

иметь высококвалифицированных специалистов, что также может быть вызовом для компаний.

В заключение, инновационные методы маркетинга имеют большой потенциал для развития и применения в приборостроении. Они могут помочь компаниям привлекать клиентов, сокращать время и затраты на маркетинговые

исследования и повышать конкурентоспособность на рынке. Однако, их внедрение также может столкнуться с определенными трудностями, такими как: необходимость в финансовых и временных инвестициях, а также наличие высококвалифицированных специалистов.

УДК 621.7

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХКООРДИНАТНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ РЕВЕРСНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И СОЗДАНИЯ ТОЧНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ

Троцкая А.Э., Гомма М.А.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Использование трехкоординатной измерительной техники помогает контролировать детали в цехах и лабораториях. Тем самым обеспечивая стабильность процесса и контроль качества на всех уровнях – от простых проверок до более глубокого анализа допусков формы и положения.

**Ключевые слова:** CAD-модели, контроль, визуализация, проектирование.

## USE OF THREE-AXIS MEASUREMENT TECHNOLOGY IN REVERSE ENGINEERING PROCESS AND CREATION OF ACCURATE 3D-MODELS OF OBJECTS

Trotskaya A.E., Homma M.A.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The use of three-axis measuring technology helps to control parts in workshops and laboratories. This ensures process stability and quality control at all levels - from simple inspections to more in-depth analysis of shape and position tolerances.

**Key words:** CAD models, control, visualization, design.

*Адрес для переписки: Троцкая А.Э., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь  
e-mail: bntu@bntu.by*

Обратный инжиниринг – это процесс, в ходе которого выявляются технологические свойства объекта, устройства или системы технологических свойств путем всестороннего анализа его структуры, функций и операций. В машиностроении этот процесс направлен на создание виртуальной 3D-модели на основе существующего физического объекта для его копирования или улучшения.

Обратный инжиниринг может включать в себя:

– выезд конструктора на место для проведения замеров;

– измерение деталей с использованием оптических и контактных координатно-измерительных машин;

– 3D сканирование;

– построение на основе данных, полученных при обмере объемных математических моделей и изготовление прототипа по технологии быстрого прототипирования;

– создание твердотельной 3D модели;

Методы эволюционировали от ручных измерений до использования возможностей, заложенных в технологиях трехмерной измерительной техники.

Процесс обратного инжиниринга используется уже много веков. Вероятно, римляне были

первыми применившими этот метод, о чем рассказал величайший греческий историк своего времени Полибий.

Трехкоординатная измерительная техника новейшего поколения имеет оптические датчики, это обеспечивает высокую точность и стабильность измерений. КИМ могут применяться для контроля прототипов, контроля на основе статистического анализа, быстрых измерений, полного анализа деталей путем сканирования и сравнения с моделями CAD.

Потребность в реверс-инжиниринге возникает в самых различных ситуациях. Например, старые приборы, которые работали долгое время вышли из строя, им необходим ремонт, но выпуск запчастей больше не осуществляется. Реверсивный инжиниринг позволяет сократить время разработки изделий. Он позволяет быстро получить цифровое изображение изделия в трехмерной форме и экспортировать данные для быстрого создания прототипа, оснастки или производства.

Иногда детали дорабатываются в процессе использования, после чего необходимо вносить изменения в CAD-модели. Во многих случаях CAD-модели существуют, но недоступны по различным причинам, связанным с конкуренцией и ком-

мерческой тайной. Важным направлением использования реверс-инжиниринга также являются сравнительные тесты и конкурентный анализ.

Для реинжиниринга объекта необходимо знать его физические размеры. Если размеры не будут предельно точными, то изделие, созданное методом обратного проектирования, не будет точной копией оригинала и может не работать.

Размеры деталей можно тщательно измерить вручную с помощью штангенциркуля, микрометра и других подобных инструментов. В современном реверсивном проектировании координатно-измерительная машина (КИМ) позволяет измерить геометрию объекта быстрее и точнее, чем традиционные ручные инструменты.

Типичная КИМ измеряет по трем ортогональным осям –  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , работая в трехмерной системе координат. Каждая ось имеет шкалу, указывающую положение точки на этой оси.

В КИМ используются контактные датчики для регистрации точек при контакте датчика с поверхностью измеряемой детали. Точки измеряются по очереди, пока КИМ не соберет достаточно данных для определения длины, диаметра, угла и других геометрических элементов. Машина считывает данные с контактного датчика по указанию оператора или программного обеспечения. Затем координаты  $XYZ$  каждой точки используются для определения размеров и положения.

КИМ может измерять размеры как при контакте с объектом, так и с помощью лазерного сканера. Собранные облако точек преобразуется в поверхности. Эти данные измерений экспортируются в *CAD*-пакет для уточнения, анализа и создания траекторий режущего инструмента.

*STL (stereo-lithography)* – формат файлов, родной для программного обеспечения *CAD* для стереолитографии, широко используемый в отраслях *3D*-печати и автоматизированного проектирования. Файлы *STL* содержат только геометрию поверхности трехмерного объекта без каких-либо цвета, текстуры и других распространенных атрибутов *CAD*-модели. Они также содержат необработанную неструктурированную триангулированную поверхность с единичными нормальными и вершинами (упорядоченными по правилу правой руки) с использованием трехмерной декартовой системы координат.

Данные сканирования – это, по сути, набор трехмерных точек. Они могут быть преобразованы в сетку путем соединяя соседние точки с помощью треугольников, которые являются простейшей единицей грани. Основное преимущество сетки заключается в том, что это очень наглядный формат, позволяющий хорошо визуализацию формы объекта.

При сканировании визуализация проще с помощью облака точек. Облака точек могут содер-

жать больше информации, поскольку для эквивалентных данных файлы получаются более легкими. Визуализация не так велика, как в случае с сеткой, но может быть выполнена для больших объектов. Для создания *STL*-файла потребовалось бы очень много времени для создания, без гарантии качества.

Лазерный линейный сканер может быть прикреплен к измерительной руке для проведения бесконтактных измерений. Лазерный сканер может быстро снимать данные для создания облака точек, состоящего из миллионов точек данных, которые могут быть использованы для создания файла *CAD*.

Для определения положения объектов в трехмерном пространстве используется процесс триангуляции. На измеряемую поверхность проецируется лазерная полоса, излучаемая диодом. Камера смотрит на лазерную полосу под известным углом и определяет местоположение каждой точки на линии. Высокая частота кадров и высокое разрешение датчиков изображения повышают скорость сканирования и позволяют получать облака точек высокой плотности, способные распознавать более мелкие детали.

Преимущества добавления лазерного сканирующего датчика к измерительному манипулятору заключаются не только в скорости сбора большого количества данных, но и в простоте использования и снижении риска задеть деталь во время измерения.

Развивающейся тенденцией является использование искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения при реинжиниринге. Эти технологии способны автоматизировать отдельные части процесса проектирования, что приведет к повышению эффективности и точности.

Несомненно, у реверсивного инжиниринга большое будущее. Рабочие процессы реверсивного инжиниринга будут становиться все более эффективными и сложными по мере того, как технологические инновации будут влиять как на измерительные приборы, так и на специализированное программное обеспечение.

#### Литература

1. Бутакова, Е.Р. Проектирование в машиностроении с помощью обратного инжиниринга / Е.Р. Бутакова // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб. : НИЦ МС, 2019. – № 2. – С. 14–16.
2. Владимиров, Д.А. Обратный инжиниринг как основной инструмент в повышении эффективности проведения НИОКР / Д.А. Владимиров // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 9(111). – С. 28–30.
3. Сахаров, В.А. Обратный инженеринг: подходы, преимущества и применение / В.А. Сахаров, М.В. Лапский // Информационные науки и технологии. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 53–59.

4. Чернов, Р.С., Применение методов реверс-инжиниринга для решения производственных задач в современных реалиях / Р.С. Чернов, К.А. Мишкина,

Ю.О. Стреляная // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2022. – № 10. – С. 48–51.

УДК 618

## АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ЭЛЕКТРОННЫМ СИСТЕМАМ ДОСТАВКИ НИКОТИНА И НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ТАБАКА В ХОДЕ КОНТРОЛЬНОЙ (НАДЗОРНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Давыдова Е.А., Фильченко Н.Т.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы обеспечения качества и безопасности электронных систем доставки никотина (ЭСДН), нагревательного табака, роль надзорных органов в пресечении распространения некачественной никотинсодержащей продукции на территории Республики Беларусь. Предложены методы совершенствования контрольной (надзорной) деятельности за ЭСДН и нагревательного табака.

**Ключевые слова:** качество и безопасность, электронные системы доставки никотина, нагревательный табак, надзорные органы.

## ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS FOR ELECTRONIC DELIVERY SYSTEMS OF NICOTINE AND HEATING TOBACCO DURING CONTROL (SUPERVISION) ACTIVITIES

Davydova E.A., Filchanko N.T.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The article discusses issues of ensuring the quality and safety of electronic nicotine delivery systems (ENDS), heating tobacco, the role of supervisory authorities in suppressing the spread of low-quality nicotine-containing products in the territory of the Republic of Belarus. Methods for improving control (supervisory) activities for ENDS and heated tobacco are proposed.

**Key words:** quality and safety, electronic nicotine delivery systems, heating tobacco, regulatory authorities.

*Адрес для переписки: Давыдова Е.А., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь  
e-mail: bntu@bntu.by*

В современном обществе все чаще встречаем людей, выдыхающих большие клубы пара из специального устройства. Это новое течение среди молодежи, которые считают, что парение достойная альтернатива сигаретам. Изготовители и продавцы утверждают, что дым безопасен, а вкусовой состав не вызывает привыкание.

Но все чаще в разных источниках появляется информация о том, что вред курения электронных сигарет соизмерим с курением обычных.

В состав жидкостей для ЭСДН входит пропиленгликоль и глицерин, при нагревании распадающиеся с образованием акролеина и формальдегида, которые обладают токсичными свойствами; природный никотин заменен химическим; ароматизаторы, которые имеют накопительный эффект, приводят к заболеваниям дыхательных путей.

В 2021 году состоялся доклад Всемирной организации здравоохранения о глобальной табачной эпидемии «Решение проблемы новых и появляющихся изделий». Это уже восьмой в серии докладов ВОЗ, который отслеживает состояние табачной эпидемии и меры по борьбе с ней. В докладе говорится, что до тех пор, пока независимые исследования не покажут реальный профиль

риска электронных систем доставки никотина, правительствам следует проявлять осторожность. Их действия должны основываться на научную обоснованность данных, а не на маркетинге. 111 стран тем или иным образом регулируют ЭСДН: 32 из этих стран запрещают продажу ЭСДН, а остальные 79 стран приняли законодательные меры для регулирования ЭСДН [1].

На сегодняшний день на территории стран Евразийского экономического союза действует технический регламент ТР ТС 035/2014 «Технический регламент на табачную продукцию», объектом которого являются сигареты, сигары и сигариллы, а также различные виды табака и другая подобная продукция. Вейпы, электронные сигареты и нагревательный табак – совершенно иной продукт, действие данного регламента на него не распространяется. Потребителям предлагается продукция с неограниченным содержанием никотина, отсутствием информации о вреде ее употребления, что является реальной угрозой жизни и здоровью человека.

В связи с этим страны ЕАЭС вводят ограничения самостоятельно, что нередко приводит к разногласиям.