

УДК 621.039.9

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИЗВЕСТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЯДЕРНОГО МАТЕРИАЛА В ЦЕЛЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИХ НЕЗАКОННОМУ ОБОРОТУ

¹⁾ Горин Н.В., ¹⁾ Воронин Е.В., ¹⁾ Пачурин Д.В., ¹⁾ Стародумова И.Г.,
²⁾ Орлова Н.Ю., ²⁾ Орлов Ю.А., ²⁾ Горбатов И.В.

¹⁾ *Российский Федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия*
²⁾ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Снежинский физико-технический институт, Снежинск, Россия*

Предложен способ дистанционной идентификации путем применения технологии 3D-сканирования на этапе сбора информации о неизвестной детали. Показано, что, в отличие от цифровой фотографии, использование 3D-модели на основе трехмерного скан-образа неизвестной детали упрощает анализ ее внешнего вида (формы, конструктивных особенностей), позволяет более точно определить важные идентификационные параметры (геометрические размеры и плотность) и, как следствие, дает возможность с большей вероятностью прогнозировать ее происхождение. Продемонстрирована методика сравнительного анализа отсканированной детали и ее предполагаемого базового прообраза путем совмещения соответствующих 3D-моделей средствами программного комплекса *Creo Parametric*.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе оперативных мероприятий у правоохранительных органов может возникнуть необходимость срочной идентификации обнаруженной неизвестной детали с целью опровергнуть или подтвердить подозрения о ее изготовлении из ядерных материалов. Зачастую, в отсутствии дополнительной оперативной информации, единственно возможной остается идентификация техническими средствами для ответа на вопросы «Что это?», «Чье это?» и «Где изготовлено?». Первым из этих вопросов занимается ядерная криминалистика (nuclear forensics), которая нацелена на идентификацию материала (ядерный или не ядерный?). В область ее задач входят: измерение спектров, определение изотопного и элементного состава, обогащения, плотности и примесей. Однако, одно лишь определение материала детали как «ядерного» не поможет установить место ее изготовления, эксплуатации и хищения и, поэтому, не сможет предотвратить возможное продолжение незаконного оборота.

На заводах-изготовителях на каждую деталь ядерного материала оформляют паспорт и если идентифицировать деталь, а не материал, то из ее паспортных данных станут известны перечисленные выше характеристики материала и эксплуатирующее предприятие. Возможно, что таких предприятий окажется несколько, так как разные предприятия могут эксплуатировать одинаковые детали, выпускаемые разными заводами-изготовителями. Однако, их не может быть много, и информация будет полезна правоохранительным органам – как только проведена идентификация, пусть даже с небольшой неопределенностью, то становятся понятны дальнейшие шаги по противодействию незаконному обороту.

С целью обеспечить возможность идентификации деталей из ядерных материалов РФЯЦ-ВНИИТФ предложил создать единую базу данных на основе паспортных данных всех деталей из ядерных материалов [1-8]. Такая база должна содержать чертежи и трехмерные модели деталей, данные о материале каждой из них, его обогащении, плотности, элементном составе, легирующих добавках и примесях, а также информацию об изготовителях деталей и историю эксплуатации. Эксперт проводит измерения с неизвестной деталью, сравнивает свои результаты с величинами в одноименных полях в базе данных по каждой детали ЯМ и при их совпадении считает, что неизвестная деталь идентифицирована и он получает доступ к паспортам детали с указанием мест ее изготовления и истории эксплуатации. Одновременно эксперт получит из базы данных трехмерную модель детали, построенную по ее чертежу, и для надежности идентификации необходимо сравнить ее со сканированной трехмерной моделью. Их совпадение в пределах тех или иных погрешностей – дополнительный аргумент в пользу идентификации.

В результате эксперт получает ответы на все три поставленных выше вопроса.

На первом этапе эксперту достаточно проанализировать совокупность форм детали (тел и полостей) и их размеры, т.е. провести идентификацию «по внешнему виду». Далее возможно более сложное измерение плотности материала, определение обогащения, элементного и изотопного состава.

Ранее рассмотрены особенности идентификации неизвестной детали из ядерного материала при ручном обращении [1-6] и при дистанционной идентификации [7, 8] с использованием цифровых фотографий детали, пересылаемых с места задержания в идентификационный центр.

В настоящей работе силами двух научных центров РФЯЦ-ВНИИТФ и НИЯУ МИФИ независимо, с использованием разного оборудования и программного обеспечения, продемонстрирована эффективность применения технологии 3D-сканирования в алгоритме дистанционной идентификации. При этом были учтены и смоделированы особенности условий сканирования вне специализированных центров, не позволяющие получить качественный скан-образ.

МОДЕЛИ ДЕТАЛЕЙ ЯДЕРНОГО МАТЕРИАЛА

Для демонстрации дистанционной идентификации на основе трехмерного скан-образа детали был использован набор макетов из инертного материала – полусфера, полусфера с четырьмя полукруглыми отверстиями у основания и одним отверстием в полюсе, конус, плоский диск с центральным отверстием и обломок графитовой детали (рисунок 1).

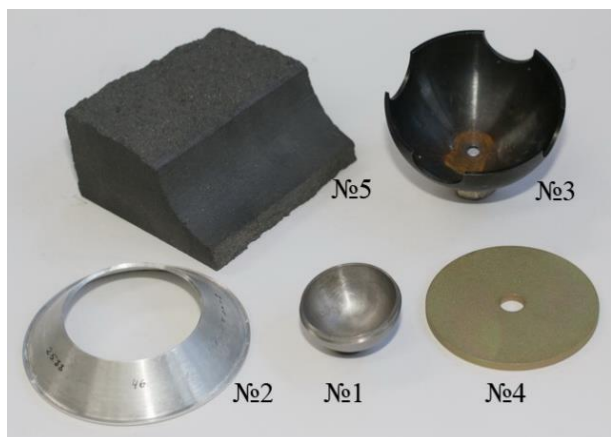


Рисунок 1. Внешний вид макетов деталей ядерного материала

Данный набор внешне различных макетов выбран для того, чтобы продемонстрировать анализ различных форм с использованием 3D-моделей, сформировать у эксперта представления об облике детали, а также отработать навык восстановления формы исходной детали по форме ее фрагмента.

Кроме того, макеты изготовлены из разных материалов – стали, сплава алюминия и графита. Такое разнообразие позволит продемонстрировать возможность быстрого и точного определения плотности материала отсканированного макета с использованием его 3D-модели. Следует отметить, что возможность дистанционной идентификации по мелким особенностям конструкции, когда один линейный размер на два порядка отличается от другого, продемонстрирована ранее в методе с использованием цифровых фотографий [7, 8].

ПРОЦЕСС СКАНИРОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ

Трехмерные сканеры используются во многих областях, в частности, они успешно решают задачи реверсивного инжиниринга, контроля формы объектов, для оценки износов оснастки, создания упаковки, точно повторяющей форму изделия, таким образом,

они необходимы во всех случаях, когда требуется зарегистрировать форму объекта с высокой точностью за короткое время. Они позволяют упростить и ускорить процесс, исключить большой объем ручного труда, уменьшить количество используемого мерительного инструмента, повысить точность, а также выполнить задачи, которые другими способами решить очень трудоёмко или невозможно. В настоящее время технологии сканирования с учётом особенностей объекта в России не разработаны и для процесса идентификации объектов не используются.

Для идентификации использована технология объёмного сканирования. Ее преимущества:

- малое время получения 3D-модели изделия;
- высокая степень детализации 3D-модели;
- возможность последующей обработки и модернизации 3D-модели отсканированного объекта.

На примерах трех макетов продемонстрируем возможности идентификации в различных условиях с применением трехмерного сканирования. Для сканирования использован бесконтактный способ с тектурированным светом, т.е. оптическая технология сканирования (3D-сканер *RangeVision Standart+*).

Процесс получения 3D-модели детали посредством ее трехмерного сканирования состоит из следующих этапов:

- Получение единичных сканов (среднее время подсветки сканируемого объекта 7 с, время обработки данных скана 5 с). Количество единичных сканов зависит от сложности контролируемой поверхности;
- Объединение (сшивание) единичных сканов в единую трехмерную структуру (скан-образ) с использованием специализированных программ;
- Очистка скан-образа от шумов;
- Создание 3D-модели на основе скан-образа.

В качестве усложнений условий сканирования выбраны наиболее часто встречающиеся на нестационарных пунктах контроля, т.е. не в лабораторных условиях – изменяющаяся в процессе сканирования освещённость и наличие вибраций, которые приводят к появлению в скане участков поверхности с неопределёнными координатами.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛУСФЕРЫ (№1)

Сканирование макета полусферы проведено в наилучших лабораторных условиях, в результате чего получено минимальное количество точек с неопределёнными координатами.

В левой части рисунка 2 представлена базовая 3D-модель, построенная по чертежу исходной детали, ее поверхность обозначена серым цветом. В правой части рисунка – трехмерный скан-образ детали, голубым цветом обозначена надежно отсканированная поверхность, а темным – области точек с неопределёнными координатами, т.е. – неотсканированные. Суммарная площадь таких неопределённых областей невелика, не более 5–8 % от общей площади поверхностей детали. Это позволяет безошибочно опреде-

лить форму отсканированной детали и особенности ее конструкции. Так, например, у основания детали виден центрирующий буртик для ее соединения с ответной частью, и эксперт может допустить существование второй аналогичной полусферы с ответным буртиком.

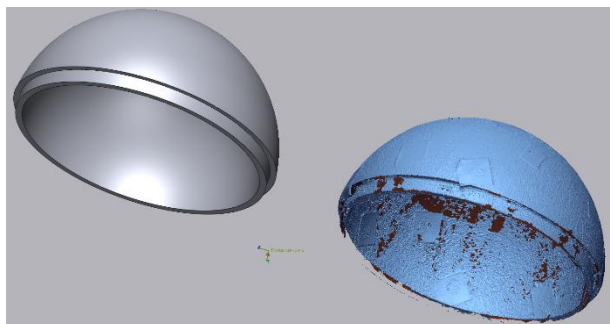
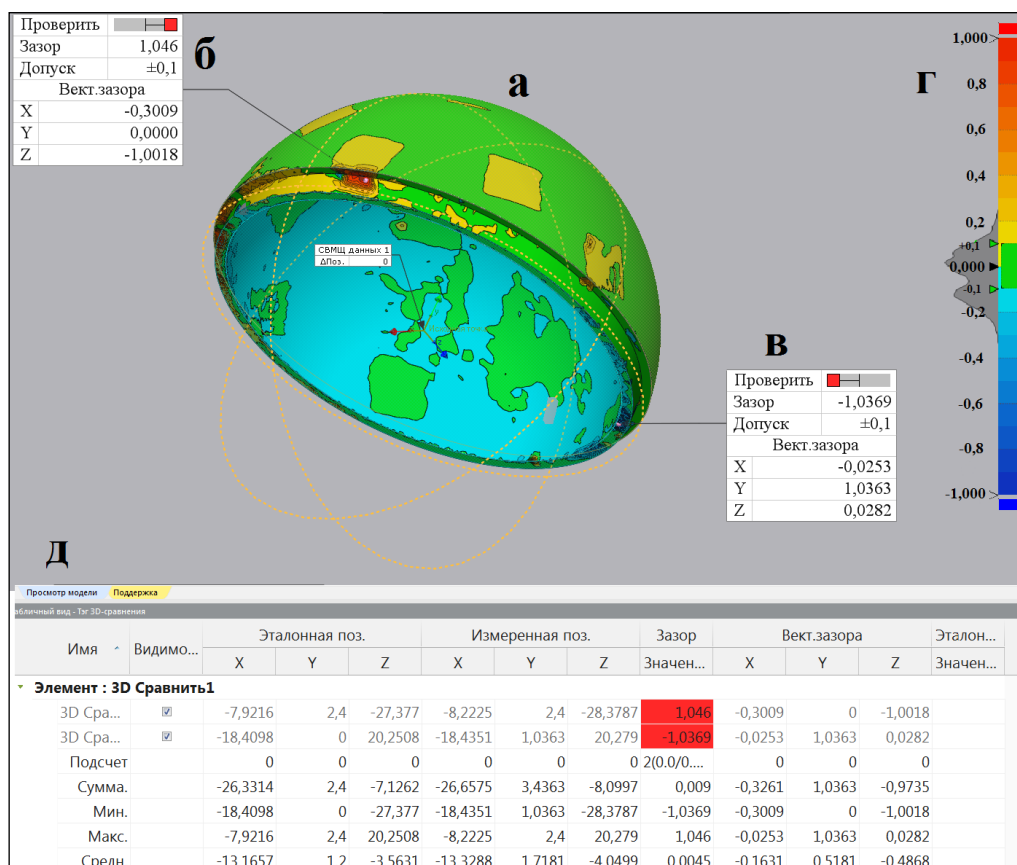


Рисунок 2. Базовая 3D-модель и скан-образ полусферы (№1)

Форма детали достаточно простая и для получения ее 3D-модели достаточно 20 сканов, при этом было произведено сканирование как наружной, так и внутренней поверхности детали. Точность сканиро-

вания составляет 0,02 мм. В результате объединения (сшивания) единичных сканов получен результирующий трехмерный скан-образ (рисунок 2), на основе которого в дальнейшем создана 3D-модель. С использованием CAD-программ проведено измерение габаритных размеров 3D-модели, определение ее объема (таблица 1) и проанализировано их совпадение с соответствующими геометрическими параметрами базовой 3D-модели. Результат указанного анализа приведен на рисунке 3.

Логично предположить, что деталь изначально была изготовлена с хорошим качеством, и допуски размеров не превосходили 0,1 мм. В результате незаконного оборота деталь могла получить повреждения. Фактические размеры такой детали будут отличаться от базовых. Поэтому сравнительный анализ геометрии целесообразно проводить для различных величин размерных допусков, а также, учитывая, что модель поврежденной поверхности представляет собой сложную, многоэлементную структуру, определять статистические характеристики измеряемых для нее параметров и, таким образом, получать наиболее достоверные результаты (рисунок 3).



а – цветовая идентификация сравнения детали;
б, в – отклонение определённых точек от трехмерной модели, построенной по чертежу;
г – цветовая шкала сравнения;
д – числовые значения габаритных размеров.

Рисунок 3. Количественные результаты сравнения 3D-моделей полусферы (№1)

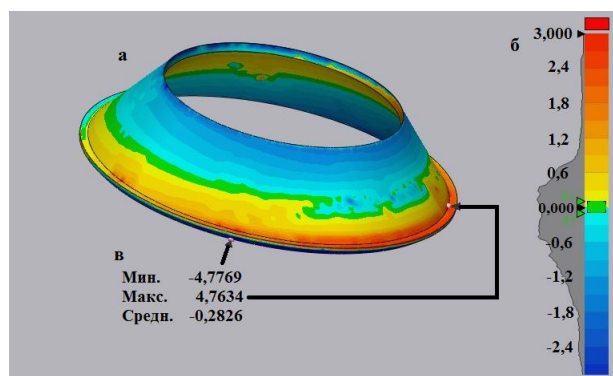
По результатам сравнительного анализа (рисунок 3) видно, что наружная поверхность исследуемой модели на 86 % находится в поле допуска, внутренняя поверхность на 43 % находится в поле допуска, а остальная часть имеет размер несколько меньший в основном на 0,05–0,07 мм, но не более чем на 0,1 мм. Это можно трактовать как износ внутренней поверхности. Доверительный интервал действительных отклонений всей поверхности полусферы составляет $\pm 0,18$ мм ($P=0,96$). Используя специализированную программу, можно оценить наибольшие отклонения геометрии исследуемой 3D-модели от базовой. Вкладка «б» – наибольшее значение отклонений «из тела» (+1,046 мм). В реальности это может означать, например, налипание герметика. Вкладка «в» – наибольшее значение отклонений «в тело» (–1,0369 мм), что можно трактовать, как механическое повреждение. Участки поверхности с данными отклонениями чётко определены и это позволяет предположить причины их возникновения.

На основании вышесказанного можно утверждать, что исследуемая 3D-модель полусферы (№1) соответствует своему базовому прототипу, и эксперт может принять решение о ее успешной идентификации.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОНУСА (№2)

Для идентификации конуса были смоделированы ухудшенные условия сканирования, и для большего числа точек не были определены координаты. Суммарная площадь неотсканированных поверхностей больше, чем при сканировании предыдущей детали – около 15–18 % от общей площади поверхностей детали, тем не менее, скан правильно передает облик детали – тонкостенный конус с углом раствора 90 градусов.

Результат сравнительного анализа исследуемой 3D-модели конуса (№2) от соответствующей базовой 3D-модели показан на рисунке 4.



а – цветовая идентификация сравнения совмещенных моделей;
б – цветовая шкала сравнения;
в – числовые значения отклонений размеров исследуемой 3D-модели от базовой 3D-модели.

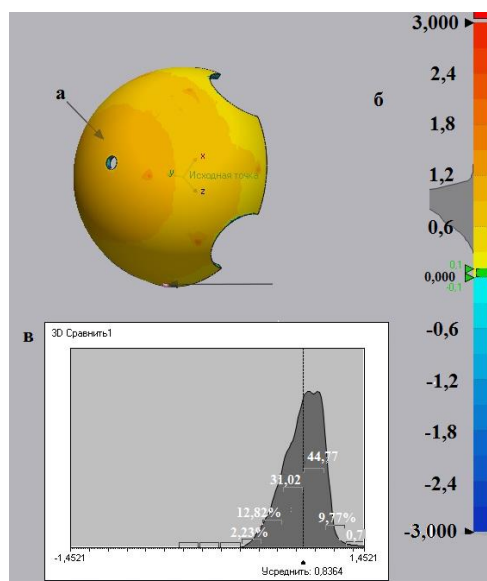
Рисунок 4. Результаты сравнения 3D-моделей конуса (№2)

Несмотря на ухудшенное качество сканирования, в данном случае, как и для полусферы, можно утверждать, что исследуемая 3D-модель конуса (№2) соответствует своему базовому прототипу, и эксперт может принять решение об успешной идентификации.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛУСФЕРЫ С ОТВЕРСТИЯМИ (№3)

Для идентификации полусферы с отверстиями (№3) условия сканирования макета были еще более ухудшены. Суммарная площадь неотсканированных участков поверхностей получилась большей, чем при сканировании конуса – около 38% от общей площади поверхностей детали, тем не менее, скан правильно передал облик детали – тонкостенная полусфера с одним отверстием в полюсе и четырьмя полукруглыми отверстиями у основания. Характерная форма полусферы предполагает существование второй, ответной детали, при совмещении с которой образовывалась бы цельная сферическая оболочка с замкнутыми круглыми отверстиями по экватору. Такое предположение позволяет отыскать в базе данных 3D-модель соответствующей исходной детали.

Результат сравнительного анализа исследуемой 3D-модели полусферы с отверстиями (№3) и соответствующей базовой 3D-модели показан на рисунке 5.



а – цветовая идентификация сравнения совмещенных моделей;
б – цветовая шкала сравнения;
в – числовые значения отклонений размеров исследуемой 3D-модели от базовой 3D-модели.

Рисунок 5. Результаты сравнения 3D-моделей полусферы с отверстиями (№3)

По результатам анализа полусферы с отверстиями видно (рисунок 5), что, как и в предыдущих примерах, 3D-модель отсканированной полусферы с отверстиями соответствует базовой 3D-модели, и эксперт может принять решение об успешной идентификации детали.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЛОМКА ГРАФИТОВОЙ ДЕТАЛИ (№5)

При идентификации обломка (рисунок 6) эксперти необходимо сначала восстановить облик целой детали по ее фрагменту и только потом идентифицировать предполагаемую исходную деталь. При визуальном исследовании обломка логично допустить, что исходная деталь геометрически представляла собой параллелепипед с отверстием. Такое допущение позволяет отыскать возможный вариант соответствующей детали в базе данных. Алгоритм действий эксперта в этой ситуации, его взаимодействие с базой данных по деталям ядерного материала рассмотрен в [7].

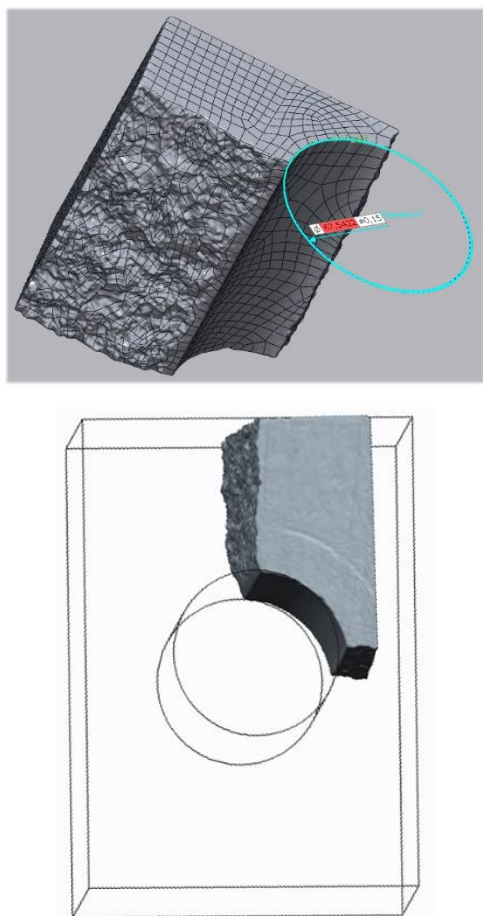


Рисунок 6. Определение диаметра цилиндрического участка 3D-модели макета графитового обломка и результат встраивания в базовую модель предполагаемой исходной детали

Диаметр отверстия базовой модели предполагаемой исходной детали составляет 67 мм. Поверхность графитового обломка сильно повреждена, наименее поврежденным является участок цилиндрической поверхности, который и должен быть исследован с ис-

пользованием полученной 3D-модели. Диаметр цилиндрического участка не может быть измерен стандартными методами. Для этого на основе вершин выступающих неровностей по границе предполагаемого отверстия строится вспомогательная окружность. Включая в себя граничные точки цилиндрической поверхности, такая окружность позволяет определить приближенное значение ее диаметра как $67,54 \pm 0,15$ мм (рисунок 6). С учетом погрешности метода измерения и предполагаемого истирания поверхности, можно говорить о совпадении диаметров цилиндрических поверхностей для модели отсканированного обломка и для соответствующей базовой детали. В завершении проводится встраивание исследуемой 3D-модели обломка в каркас базовой 3D-модели предполагаемой исходной детали, менее поврежденная цилиндрическая поверхность используется как опорная (рисунок 6). Результатом проведенных исследований 3D-модели отсканированного обломка является подтверждение достоверности сделанного предположения об исходной детали.

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА ОТСКАНИРОВАННЫХ МАКЕТОВ

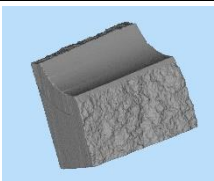
Одно из преимуществ использования трехмерного сканирования в нашем методе – возможность достаточно просто программным способом вычислять объем 3D-модели отсканированной детали для дальнейшего определения плотности детали по известному объему и массе. Совпадение значений плотности детали и плотности ядерного материала является самым надежным идентификационным критерием.

В таблице 1 представлены результаты измерений геометрических размеров и определения плотностей с использованием 3D-моделей отсканированных макетов. Взвешивание макетов проведено на лабораторных весах с погрешностью не более 0,01 г.

Результаты измерений размеров 3D-моделей отсканированных макетов, объемов этих моделей и полученные значения плотностей соответствуют базовым величинам в пределах допустимых погрешностей. Действительно, полусфера изготовлена из стали, конус из сплава алюминия, обломок из графита, табличные значения их плотностей $\sim 7,85$, $\sim 2,7$ и $1,7 \dots 2,3$ г/см³, соответственно, и вычисленные плотности деталей соответствуют плотностям перечисленных материалов. Однако, плотность полусферы с отверстиями (№3) определена с большой погрешностью из-за неточного вычисления объема 3D-модели с большой долей (38 %) неотсканированных участков поверхности. Учитывая успешную идентификацию данной детали по остальным признакам, можно принять такую погрешность за допустимый предел при измерениях в неспециализированных идентификационных центрах, т.е. в местах задержания детали.

**ПРИМЕНЕНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИЗВЕСТНЫХ ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ЯДЕРНОГО МАТЕРИАЛА В ЦЕЛЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИХ НЕЗАКОННОМУ ОБОРОТУ**

Таблица 1. Результаты ручных измерений для макетов деталей и измерений программным способом для 3D-моделей отсканированных макетов

Внешний вид макета	Параметр	В базовой 3D-модели	Для 3D-модели отсканированной детали	Для макета (вручную)
	$\varnothing_{\text{наруж.}}$, мм	74	73,72	74
	$\varnothing_{\text{внутр.}}$, мм	10	10,57	10,5
	h, мм	4	4,25	4,2
	V, см ³	16,9	17,72	—
	M, г	132,67	—	132,11
	ρ , г/см ³	7,85	7,46	—
	R ₁ , мм	30	29,71	29,95
	S, мм	3	2,54	2,95
	V, см ³	14,5	16,405	—
	M, г	113,82	—	124,36
	ρ , г/см ³	7,85	7,57	—
	R ₁ , мм	40	40,315	40,35
	R ₂ , мм	38	38,44	38,35
	R _{1 отв.} , мм	2,5	2,8	2,75
	R _{2 отв.} , мм	12,5	12,5	12,4
	V, см ³	17	15,59	—
	M, г	133,45	—	134,99
	ρ , г/см ³	7,85	8,66	—
	$\alpha_{\text{раствора}}$, град	90	91,04	90
	$\varnothing_{\text{наруж.}}$, мм	96	96,558	96,4
	$\varnothing_{\text{внутр.}}$, мм	57	57,6	57,2
	V, см ³	10,4	9,982	—
	M, г	28,08	—	28,08
	ρ , г/см ³	2,7	2,81	—
	L ₁ , мм	100	99,46	—
	L ₂ , мм	170	170,4	—
	D, мм	67	67,5422	—
	V, см ³	—	311,4	—
	M, г	—	—	520,71
	ρ , г/см ³	2	1,67	—

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с использованием макетов деталей разных форм проведено моделирование действий эксперта в идентификационном центре и показана возможность успешной дистанционной идентификации деталей с применением технологии их трехмерного сканирования.

3D-модель, созданная на основе трехмерного скан-образа, даже при 38 % неотсканированных участков поверхности, позволяет правильно передать облик и особенности конструкции детали.

Использование технологии трехмерного сканирования позволяет достаточно быстро и с высокой точностью создавать 3D-модели отсканированных деталей, которые в последующем пригодны для проведения всевозможных контрольных операций - измерение, сравнение и пр.

Трехмерные скан-образы низкого качества, полученные в месте задержания детали, могут быть переданы в специализированные центры для дальнейшей квалифицированной обработки.

Использование технологии трехмерного сканирования вместо цифровой фотографии неизвестной детали значительно повышает надежность и точность ее идентификации.

С применением 3D-модели, созданной на основе трехмерного скан-образа, возможно быстрое и точное определение плотности отсканированной детали, что в большинстве случаев является важнейшим параметром идентификации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить специалистов РФЯЦ-ВНИИТФ – Ф.Ф. Исламгулова за предоставленные макеты деталей и С.В. Кузнецову за изготовление их цифровых фотографий, руководителя НИЯУ МИФИ О.В. Линник за содействие в проведении работ и специалиста «Центра аддитивных и лазерных технологий» А.А. Пильщикова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горин Н.В., Чуриков Ю.И., Щербина А.Н., Бобылев А.И., Ровный С.И., Архангельский Н.В., Комков О.В., Павшук В.А., Вурим А.Д., Гайдайчук В.А. Идентификация топливных деталей исследовательских реакторов // Атомная энергия, 2007, т.102, вып.4, с.233-237.
2. Дерявко И.И., Чернядьев В.В., Горин Н.В., Черепнин Ю.С., Тухватулин Ш.Т. Особенности идентификации стержневых твэлов ЯРД // Вестник НЯЦ РК, выпуск 4, стр. 95-105, октябрь 2010.
3. Бакланов В.В., Гныря В.С., Горин Н.В., Дерявко И.И., Кенжин Е.А., Колбаенков А.Н., Павшук В.А., Тухватулин Ш.Т., Черепнин Ю.С., Чернядьев В.В. Идентификация цирконий-урановых твэлов исследовательского реактора ИВГ.1М // Вестник НЯЦ РК, выпуск 2(46), стр.91-97, 2011.
4. Горин Н.В., Чуриков Ю.И., Корнеев А.А., Волошин Н.П., Архангельский Н.В., Простаков В.И., Дикарев В.С., Павшук В.А., Абакин С.С., Шведов О.В., Дерявко И.И., Колбаенков А.Н. Возможности идентификации твэлов/ТВС исследовательских реакторов СССР и США первого поколения // Атомная энергия, 2012, т.113, вып.4, с.218-222.
5. Горин Н.В., Корнеев А.А., Липилина Е.Н., Чуриков Ю.И., Архангельский Н.В. База данных по исследовательским реакторам как инструмент противодействия незаконному обороту ядерных материалов // Вестник НЯЦ РК, выпуск 1 (53), стр.94-102, 2013.
6. Горин Н.В., Волошин Н.П., Корнеев А.А., Липилина Е.Н., Стародумова И.Г., Простаков В.И., Чуриков Ю.И., Шмаков Д.В., Скаков М.К., Чернядьев В.В. Система тренинга экспертов по идентификации неизвестных топливных деталей исследовательских реакторов, как инструмент противодействия незаконному обороту ядерных материалов // Вестник НЯЦ РК, выпуск 3 (67), стр.23-27, 2016.
7. Горин Н.В., Корнеев А.А., Пачурин Д.В., Стародумова И.Г., Липилина Е.Н., Чуриков Ю.И., Шмаков Д.В. Дистанционная идентификация неизвестных деталей ядерного материала, как инструмент противодействия их незаконному обороту // Препринт РФЯЦ-ВНИИТФ, №256, 2017.
8. Горин Н.В., Корнеев А.А., Пачурин Д.В., Стародумова И.Г., Липилина Е.Н., Чуриков Ю.И., Шмаков Д.В. Дистанционная идентификация неизвестных деталей ядерного материала, как инструмент противодействия их незаконному обороту // Вестник НЯЦ РК, выпуск 4 (72), стр. 110-117, 2017.

ЯДРОЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДАН ЖАСАЛҒАН БЕЛГІСІЗ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЗАҢСЫЗ АЙНАЛЫМЫНА ҚАРСЫ ТҮРҮ МАҚСАТЫНДА ОЛАРДЫ ҚАШЫҚТАН СӘЙКЕСТЕНДІРУГЕ АРНАЛҒАН 3D-СКАНЕРЛЕУДІ ҚОЛДАНУ

¹⁾ Н.В. Горин, ¹⁾ Е.В. Воронин, ¹⁾ Д.В. Пачурин, ¹⁾ И.Г. Стародумова, ²⁾ Н.Ю. Орлова, ²⁾ Ю.А. Орлов, ²⁾ И.В. Горбатов

¹⁾ *Ресей Федералдық ядролық орталығы, Академик Е.И. Заббахин атындағы Бүкілресейлік техникалық физика ғылыми-зерттеу институты, Снежинск, Ресей*

²⁾ *«МИФИ» Ұлттық ядролық зерттеу университеті, Снежинск физика-техника институты, Снежинск, Ресей*

Белгісіз бөлшек туралы ақпаратты жинау кезеңінде 3D-сканерлеу технологиясын қолдану жолымен қашықтан сәйкестендіру тәсілі ұсынылды. Цифрлық фотосуреттерге қарағанда белгісіз бөлшектің үшөлшемді скан-бейнесі негізінде 3D-моделдеуді қолдану оның сыртқы түрін (пішінін, конструктивтік ерекшеліктерін) талдауды жеңілдететіні, маңызды сәйкестендіру параметрлерін (геометриялық өлшемдері мен тығыздығы) неғұрлым нақты анықтауға мүмкіндік беретіні көрсетілді және нәтижесінде оның шығу тегін нақтырақ болжауға мүмкіндік береді. Сканерленген бөлшекті және оның болжамды базалық түпбейнесін *Creo Parametric* программалық кешен құралдарымен сәйкес 3D-моделдерді қиыстыру жолымен салыстырмалы талдау әдістемесі көрсетілді.

3D-SCANNING USED FOR REMOTE IDENTIFIABILITY OF NUCLEAR MATERIAL COMPONENTS AS A NUCLEAR ILLICIT TRAFFICKING COUNTERMEASURE

¹⁾ N.V. Gorin, ¹⁾ E.V. Voronin, ¹⁾ D.V. Pachurin, ¹⁾ I.G. Starodumova, ²⁾ N.Yu. Orlova, ²⁾ Yu.A. Orlov, ²⁾ I.V. Gorbатов

¹⁾ *Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia*

²⁾ *Snezhinsk Physics and Technology Institute of the National Research Nuclear University “MEPhI”, Snezhinsk, Russia*

3D-scanning at the stage of collecting data on an unknown component is proposed as a method to improve the remote identification efficiency. In contrast to the digital photo image, the 3D-model based on the 3D-scanned image of an unknown component is shown to simplify analyzing the external view of this component (shape, design features), to allow higher-precision determination of its important identification parameters (geometrical dimensions and density), and as a consequence, higher-probability prediction of its origin. The comparative analysis of the scanned component and its anticipated basic preimage through superposition of 3D-models by means of *Creo Parametric* software package is demonstrated.