner using reflective markers, processing point clouds and building parametric models in KOMPAS-3D with an accuracy of 0.1 mm. The proposed approach increases students' practical readiness for the tasks of import substitution and additive manufacturing by 25-30%, forming the competencies of digital design and analysis of real structures.

Реверс-инжиниринг становится мощным инструментом в подготовке инженерных кадров [1, 2], позволяя студентам разбирать реальные изделия, создавать их 3D-модели и понимать внутренние принципы конструкции. Реверс-инжиниринг развивает навыки анализа существующих объектов, от сканирования до параметрического моделирования. Он формирует компетенции в цифровом дизайне, критическом мышлении и решении задач импортозамещения. Студенты учатся работать с реальными дефектами деталей, что повышает практическую готовность к производству [3-6].

В ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет для студентов технических направлений кафедрой «Цифровое проектирование» разработана и внедрена в учебный процесс дисциплина «Реверс инжиниринг».

На практических занятиях по реверс-инжинирингу студенты последовательно выполняют полный цикл от сканирования детали до создания

параметрической 3D-модели в КОМПАС-3D, используя ручной лазерный 3D сканер Scanform L5, фирменное ПО компании Scanform и САПР КОМПАС-3D V24.

Подробно рассмотрим одно из практических занятий: создание 3D модели детали «Темпер для кофе» (рис. 1). Данная деталь выбрана из-за своих простых форм как для сканирования, так и для моделирования.

Последовательность выполнения практической работы:

1. Студенты калибруют сканер, калибровка осуществляется в течение 1-2 минут по калибровочной пластине и позволяет получать стабильную повторяемость и воспроизводимость измерений в любых условиях.

2. Далее сканируют светоотражающие маркеры.

Светоотражающие маркеры необходимы в 3D-сканировании для повышения точности позиционирования сканера и автоматического выравнивания множественных сканов реальных деталей. Маркеры (круглые наклейки диаметром 3-6 мм с отражающим центром и черным кольцом) служат опорными "якорями", которые лазерный или оптический сканер (как Scanform L5) легко распознает. Они позволяют ПО отслеживать перемещение сканера в реальном времени, обеспечивая точное совмещение кадров (регистрацию) с ошибкой $< 0,03$ мм. Без них на гладких или однородных поверхностях (металл, пластик) алгоритмы теряют связь между сканами.

3. Осуществляют настройку сканирования: разрешение сканирования от 0,15 до 4 мм в зависимости от объекта сканирования. Важно помнить, что при сканировании, важно подобрать верное разрешение. Разрешение не равно точности(погрешности): оно отвечает за детализацию и прорисовку мелких элементов. Максимальное разрешение увеличивает время сканирования и обработки модели, а также размер итогового файла.

4. Далее студенты сканируют деталь. проводят 6-8 проходов с поворотом на 45° , захватывая все грани. Данную деталь сканируем в два скана (с переворотом) рисунок 2.



Рис. 1. Темпер для кофе

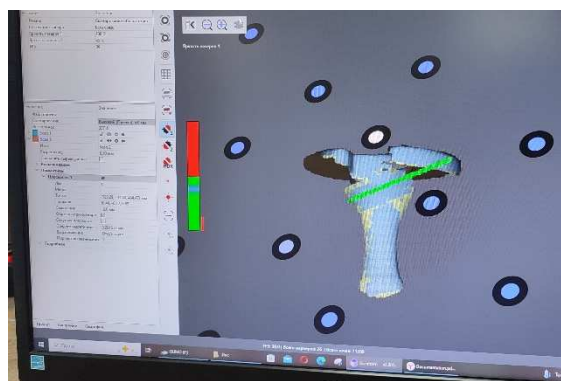
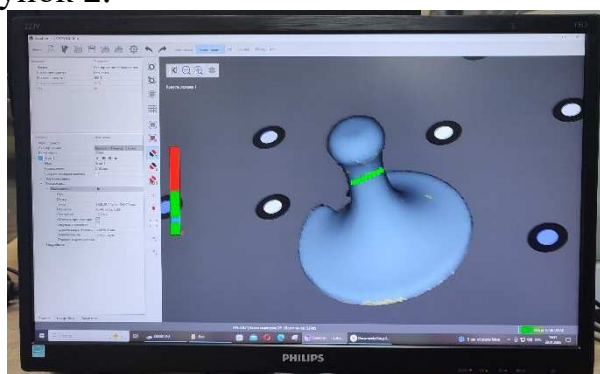


Рис. 2. Сканирование

5. Следующий этап – работа с облаком точек. При сканировании поверхностей, вызывающих оптические искажения (чёрные, отражающие, прозрачные или с острыми кромками), возникают дефектные точки с развёрнутой нормалью или переотражённым лазером. Для их удаления в ПО Scanform V3 студенты используют два инструмента: выделение изолированных точек и

функцию «Выбрать плохие нормали». Программа автоматически отмечает подозрительные точки по заданным настройкам, после чего пользователь корректирует выбор и удаляет остаток или стирает все отмеченные сразу. Параметры (угол нормали, пороги) настраиваются в меню «Настройки» → «Выбор» → «Выделить плохие нормали», функцию можно применять многократно.

6. Далее два скана необходимо совместить. Это можно сделать, используя функции «Совмещение по маркерам» или «Совмещение по указателям». Результат представлен на рисунке 3.

7. После этого этапа необходимо произвести точное выравнивание относительно нуля координат (выравнивание по примитивам). Для точного выравнивания сканов используем примитивы: точки, плоскости, векторы, цилиндры и конусы. Выровненный скан или поверхность(сетка) экспортируется с системой координат согласно выравниванию.

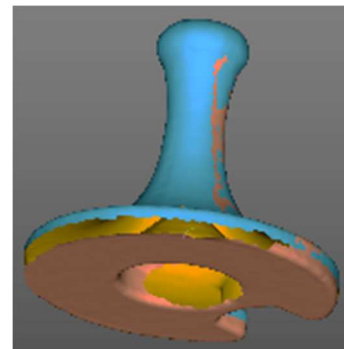


Рис. 3. Результат объединения двух сканов

8. Конечной операцией будет Построение поверхности(сетки). Программа объединяет все видимые сканы проекта в единую поверхность, сшивая их с сохранением исходного разрешения каждой. Перед этим рекомендуется очистить каждый скан от изолированных точек и рваных краёв. В проекте может быть только одна общая поверхность. Для создания единой поверхности по нескольким сканам одного объекта (не всего проекта) сначала выровняйте их, скопируйте точки и метки из каждого, вставьте в новый скан – получится единый скан для построения поверхности объекта.

9. Если необходимо, то можно провести операцию «Заполнение дыр».

10. Следующей необходимой операцией является операция «Сглаживание и оптимизация поверхности(сетки)». Оптимизация скана упрощает модель за счёт сокращения полигонов, преимущественно на гладких поверхностях и плоскостях. В зонах сложной геометрии программа сохраняет максимальную детализацию.

11. Заключительный этап работы со сканером – Экспорт (сохранение) поверхности в формате *.stl для передачи в КОМПАС-3D.

Далее в САПР КОМПАС-3D V24 строится твердотельная модель. Для создания твердотельной модели из полигональной (STL) происходит поэтапная реконструкция: сначала команда «Подгонка поверхности» аппроксимирует участки меша аналитическими поверхностями (плоскость, цилиндр, сфера, тор, конус), минимизируя отклонение от вершин треугольников (типично $< 0,1$ мм) рисунок 4.

Команда «Кривая пересечения» (модуль «Каркас и поверхности») строит замкнутые контуры на стыках поверхностей.

Полученные эскизы используют в булевых операциях (соединение/вычет/пересечение), получая параметрическое твердое тело с историей построения [7]. Результат – редактируемая САД-модель, готовая для ГОСТ-чертежей, FEM-анализа и 3D-печати.

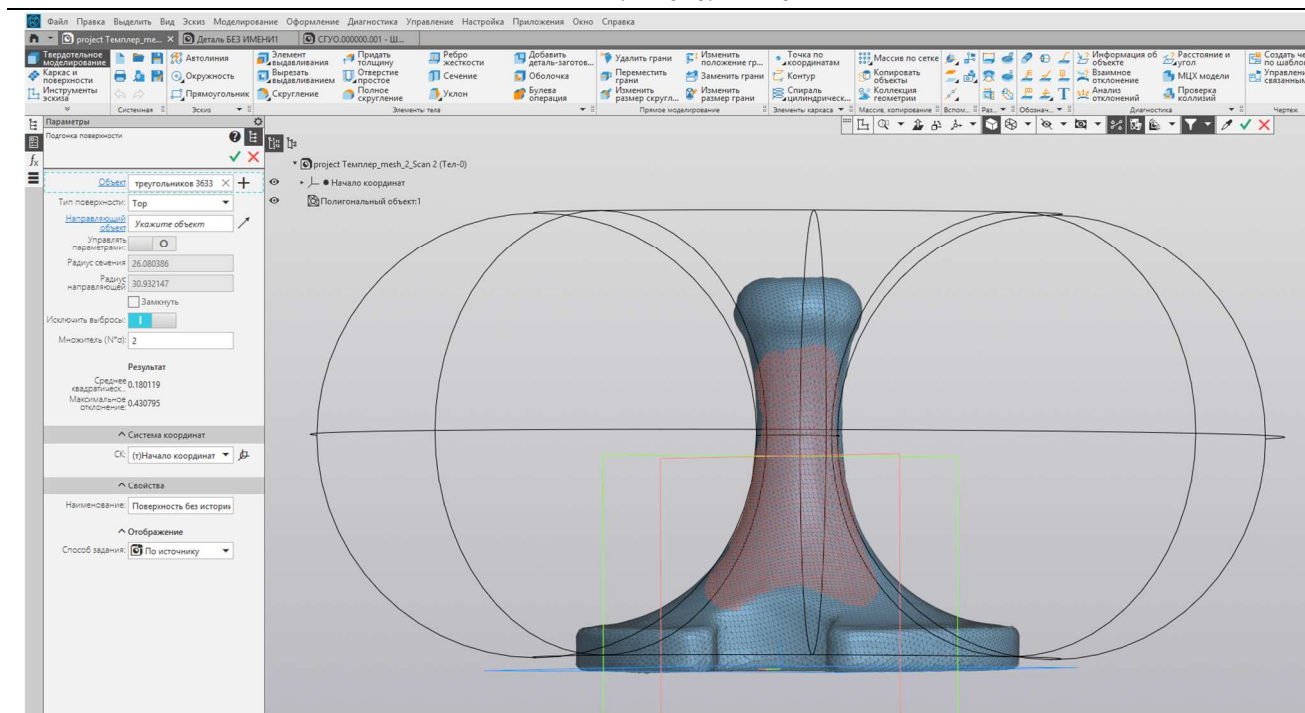


Рис. 4. Использование команды «Подгонка поверхности»

Внедрение дисциплины «Реверс-инжиниринг» в учебный процесс СевГУ формирует у студентов машиностроительных специальностей комплекс практических компетенций цифрового проектирования – от 3D-сканирования реальных деталей (Scanform L5) до создания параметрических моделей в КОМПАС-3D. Полный цикл практических занятий (калибровка, сканирование с маркерами, обработка облаков точек, построение и оптимизация поверхности) за 4-6 академических часов обеспечивает освоение современных технологий реверс инжиниринга. Разработанная методика повышает готовность выпускников к решению инженерных задач промышленности на 25-30%, создавая основу для интеграции реверс-инжиниринга в образовательные стандарты технических вузов.

Список литературы

1. Тараховский А.Ю. Обратный инжиниринг в учебном процессе // Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования: Сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 13-15 мая 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 26-29.
2. Гайдидей С.В. Включение раздела «реверс-инжиниринг» в курс дисциплины «компьютерное проектирование» // Передовые достижения науки в молочной отрасли: Сборник научных трудов по результатам работы VII Международной научно-практической конференции, посвящённой дню рождения Николая Васильевича Верещагина, Вологда, 23 октября 2025 года. – Вологда: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2025. – С. 87-91.
3. Галюжин Д.С., Кривоногова Е.Г., Ковалев Д.А. Реверс-инжиниринг как один из этапов подготовки современного высокопрофессионального инженера // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 25-26 апреля 2024 года. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2024. – С. 354.
4. Агва Ф.Ч.Т., Летнев К.Ю. Быстрый реверс-инжиниринг - методология реверс-инжиниринга // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта: Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 95-летию юбилею кафедры подъемно-транспортных машин и роботов, Екатеринбург, 13 декабря 2024 года. –

Екатеринбург: Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2025. – С. 312-317.

5. Саса Д.А., Тараховский А.Ю. Использование многофункционального измерительного манипулятора для контроля параметров, получаемых после механической обработки // Вестник современных технологий. – 2020. – № 3(19). – С. 54-59.
6. Малаева П.В. Применение реверс-инжиниринга и 3D-сканирования в авиастроении // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 21-23 ноября 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2024. – С. 161-163.
7. Сидякин А. Применение полигональных инструментов для реверс-инжиниринга в КОМПАС-3D // САПР и графика. – 2025. – № 3(343). – С. 36-39.

Сведения об авторах:

Тараховский Алексей Юрьевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Цифровое проектирование»;

Стреляная Юлия Олеговна – к.т.н., доцент кафедры «Цифровое проектирование».