

УДК 629.12

Васькин Сергей Владимирович¹, к.т.н., доцент
e-mail: serwaskin@mail.ru

Муравьев Виктор Александрович¹, магистрант
e-mail: muraviev.vic@yandex.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В настоящее время одной из основных тенденций промышленного производства является повышение качества продукции при снижении ее себестоимости. Одним из путей, обеспечивающих достижение этой цели является автоматизация и контроль производственных процессов. Для решения этой задачи находят широкое применение современные средства контроля измерений на основе 3D технологий.

Ключевые слова: проектирование судовых систем, 3D технологии, автоматизация процесса производства, изготовление трубопроводов.

К основным преимуществам использования современных 3D технологий можно отнести:

- повышение точности изготовления отдельных элементов и изделий в целом, что приводит к повышению качества и конкурентоспособности продукции, и снижению количества образующихся отходов.
- повышение темпов производства за счет автоматизации и оптимизации технологических процессов;
- снижение времени и трудоемкости контроля качества выпускаемой продукции.

К такого рода технологиям можно отнести следующие [1]:

- Контрольно-измерительные системы на основе лазерных трекеров;
- Системы 3-х мерного лазерного сканирования;
- Системы IGPS;
- Декартовые манипуляторы;
- Измерительные системы на основе тахеометров;
- Системы 3D печати.

Рассмотрим основные из этих технологий более подробно.

Лазерные трекеры

Лазерные трекеры являются универсальными, удобными и популярными метрологическими приборами по разным причинам, например, сравнительно небольшой размер приборов, портативность, повторяемость и высокая точность измерений. Также эти устройства имеют возможность быстро и в реальном времени измерять большие объемы данных в трехмерных координатах, и неудивительно, что они стали так популярны на производстве.



Рисунок 1 – Примеры лазерных трекеров.

Лазерные трекеры измеряют трехмерные координаты своего рабочего объема с высокой повторяемостью и точностью. Дальность действия современного лазерного трекера достигает 160 метров, и в большинстве случаев при работе в пределах разумного диапазона измерения точность лазерных трекеров составляет $25 \div 30$ мкм ($0,025 \div 0,030$ мм). Как и большинство измерительных приборов, которые измеряют с применением угловых датчиков, точность трекера снижается с увеличением расстояния до цели. Обычно для лазерных трекеров эта ошибка составляет 0.5 угловых секунд [2].

Технология трекера основана на комбинации двух методов: измерителя расстояния (абсолютного дальномера и/или интерферометра) для измерения абсолютного расстояния и угловых энкодеров для измерения двух механических осей лазерного трекера – вертикальной и горизонтальной. Лазерные трекеры излучают лазерный луч малой мощности на светоотражающую цель (отражатель), которая либо удерживается руками, либо закрепляется на измеряемом объекте. Луч лазера отражается от цели и снова попадает в трубу трекера в то же место, из которой он излучается. Измеритель расстояния (интерферометр или дальномер) анализирует волну луча, когда он снова попадает в трекер, и измеряет расстояние от трекера до светоотражателя. Лазерный трекер также учитывает уровень земли (привязку к горизонту), который является важным компонентом для многих юстировочных и регулировочных работ [7].

В типовой последовательности измерений оператор перемещает светоотражатель в желаемое место, а лазерный трекер следит за ним, при этом лазерный луч остается зафиксированным в центре светоотражателя. При перемещении отражателя лазерный трекер записывает расстояние, и два угла. Эти полярные координаты преобразуются в декартовы координаты, которые записываются в метрологическом программном обеспечении для последующей обработки [2].

Для лазерных трекеров существует ряд хороших программных решений для координатной метрологии. С помощью любой из программ собранные данные координат можно преобразовать в геометрические объекты, такие как точки, плоскости, сферы или цилиндры, окружности и т.п. Затем эти элементы могут быть привязаны к определенным базовым элементам для определения допусков положения, формы, параллельности, перпендикулярности, соосности, округлости и цилиндричности и т.п. Как правило, эти данные могут быть предоставлены сразу же, что позволяет сравнивать параметры изделий с их CAD моделями в режиме реального времени.

Системы IGPS

Indoor GPS или iGPS – система внутрицехового позиционирования, занимает особое положение в среде 3D измерительной техники. Ее название пришло из навигационных систем глобального позиционирования (GPS – Global Positioning Systems), так как данная система использует схожие принципы определения координат. Однако сразу стоит отметить, что iGPS никоим образом не связана с системами GPS, она является полностью автономной и не использует сигналы спутников, находящихся на орбите [6].

Термин «Indoor» определяет круг использования данной системы, как преимущественно внутрицеховой системы, эти системы вполне успешно работают и в открытом пространстве.



Рисунок 2 – лазерный передатчик (трансммиттер) iGPS.

Основное назначение данной системы – контроль геометрических параметров крупногабаритных объектов в реальном режиме времени. Характерные для данной системы задачи – это, прежде всего, стыковка отсеков, контроль геометрии, мониторинг при динамических испытаниях объектов и многое другое. Данную систему от трекера выгодно отличает возможность получать координаты большого количества точек в реальном режиме времени до 40 раз в секунду, что позволяет не только наблюдать, но и управлять динамическими процессами.

Основой iGPS является лазерный передатчик (трансммиттер). Каждый передатчик испускает два веерообразных луча приблизительно перпендикулярных горизонтальной плоскости. Каждый луч имеет раскрытие приблизительно $\pm 30^\circ$ и наклонен относительно вертикальной оси на 30° .

Оптическая головка передатчика вращается, таким образом, лучи охватывают все измерительное пространство. Скорость вращения каждого передатчика – уникальный идентификатор, который позволяет отслеживать приемники и выделять сигналы от каждого конкретного передатчика. Третий оптический сигнал излучается передатчиком в начале

каждого круга вращения. Этот широкий стробирующий импульс служит сигналом синхронизации для приемников. Вертикальный раскрыв лучей, горизонтальный раскрыв строба и дальность для лазеров и оптического строба определяют измерительное пространство, покрываемое одним передатчиком [6].

Приемник, находясь в измерительном пространстве, обнаруживает и обрабатывает эти сигналы от каждого видимого передатчика. Начальная обработка состоит из измерения времени между лазерными засветками приемника и времени между последней лазерной засветкой и стробом. Эти данные называются интервалами. С того момента, как известны характеристики передатчика, интервалы могут быть преобразованы в угловые данные, которые представляют горизонтальные углы, образующиеся между двумя лазерными засветками и стробом и следующей лазерной засветкой. Так как угол наклона между двумя веерообразными лучами известен, угловые данные пересчитываются к азимутальной и угломестной координате относительно передатчика [6].

Сочетание величин азимута и угла места, измеренных от приемника к передатчику, определяет линию в пространстве, проведенную от передатчика к приемнику. Когда приемник видит два и более передатчика, положение приемника может быть вычислено, используя метод триангуляции, при условии, что передатчики объединены в сеть с известными точками стояния. Процесс установки и монтажа системы iGPS определяет положение и ориентацию каждого передатчика во внутренней сети.

Имея угловые данные от двух и более передатчиков, и зная положение и ориентацию каждого передатчика, можно вычислить положение приемника в 3D измерительном пространстве. Эти координаты вычисляются при помощи встроенного программного обеспечения и могут быть переданы в сторонние программы обработки. Кроме того, существует возможность получать координаты приемников при помощи мобильных смартфонов и планшетных ПК.

Поскольку число используемых передатчиков фактически неограниченно, размеры и форма объекта измерений может быть полностью определена потребителем. Увеличение количества передатчиков (особенно при работе с крупными объектами) улучшает точность и надежность измерений, при этом не возникает необходимости в переустановке и перезагрузке измерительного оборудования. Такая гибкость является ключевой для этой технологии.

Тахеометры

Под тахеометрами (ТМ) подразумевают измерительные приборы для получения данных об углах (вертикальных, горизонтальных), расстояниях, превышениях определенных геометрических параметров. Данный прибор работает одновременно как теодолит и светодальномер, фактически является совокупностью этих измерителей. Тахеометр позволяет проводить измерения при наличии препятствий наподобие веток, листьев деревьев, в условиях с плохой видимостью, чрезмерной освещенностью [4].



Рисунок 3 – примеры тахеометров.

Для тахеометра для постановки пикетов (установки точек) надо использовать мерную рейку, поэтому команда состоит из двух человек. С роботизированными устройствами может управляться один человек.

С помощью тахеометров можно выполнить следующие измерения:

- углы (любые — по вертикали, горизонтали);
- длину объектов, расстояния, промежутки;
- превышения указанных выше параметров.

Измерителем определяют отклонения положений, оценивают размещение строения и его элементов на местности по отношению к другим объектам, наклоны, усадку и прочее [4].

В основном тахеометр применяют для определения координатных точек местностей, полученные данные используются для постройки планов с графикой рельефа, для топографических съемок. Цель – упростить, ускорить геодезические работы по сравнению с другими инструментами.

Основными сферами применения тахеометров являются:

- топография (создание карт) и геодезия (планы местностей, рельефа), кадастр;
- разработка недр, природных ресурсов;
- научные исследования гор, других природных и штучных объектов;
- службы МЧС;
- работа с координатами, маркшейдерами;
- строительство, дорожные работы, археология и подобное.

Системы 3D печати

3D печать – это процесс создания физического объекта на основе трехмерной цифровой модели, обычно путем последовательного наложения множества тонких слоев материала. Он превращает цифровой объект (его представление в САПР) в его физическую форму, добавляя материал слой за слоем.

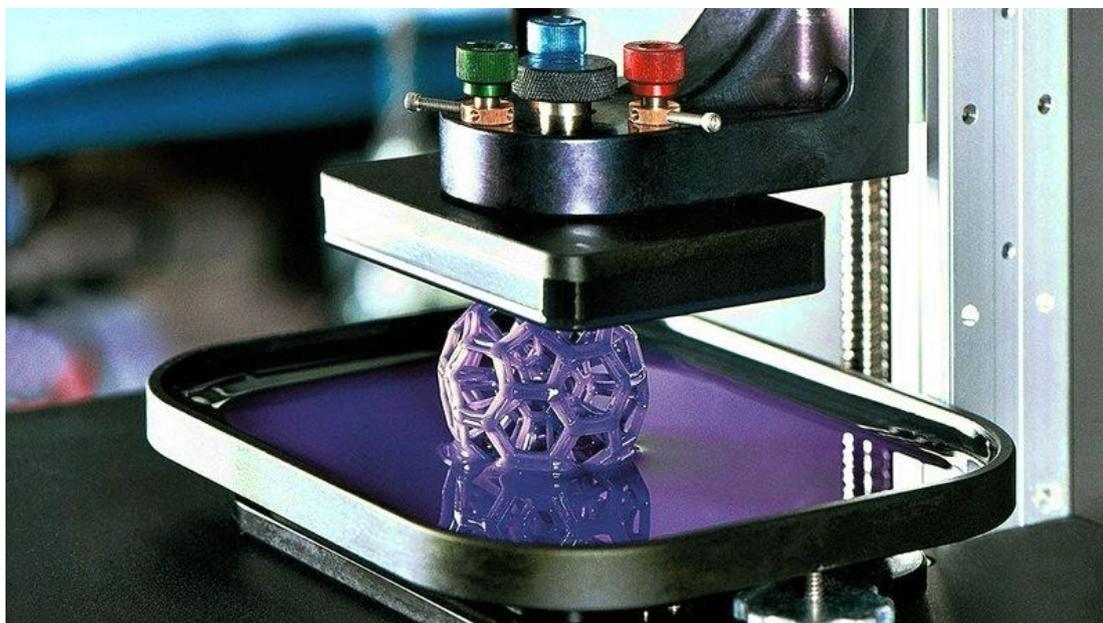


Рисунок 4 – печать модели на 3D принтере.

Существует несколько различных методов 3D печати. Более подробно мы остановимся на этом в одном из следующих разделов. 3D печать приносит с собой два фундаментальных нововведения: манипулирование объектами в их цифровом формате и создание новых форм путем добавления материала.

Технологии повлияли на современную историю человечества, вероятно, больше, чем какая-либо другая область. Начиная от лампочки и двигателя до автомобилей, самолетов и всемирной сети. Эти технологии во многих отношениях сделали нашу жизнь лучше, открыли новые возможности, но обычно требуется время, иногда даже десятилетия, прежде чем станет очевидным польза этой технологии.

3D печать – это аддитивный производственный процесс. И это действительно ключевой момент, потому что это радикально другой метод производства, основанный на передовых технологиях, в которых детали аддитивно собираются слоями в масштабе менее миллиметра. Такое производство принципиально отличается от любых других существующих традиционных технологий.

Существует ряд ограничений для традиционного производства, которое широко основывалось на человеческом труде. Однако мир производства изменился, и автоматизированные процессы, такие как механическая обработка, литье и формование, являются (относительно) новыми, сложными процессами, для которых требуются машины, компьютеры и робототехника.

Все эти технологии имеют один недостаток - для производства требуется большое количество материала и после процесса остается много отходов.

Для многих отраслей традиционные процессы проектирования и производства накладывают ряд непреодолимых ограничений, среди которых дорогостоящее оборудование, инструменты и необходимость дополнительной сборки сложных деталей. Упрощая идею

логию 3D печати, ее можно сравнить с процессом автоматического создания чего-либо из блоков Lego.

3D печать – это эффективная технология, которая поощряет и стимулирует инновации свободу проектирования, при этом не требуя дорогостоящих инструментов, что снижает непомерно высокие затраты и время выполнения заказа. 3D печать становится энергоэффективной технологией, которая может обеспечить экологическую эффективность как с точки зрения самого производственного процесса, так и на протяжении всего срока эксплуатации продукции.

В последние годы 3D печать вышла за рамки промышленного прототипирования и производства, поскольку технология стала более доступной для небольших компаний и даже отдельных лиц. Когда-то принадлежавшие огромным многонациональным корпорациям менее функциональные 3D принтеры теперь может приобрести практически любой желающий.

Это открыло технологию для гораздо более широкой аудитории, вследствие чего на рынке появляется все больше и больше оборудования, материалов, приложений и услуг.

Указанные технологии находят применение во многих отраслях промышленности. Так, например, лазерные трекеры успешно применяются в автомобилестроении обеспечивая решение для точных измерений на всех этапах проектирования и производства, в металлургии для проверки и калибровка прессов, в энергетической промышленности для проверки ядерных, ветряных, гидроэнергетических, паровых или газовых агрегатов.

Эти методы нашли свое применение и в судостроении.

Судостроительная отрасль остается одной из самых консервативных в современном мире. Связано это прежде всего с индивидуальным подходом к постройке каждого судна. Даже суда, построенные серийно, имеют между собой некоторые различия.

Тем не менее, поиски путей оптимизации и автоматизации производственных процессов в судостроении никогда не прекращаются.

Огромную роль в производственном процессе играет человеческий фактор. Отсюда два основных направления для автоматизации: либо исключить человеческий фактор, либо обеспечить его точный контроль. Для решения этих задач в судостроении все шире применяются технологии 3D измерений. Разнообразие представленных на рынке устройств позволяет применять их на разных этапах производства: это и 3D печать отдельных элементов систем коммуникаций, это разметка и измерительный контроль при постройке корпуса судна от изготовления деталей до контроля секций, блоков и формирования корпуса на стапеле, и конечно 3D моделирование при проектировании и создании рабочей конструкторской документацией.

Отдельно хотелось бы затронуть работу с трубопроводами судовых систем. Дело в том, что даже на абсолютно одинаковых судах одной серии с абсолютно одинаковым расположением всех механизмов и оборудования конфигурация трубопроводов систем будет отличаться.

При использовании традиционных методов изготовления элементов трубопроводных систем при отсутствии технологических эскизов и чертежей трубы изготавливают, собирают и гнут по проволочным шаблонам, снимаемым с места. При этом часто изготавливают сразу два комплекта труб, один из которых устанавливают на головное судно, а второй служит эталоном для изготовления труб на последующие суда серии. По комплекту для головного судна в необходимых случаях выполняют еще шаблоны-макеты, т. е. проволочные шаблоны с прикрепленными к ним фланцами и отрезками. По шаблону-макету производят сборку узлов труб для последующих судов серии [3]. Недостатком такого способа высокая трудоемкость и недостаточная точность, необходимость дополнительной доработки детали «по месту».

Целесообразно разделять изготовление серийно повторяющихся трубопроводных элементов систем и элементов изготавливаемых для каждой системы индивидуально. Наличие таких «нестандартных» элементов связано с периодическими отклонениями в конструкции судна, последовательности выполнения механо-монтажных работ, различиях получаемых от поставщиков комплектующих изделий и оборудования. Для типовых элементов, которые изготавливаются массово применение 3D технологий позволяет автоматизировать процесс их проектирования и изготовления. В частности, на ПАО «Завод «Красное Сормово» в 2018 году для трубо-меднецкого участка был приобретен сканер-манипулятор марки ROMER Absolute Arm SI со встроенным 3D сканером RS4.



Рисунок 5 – сканер-манипулятор ROMER Absolute Arm SI.

Таблица №1 - Технические характеристики сканера-манипулятора ROMER Absolute Arm SI [5]

73 серия	Модель	Рабочая зона	Повторяемость	Пространственная точность	Точность сканирования	Масса
	7330 SI	3,0 м	± 0.079 мм	$\pm 0,100$ мм	$\pm 0,119$ мм	8,9 кг

Сканер имеет следующие ключевые функциональные особенности [5].

Рабочая температура: от 0 до +50°C.

RDS. В собственном программном обеспечении RDS используется технология SMART, позволяющая выполнять полевые проверки системы контролировать температуру и ударные нагрузки.

Лазерное сканирование. Измерительная рука ROMER Absolute Arm доступна с полностью интегрированным высококлассным лазерным сканером или внешним 3D сканером,

для решения самых сложных задач по сканированию. ROMER Absolute Arms единственная сканирующая система на рынке, точность которой полностью сертифицирована.

Стабильность и автоматическое распознавание щупов. «Интеллектуальные» быстросменные щупы – смена контактных щупов в любое время без необходимости повторной калибровки. Специальный разъем щупов ROMER Absolute Arm позволяет производить их смену прямо во время измерений.

Моментальная обратная связь. ROMER Absolute Arm обеспечивает моментальную акустическую и тактильную обратную связь с оператором, позволяющую использовать ROMER Absolute Arm в самых тяжелых промышленных условиях

Абсолютные энкодеры. Инициализация энкодеров при запуске руки – это уже вчерашний день. Просто включите прибор и начните измерения.

Измерительный объем. Рука Romer Absolute Arm доступна в семи версиях с разной длиной от 1,2 до 4,5 м с возможностью перебазировки, переустановки.

Сертификация. Все манипуляторы ROMER Absolute Arm, включая системы сканирования, проходят сертификацию B89.4.22. Также возможна дополнительная сертификация согласно стандартам VDI/VDE 2617-9. Модель ROMER Absolute Arm Compact сертифицируется на выбор по ISO 10360-2 или B89.4.22.

Zero G. Противовес Zero G минимизирует момент, действующий на основание руки. Это позволяет использовать различные варианты установки, предоставляя полный контроль над инструментом.

SmartLock. Если рука Romer Absolute Arm не используется, она может быть безопасно зафиксирована в нерабочем положении. SmartLock также позволяет фиксировать руку в любом промежуточном положении.

Модули расширения Feature Pack. Благодаря модульной системе Feature Pack, функциональность абсолютной руки Romer может быть легко расширена. Модули расширения Feature Pack позволяют использовать функцию передачи данных (включая данные сканирования) по Wi-Fi, работать полностью автономно от встроенного аккумулятора.

Сканер представляет собой универсальное решение для 3D сканирования, позволяя выполнять высокоточное быстрое сканирование для любых типов изделий и задач. Полностью интегрированный сканер позволяет сканировать различные типы поверхностей.

Система позволяет начинать работу без предварительного прогрева.

Нет необходимости наносить на сканируемую поверхность матирующий спрей.

Сканирование и контактные измерения могут производиться одновременно.



Рисунок 6 – Ручка манипулятора с установленным сканером и щупом.

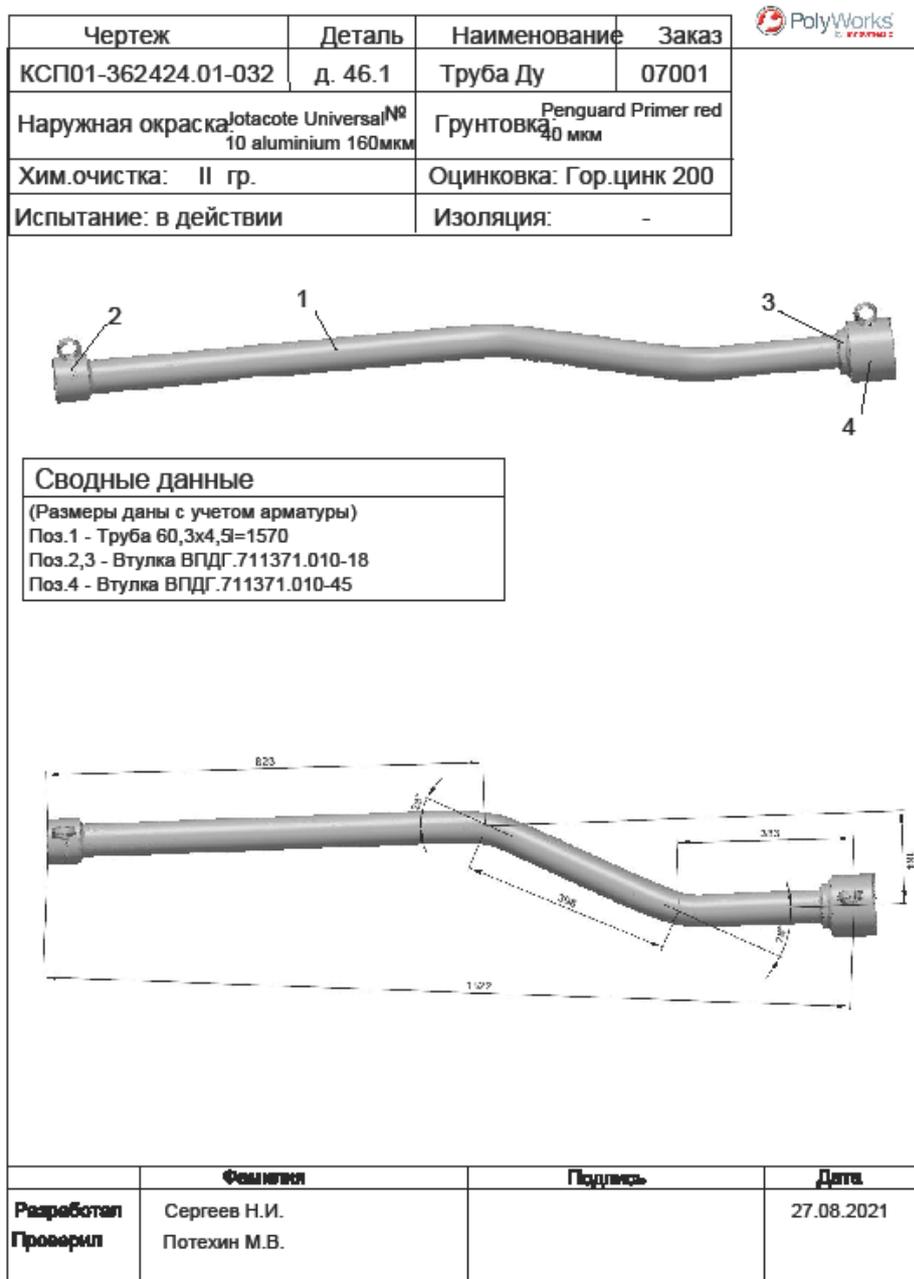
Целью приобретения являлось применение его для организации сквозного производства элементов трубопроводов судовых систем. При помощи манипулятора предполагалось создание трехмерной модели по типовому образцу и рабочей документации на ее основе.

В качестве программного обеспечения манипулятора используется 3D редактор PolyWorks позволяющий обрабатывать модели, получаемые при сканировании. Процесс работы с манипулятором делится на несколько основных этапов:

1. Сканирование поверхности – деталь устанавливается на плите на минимально необходимое количество точек опоры (так как любые опорные элементы будут отсканированы вместе с деталью), после чего с помощью встроенного 3D сканера RS4 выполняется сканирование поверхности детали. Этот процесс занимает наибольшее количество времени относительно остальных этапов, так как для создания четкой детализированной поверхности нужно медленно, желательно несколько раз проходить лучом сканера по детали. На экране компьютера модель поверхности во время сканирования строится в режиме реального времени.
2. Сканирование при помощи щупа – устройство переводится в режим контактных измерений, устанавливается щуп. В плоскости фланца (или свободного конца трубы) щупом фиксируются 3 точки. Если труба прямая без изгибов, то также фиксируются 3 точки на противоположном конце трубы. Если труба имеет изгибы, то фиксируются 3 точки в месте окончания прямолинейного участка, выбирается режим измерения изгиба, где также фиксируются по 3 точки в плоскостях начала и конца гнутого участка, а также фиксируются 3 точки по длине участка. В результате строится схематичная модель из элементарных цилиндрических элементов.
3. Совмещение – обе полученные модели (поверхность трубы и модель, полученная по измерениям щупом) накладываются друг на друга. Таким образом проверяется точность выполненных измерений.
4. Формирование эскиза – если модели совпадают, то с помощью готового шаблона автоматически формируется эскиз со всей необходимой информацией для изготовления детали.

Важным обстоятельством является то, что деталь в процессе сканирования перемещать нельзя, как и сам манипулятор. Манипулятор действует в собственной строго установленной системе координат, и любое смещение неизбежно приведет к ошибке и несоответствию моделей друг другу. В случае если деталь имеет габариты превышающие рабочую зону манипулятора предусмотрен режим переноса: рядом с манипулятором произвольно ставятся 3 магнитных флажка, с помощью специального щупа фиксируется их положение, далее манипулятор можно переместить, снова фиксировать щупом положение флажков, после чего можно продолжить сканирование.

Для формирования эскиза 2 модели используются со следующей целью: модель поверхности является эталоном и используется в эскизе для наглядного представления детали, модель же, полученная измерениями щупом, позволяет автоматически сформировать обмеренный эскиз с необходимыми данными для изготовления детали.



1/1

Рисунок 7 – Пример эскиза детали трубопровода судовой системы.

В качестве примера формирования трехмерных моделей элементов судовых систем с использованием 3D сканера-манипулятора на рис. 8 приведен эскиз фасонного участка судового трубопровода. Поскольку труба сканируется в полностью собранном и сваренном виде, части, изготавливаемые по собственным чертежам, обозначаются отдельными позициями. В среднем, получение модели объекта по натурному образцу составляет около одного часа.

Наилучшим образом манипулятор применяется для сканирования деталей трубопроводов трюмных систем и систем гидравлических приводов оборудования судна. Выполнение эскизов типовых элементов ускоряет процесс изготовления деталей, позволяя в не-

которых случаях по аналогии с листовыми деталями на серийных судах выполнять задел на 2-3 заказа вперед. Эскизы после проверки отделом главного технолога попадают сразу на участок сборки труб, где детали изготавливаются и собираются.

Однако полностью избежать ошибок и переделок не удастся, поскольку в процессе строительства судна конфигурация некоторых элементов систем меняется.

Также стоит отметить, что применение 3D сканера-манипулятора без повышения общей технологической оснащенности производства имеет малый эффект. Введение одной современной единицы оборудования в устаревший технологический процесс неэффективно при отсутствии комплексной системы автоматизации производства, включающей автоматизацию процесса изготовления трубопроводных элементов. В результате, сборщикам труб порой проще прибегнуть к старому методу и изготовить шаблон-макет.

В процессе эксплуатации манипулятора были выявлены следующие основные проблемы. При длительной непрерывной работе (например, при сквозном сканировании большого количества изделий) проявляется перегрев и сбои в работе оборудования. Щупы, применяемые в данной модели, достаточно хрупки и в условиях работы в цехе подвержены случайным повреждениям. В результате для работы сканера было выделено отдельное помещение во избежание случайных повреждений.

Заключение

Таким образом, на основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. внедрение 3D-измерительных технологий позволяет повысить эффективность производственного процесса изготовления элементов судовых трубопроводных систем;
2. применение только указанного оборудования без комплексной автоматизации производства не дает полномасштабного положительного эффекта;
3. для надежной работы 3D измерительных систем необходимо бережная эксплуатация и подготовка соответствующего квалифицированного персонала.

Список литературы:

1. Корнев А.В. - «Актуальность внедрения современной аппаратуры размерного контроля на принципах лазерного сканирования на основных этапах судостроительного производства» - журнал «Судостроение», выпуск №4, 2013г.
2. «Проминспект» – измерения лазерным трекером, возможности и преимущества, официальный сайт, <https://prominspect.ru/>.
3. «Изготовление трубопроводов и монтаж систем на судне», официальный сайт, <https://sea-man.org/>.
4. НГКИ, 3D инженерные изыскания, официальный сайт, <https://www.ngce.ru/>.
5. 3D CONTROL measuring systems - официальный сайт производителя сканера-манипулятора ROMER Absolute Arm, <https://3dcontrol.ru/>.
6. ООО «Нева Технолоджи», инновационные решения в метрологии и системах неразрушающего контроля, официальный сайт, <https://nevatec.ru/>.
7. Гаврилюк Л.П. - «Обоснование выбора методики контроля отклонений от круговой формы корпусных конструкций» - журнал «Судостроение», выпуск №2, 2007г.

AUTOMATION OF HYDRAULIC CALCULATIONS OF SHIP SYSTEMS

Sergey V, Vas'kin, Dmitriy S. Kozhevnikov

Annotation. Currently, one of the main trends in industrial production is to improve the quality of products while reducing its cost. One of the ways to achieve this goal is automation and control of production processes. To solve this problem, modern measurement control tools based on 3D technologies are widely used.

Keywords: design of ship systems, 3D technologies, automation of the production process, production of pipelines.