

УДК 621.643 – 777.6
DOI:

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПЛОСКОСТИ ЗАГОТОВОК ОТВОДОВ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

Н.С. Любимый, Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров, И.А. Одобеско
ФГВБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. На сегодняшний день существуют различные способы производства отводов труб. При производстве одной из наиболее трудоёмких операций применяют разметку отводов под последующий раскрой и механическую обработку. Разметочные операции выполняют при помощи мерительных инструментов и специализированной оснастки. Выполнение указанных операций производится вручную, что влечет за собой снижение точности и повышение трудоемкости процесса. В данной статье авторы предлагают метод определения скрытой базы отвода – средней плоскости – с использованием антропоморфного робота. В дальнейшем результаты работы позволят произвести виртуальный расчет положения рабочего органа антропоморфного робота при разметке и сгенерировать траекторию его перемещения, что в конечном итоге позволит снизить трудоемкость и повысить точность операции разметки.

Материалы и методы. Предполагается в качестве измерительной базы использовать скрытую базу, а именно среднюю плоскость отвода. Робот калибруется исходя из положения базовой плоскости (плаза) и методом итерационного сравнения длин дуг окружностей выбирает дугу с наименьшей длиной, которая и будет лежать в средней плоскости. Определение длин дуг будет осуществляться триангуляционным методом при помощи интерферометра.

Результаты. Результатом научно-исследовательской работы является разработка методики определения скрытой базы в виде средней плоскости.

Обсуждение и заключение. Предложенная методика определения скрытых баз отвода позволит создать автоматизированную систему разметки и раскроя отводов, что в свою очередь позволит существенно сократить время выполнения операции, а также снизить трудоемкость производства на данной стадии технологического процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: производство подъемно-транспортных машин, производство труб, робототехника, автоматизация, оптический контроль, оптические датчики, КУКА, отвод, средняя плоскость, интерферометр.

БЛАГОДАРНОСТИ. Коллектив авторов выражает благодарность анонимному рецензенту научного рецензируемого журнала «Вестник СИБАДИ» за вдумчивые комментарии и уместные критические замечания предыдущей версии статьи, а также за ценные советы, позволившие доработать статью и конкретизировать её тематику.

© Н.С. Любимый, Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров, И.А. Одобеско



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

TECHNIQUE FOR DETERMINING AVERAGE PLANE OF PIPE TAPS BY A TRIANGULATION METHOD USING AN ANTROPOMORPHIC ROBOT

N.S. Lyubimyi, B.S. Chetverikov, M.S. Chepchurov, I.A. Odobesko
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia

ABSTRACT

Introduction. Nowadays there are various manufacture methods of pipe taps. One of the most laborious operations during manufacture is a marking of pipe taps for subsequent machining. Work layout operations are performed using special tool ware and outfit. These operations are performed manually and it leads to the decrease in accuracy and to the increase of laboriousness. The authors suggest the method of determination of the latent base of pipe tap (average plane) using an anthropomorphic robot. The results of research would help to make the virtual calculation of tool position of the anthropomorphic robot for marking and to generate the robot trajectory. Ultimately, such research would also decrease laboriousness and increase accuracy of marking operation.

Materials and methods. The authors suppose to use latent base, namely the average plane of the pipe tap as a measuring base. The robot is calibrated from the base plane placement and chooses the shortest circular arc by comparative approach. Therefore, such shortest arc would form the average plane. The authors carry out the determination of the curve line length by the triangulation method using the interferometer.

Results. The result of the research is the technology development for determination of latent base in the average plane form.

Discussion and conclusions. The proposed method of latent bases determination of pipe tap would allow making the automated system of marking of pipe taps. Moreover, such method would help to reduce time of performing operations as well as to decrease the manufacture laboriousness on the following stage of technological process.

KEYWORDS: manufacture of lifting machines, pipes' manufacture, automation, optical checking, optical sensors, KUKA, pipe taps, average plane, interferometer.

ACKNOWLEDGMENTS. The authors express their sincere gratitude to the anonymous reviewer of the Russian Automobile and Highway Industry Journal for thoughtful and critical comments on the first draft of the paper, as well as for valuable pieces of advice that help to finalize the manuscript.

© N.S. Lyubimyi, B.S. Chetverikov, M.S. Chepchurov, I.A. Odobesko



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие техники и технологий строительства, производства, переработки сырья приводит к потребностям использовать более мощные машины и оборудование, которые имеют сложные гидравлические и пневматические системы, транспортирующие рабочую или технологическую жидкость, а также газ под высоким давлением. Зачастую требуется спроектировать и изготовить сложную по конфигурации и пространственному положению магистраль, работающую под высоким давлением и при высоких температурах. Для этого применяют жесткие и гибкие трубопроводы. К первым относятся сварные конструкции из труб и фитингов, ко вторым – рукава высокого давления. Гибкие рукава высокого давления удобны в производстве машин и используются на подвижных блоках и агрегатах при передаче гидравлической жидкости или газа на небольшие расстояния, однако их цена из-за сложности технологии производства и применяемых материалов высока. В случае же когда машина или комплекс имеют стационарную структуру и располагаются на площади в значительном удалении друг от друга и от насосной станции, технологическая жидкость или газ имеет высокую температуру, целесообразнее применять магистральные трубопроводы, изготовленные в виде сварной конструкции из труб^{1, 2, 3} [1]. К таким технологическим комплексам могут относиться цементобетонные и асфальтобетонные заводы. Асфальтобетонный завод (АБЗ) представляет собой целый комплекс машин, зданий и сооружений для приготовления асфальтобетонных и битумо-минеральных смесей, которые используются при строительстве и ремонте асфальтового покрытия. Одним из основных составляющих АБЗ является битумное хозяйство, которое состоит из системы резервуаров и трубопроводных сетей, обеспечивающих разгрузку битума, хранение, обезвоживание, нагрев до рабочей температуры и последующую подачу к дозирующим устройствам асфальтосмесительных установок. Разработка способа и ме-

тодики, позволяющей полностью или частично автоматизировать процесс разметки и последующей обработки элементов трубопроводов позволит уменьшить трудоёмкость и повысить точность монтажа систем битумопроводов АБЗ при их строительстве и ремонте, а также других технологических комплексов, применяемых в дорожном строительстве.

При производстве соединительных частей трубопроводов, устанавливаемых для разветвления, поворотов, переходов на другой диаметр используют различные тройники, переходы, отводы и пр. Данные изделия в первую очередь делятся по показателю сечения на малые (от 5 до 102 мм), средние (от 102 до 426 мм) и большие (свыше 426 мм)¹. Кроме того, они классифицируются по таким показателям, как материал изготовления, профиль поперечного сечения, размер, способ соединения и тип изоляции⁴.

Стальные трубы и фитинги подразделяются на шовные и бесшовные. По специфике производства они могут быть сварными, штампованными, сварно-штампованными, кованными, ковано-сверленными и др.⁵.

Как правило, для разметки труб и фитингов малого диаметра используется универсальная технологическая оснастка, которая позволяет разметить и механически обработать элементы трубопроводов, выдержав требуемые углы, исключить торцевое биение торцов обработанных труб и фитингов. Сама технология соединения сваркой на таких размерах сечений позволяет компенсировать погрешности торцовки и радиальное биение и получить надежное соединение. Другая ситуация возникает, когда сечение трубопровода имеет средний и большой размер, тогда неперпендикулярность торца трубы к её оси может привести к значительному торцевому биению, выходящему за пределы допуска.

Так, например, конструкция отводов крутоизогнутых типа 3D ($R \approx 1,5 DN$), разметку которых можно производить по предлагаемой методике, регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 17375–2001 (ИСО

¹ ГОСТ 17375–2001. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Отводы крутоизогнутые типа 3D ($R \approx 1,5 DN$). М. : Изд-во стандартов, 2002. 18 с.

² Добронравов С.С., Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. М. : Высшая школа, 2006. 445 с.

³ Галдин Н.С. Элементы объемных гидроприводов мобильных машин: справочные материалы : учебное пособие. Омск : Изд-во СибАДИ, 2005. 127 с.

⁴ РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М. : Изд-во стандартов, 2003. 58 с.

⁵ Добронравов С.С., Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. 445 с.

3419–81). Условный проход таких отводов согласно стандарту находится в диапазоне от 15 до 1000 мм [2, 3].

Разметкой называется перенесение на трубу с рабочего чертежа размеров, необходимых для изготовления детали или элемента трубопровода. Для этого используют плазовые методы производства. Согласно ГОСТ 2.419–68, под плазировкой понимают такой метод производства, при котором детали изготавливают, размечают или контролируют на основании сборочных чертежей, шаблонов, макетов, реек, эскизов и чертежей, снимаемых с плаза. Плаз представляет собой площадку, выложенную чугунами или стальными плитами, на которой в натуральную величину вычерчивают контур заготовки, который с использованием измерительных инструментов (угольников) переносится на заготовку. Разметка является важной и ответственной операцией, требующей тщательного исполнения.⁶ Разметчик-трубопроводчик должен уметь читать чертежи и пространственно представлять себе изделие, изображенное на чертеже; знать геометрические построения и вычерчивать развертки; знать необходимые припуски при дальнейшей обработке труб и деталей и учитывать их при установлении разметочных размеров; экономно расходовать материалы, максимально используя обрезки труб и других материалов⁷.

Разметочные операции выполняют путем геометрического построения разметочных линий и знаков, для чего применяют переносные измерительные инструменты и шаблоны. Для разметки необходимы: стальная рулетка, линейка, угольник, циркуль, нутромер, штангенциркуль, рейсмус, транспортир, уровень, чертилка, кернер, молоток, а также шаблоны [4]. Разметку и контроль осуществляют согласно порядку, приведенному в РД 03-606-03, там же дается перечень инструментов, применяемых на тех или иных разметочных или контрольных операциях. К точности измерения предъявляются требования, указанные в таблице.

Таблица
Требования, предъявляемые к точности измерений
Table
Requirements performed for measurements' accuracy

Диапазон измеряемой величины, мм	Погрешность измерений, мм
До 0,5 вкл.	0,1
Свыше 0,5 до 1,0 вкл.	0,2
«1,0» 1,5»	0,3
«1,5» 2,5»	0,4
«2,5» 4,0»	0,5
«4,0» 6,0»	0,6
«6,0» 10,0»	0,8
10,0	1,0

Согласно паспорту антропоморфного робота^{8, 9} точность перемещения рабочего органа регламентируется таким показателем, как повторяемость и составляет 0,08 мм. Это означает, что рабочий орган антропоморфного робота способен перемещаться в одну и ту же точку с максимальной ошибкой 0,08 мм. Такой показатель повторяемости достигается благодаря использованию в конструкции робота сервоприводов с обратной связью. Учитывая, что минимально допустимая погрешность измерений для размеров до 0,5 мм составляет 0,1 мм, можно судить о том, что использование антропоморфного робота в качестве агрегата для измерения и разметки продукции, на которую распространяется действие, будет соответствовать требованиям нормативной документации¹⁰.

Места разметки труб окрашивают меловой краской с примесью жидкого стекла или столярного клея. На 1 л воды берут 120 г мела и 7 г столярного клея. На окрашенной поверхности чертилкой наносят риски, после чего их накернивают, чтобы предохранить от стирания. Во избежание значительных ошибок при нанесении линий на изделие запрещается пользоваться мелом.

В случае автоматизации процесса разметки операцию кернения можно заменить лазерной гравировкой, установив в качестве

⁶ ГОСТ 17375–2001. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Отводы крутоизогнутые типа 3D (R ≈ 1,5 DN). 18 с.

⁷ Основы машиностроительной гидравлики / Т.В.Алексеева, Н.С. Галдин, Э.Б. Шерман, В.С.Щербаков. Омск : ОмПИ, 1986. 87 с.

⁸ KUKA System Software 8.3 – Instructions for system integrators.

⁹ ProgExperteBHR5.2 09.03.00 en. KR C3 Expert Programming KUKA System Software (KSS).

¹⁰ РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М. : Изд-во стандартов, 2003. 58 с.

рабочего органа антропоморфного робота лазерный гравер.

Для разметки труб с условным проходом от 100 до 500 мм на сектора для сварных отводов применяют шарнирное приспособление (рисунок 1). Оно состоит из призмы 1, которую устанавливают на трубу, шарнирного рычага 4, укрепленного на транспортире 2. На конце рычага имеется карандаш 3 или чертилка. Транспортир может поворачиваться на 90° в обе стороны. Данным приспособлением можно также размечать концы равнопроходного штуцера¹¹.

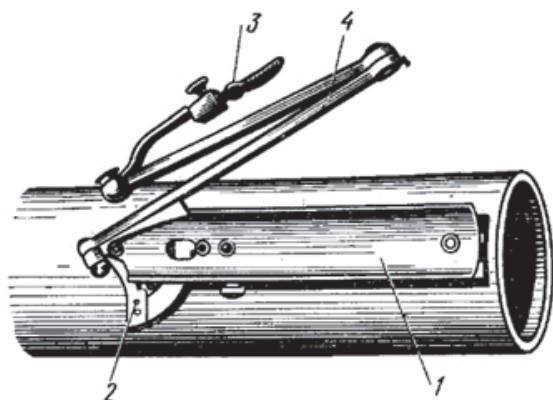


Рисунок 1 – Шарнирное приспособление для разметки труб:
1 – призма, 2 – транспортир, 3 – карандаш, 4 – шарнирный рычаг

Figure 1 – Swivel device for marking pipes:
1 – prism, 2 – protractor, 3 – pencil, 4 – swivel lever

Для разметки на трубах отверстий под штуцера используют универсальный циркуль (рисунок 2), он позволяет размечать отверстия под любым углом врезаемого штуцера. Циркуль закрепляют на трубе и поворотом штанги-чертилки, установленной на необходимый радиус, размечают отверстия¹. При разметке врезок, расположенных под углом к оси трубы, стойку устанавливают на нужный угол. С помощью данного циркуля размечают шаблоны, очерчивая контуры отверстия на бумаге, картоне, жести, накрученной на трубу нужного диаметра¹².

Для разметки линий обрезки торцов штуцеров под врезку, секторов и полусекторов сварных отводов часто применяют шаблоны.

Размеры для изготовления шаблонов должны быть указаны в рабочих чертежах или нормалях; в случае их отсутствия размеры находят графическим способом [4].

Описанные выше способы разметки труб и фитингов, плазировка, специализированная оснастка, разметка по шаблонам являются способами, отличающимися значительной трудоемкостью как самой операции разметки, так и операций по изготовлению шаблона или технологической оснастки, требующих высокой квалификации работника, также не покрывающих широких диапазонов размеров изделий, выпускаемых на предприятиях¹³.

Разработка способа и методики, позволяющих полностью или частично автоматизировать процесс разметки и последующей обработки элементов трубопроводов, является важной и актуальной задачей, имеющей большую практическую полезность для предприятий народного хозяйства, занятых в области производства подъемно-транспортных, строительных машин¹⁴ [5] и оборудования, комплексов по переработке сырья, а также энергетическом машиностроении.

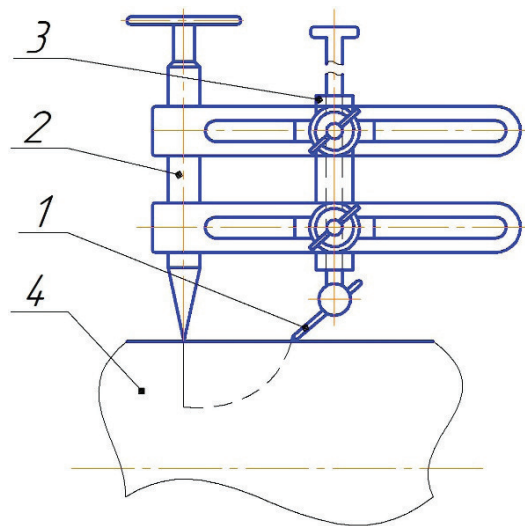


Рисунок 2 – Универсальный циркуль для разметки отверстий на трубах:
1 – чертилка, 2 – установочная ножка, 3 – подвижная ножка, 4 – труба

Figure 2 – Universal compass for marking holes on pipes:
1 – scriber, 2 – mounting foot, 3 – movable jaw, 4 – pipe

¹¹ Основы машиностроительной гидравлики / Т.В.Алексеева, Н.С. Галдин, Э.Б. Шерман, В.С.Щербаков. 87 с.

¹² Там же.

¹³ Lebedev L.V. The beginnings of technological design: Textbook. Belgorod : BTISM, 1992. 81 p.

¹⁴ Добронравов С.С., Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. 445 с.

В пункте 5.1. РД 03-606-03 указывается, что «допускается применение других средств визуального и измерительного контроля при условии наличия соответствующих инструкций, методик их применения». Это означает, что разработчики инструкции, несмотря на достаточно полный перечень мерительных инструментов, охватывающий обширную область операций разметки и измерения, описанный в ней, предусматривают появление новых инструментов и методик, позволяющих решать те же задачи, но с меньшей трудоёмкостью и большей точностью.

Для решения ряда задач, допускающих произвести автоматизированную разметку крутозагнутых штампосварных отводов, коллектив исследователей предлагает использовать роботизированную систему на базе антропоморфного робота и теорию триангуляционного метода измерения.

Триангуляционный метод контроля базируется на расчете искомого расстояния через соотношения треугольника с использованием известных параметров системы. Он позволяет измерять как относительное изменение расстояния от датчика до контролируемого объекта, так и абсолютную его величину. При этом контролируемое расстояние может иметь масштаб от нескольких микрометров до сотен и тысяч метров.

Первой задачей, решение которой рассматривается в настоящей работе и приближает исследователей к созданию автоматизированного разметочного роботизированного комплекса, является определение положения средней плоскости отвода и расположение оси рабочего инструмента робота в этой плоскости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Так как отводы представляют собой штампосварные конструкции (рисунок 3) различного диаметра и радиуса в зависимости от типоразмера, необходимо, чтобы методика определения координат измерительной базы отвода и последующего центрирования рабочего инструмента в ней была универсальна и

не требовала дополнительного технологического оснащения при изменении типоразмера отвода.

Вследствие высокой массы и неидеальности поверхности заготовки, полученной штамповкой, процесс установления заготовки на измерительную базу, нижнюю образующую заготовки отвода вызывает значительные затруднения. Предлагаемая методика рекомендует в качестве измерительной базы использовать скрытую базу – среднюю плоскость отвода (рисунок 4). Средняя плоскость отвода – это плоскость, проходящая через наименьшую по длине внутреннюю образующую и наибольшую по длине внешнюю образующую отвода.

Из описания средней плоскости отвода следует, что роботизированная система должна уметь позиционироваться таким образом, чтобы ось измерительного инструмента находилась в плоскости, параллельной средней плоскости отвода, то есть устанавливать требуемый угол поворота луча измерительного прибора относительно некоторого теоретического отрезка AB некоторой плоскости OXY (на рисунке 4 совпадает со средней плоскостью). При этом расстояние D от нижней образующей отвода до точки A и расстояние C от нижней образующей отвода до точки B должны быть одинаковыми.



Рисунок 3 – Плазировка и разметка отвода крутозагнутого штампосварного в реальных производственных условиях

Figure 3 – Marking of pipe taps in real manufacturing conditions

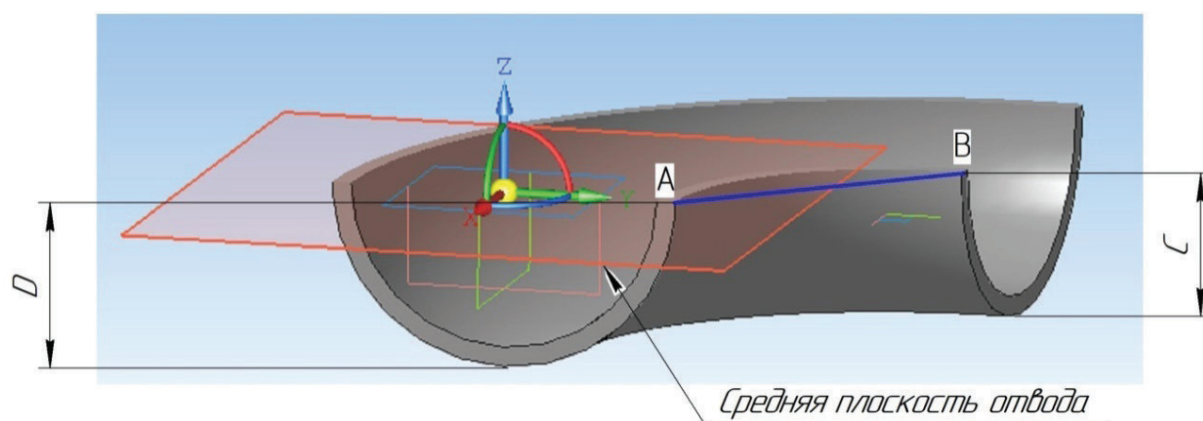
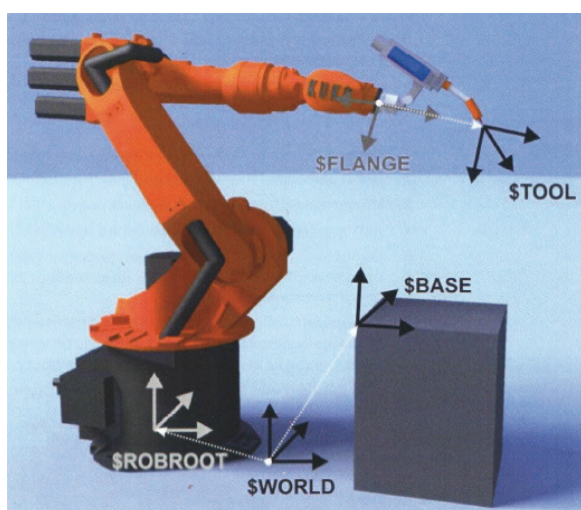
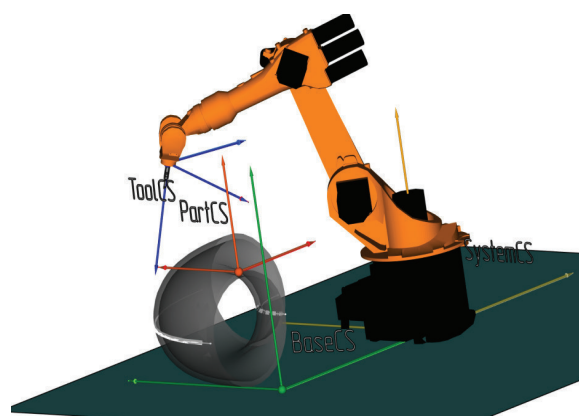


Рисунок 4 – Теоретическое положение средней плоскости отвода

Figure 4 – Theoretical placement of the average plane of the pipe tap



а



б

Рисунок 5 – Системы координат антропоморфного робота: а – системы координат робота, б – системы координат при определении средней плоскости отвода

Figure 5 – Coordinate systems of the anthropomorphic robot: а – coordinate systems of the robot, б – coordinate systems in determining the average plane of the pipe tap

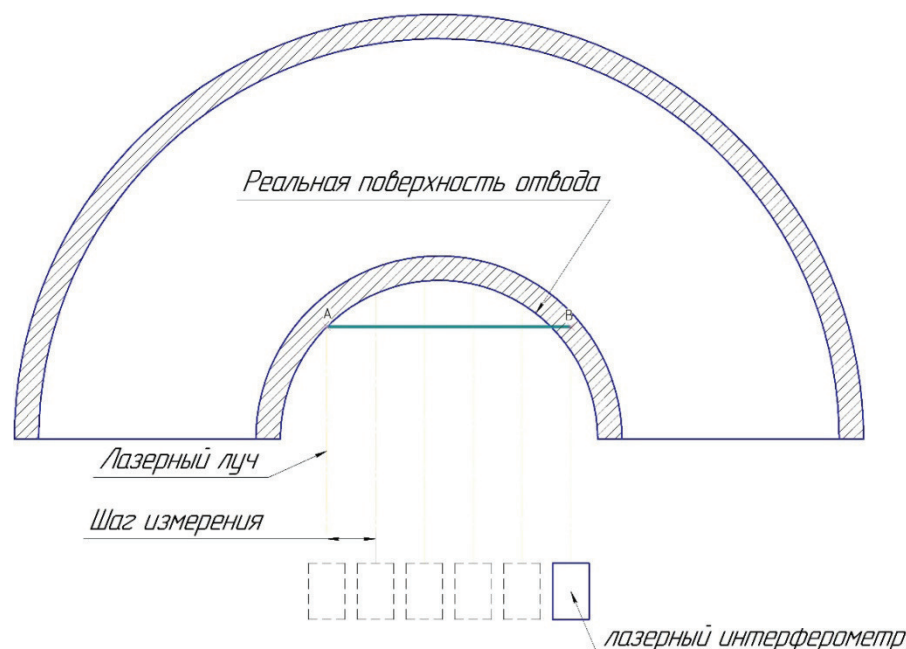


Рисунок 6 – Схема измерения длины дуги

Figure 6 – Measurement scheme of the arc length

Далее следует рассмотреть системы координат, имеющиеся у антропоморфного робота, для того чтобы понять, каким образом можно задать программным методом положение теоретического отрезка AB . Системы координат антропоморфного робота представлены на рисунке 5^{15, 16, 17}.

Как видно из рисунка 5, при управлении роботом в системе заданы следующие системы координат:

1. ROBROOT – система координат основания робота, зафиксированная в основании робота.
2. WORLD – универсальная система координат, по умолчанию совпадает с системой координат ROBROOT, при необходимости может быть «выдвинута» из основания робота.
3. BASE – основная система координат, свободно определяемая заказчиком, используется для калибровки заготовок и приспособлений.
4. FLANGE – система координат фланца, зафиксирована во фланце робота, является отсчетной точкой системы координат TOOL.
5. TOOL – система координат инструмен-

тов, свободно определяется заказчиком, используется для калибровки инструментов [8].

Система робота позволяет определить систему координат BASE [6], например путем указания трех точек на базовой плоскости (плазу), на которой расположены заготовка отвода и указания направления оси Z . Указание точек производится путем ручной калибровки. Учитывая то, что плаза является откалиброванной площадкой с высокой степенью плоскостности, а плоскость XOY системы координат BASE задана и известна системе робота¹⁸, мы без труда можем задать условие, когда перемещение интерферометра [7] будет проходить в плоскости, параллельной плоскости плазы, то есть без изменения координаты по оси Z . Начальная точка A и конечная точка B задаются также вручную [8, 9].

Сущность методики заключается в итерационном определении длины дуги с помощью лазерной интерферометрической измерительной системы, которая перемещается роботом вдоль отрезка AB без изменения координаты по оси Z , при этом ось инструмента должна

¹⁵ KUKA System Software 8.3 – Instructions for system integrators.

¹⁶ ProgExperteBHR5.2 09.03.00 en. KR C3 Expert Programming KUKA System Software (KSS).

¹⁷ Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд. СПб. : БХВ Петербург. 2007. С. 14–30.

¹⁸ KUKA System Software 8.3 – Instructions for system integrators.

быть перпендикулярна отрезку AB , и производит замер расстояний до объекта с заданным шагом. Известно, что длина дуги – это предел, к которому стремится периметр вписанной в эту дугу ломаной, когда число её звеньев неограниченно растет, а наибольшая из длин звеньев L стремится к нулю, или в математическом представлении

$$l = \lim_{\max \Delta L_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n \Delta L_i.$$

Из определения ясно, что необходимо замерить расстояние до объекта измерения через определенный шаг, записать координаты этих точек, далее произвести вычисление длин полученных отрезков и их суммирование. Таким образом, получается приближенное значение длины дуги, которая будет вычислена тем точнее, чем меньший шаг измерений будет задан¹⁹. Схема измерения показана на рисунке 6.

Зная шаг измерения (задается оператором), а именно величину одного катета прямоугольного треугольника, и рассчитав модуль величины второго катета как разность длин от интерферометра до поверхности отвода, по теореме Пифагора можно вычислить величину гипотенузы, то есть длину звена. Получив сумму всех звеньев после измерения, мы узнаем длину дуги в конкретном положении (угле наклона) измерительного инструмента относительно отрезка AB . Путем итерационного сравнения длин дуг при различных углах наклона измерительного инструмента можно вычислить то положение, при котором длина дуги будет минимальной, то есть будет описывать окружность, близкую к правильной (рисунок 7), а значит, ось инструмента будет находиться в плоскости, параллельной средней плоскости заготовки отвода. Если же длина дуги больше минимальной возможной, то ось инструмента пересекает плоскость, и дуга имеет параболическую форму (рисунок 8), её длина, очевидно, больше длины правильной окружности (см. рисунок 7).

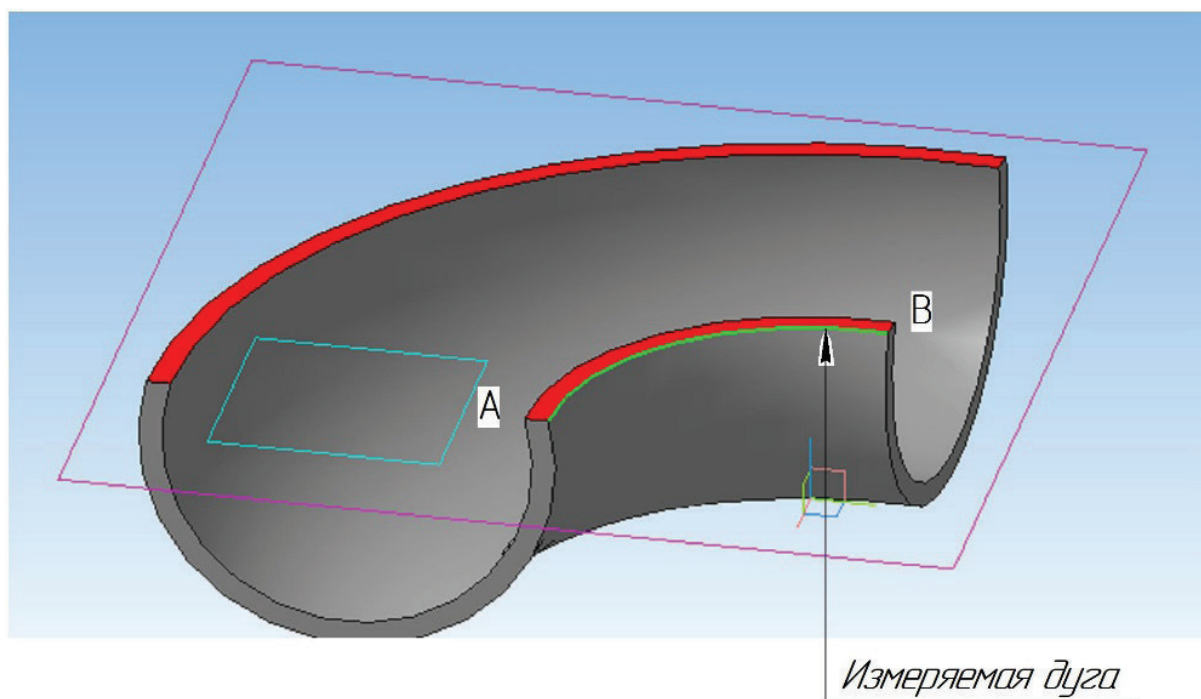


Рисунок 7 – Дуга внутреннего радиуса заготовки отвода в случае расположения оси инструмента в плоскости, параллельной средней плоскости отвода

Figure 7 – Inner radius arc of the pipe tap in case of the location of tool axis in the plane, which is parallel to the average plane of the pipe tap

¹⁹ Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М. : АСТ : Астрель, 2006. 991 с.

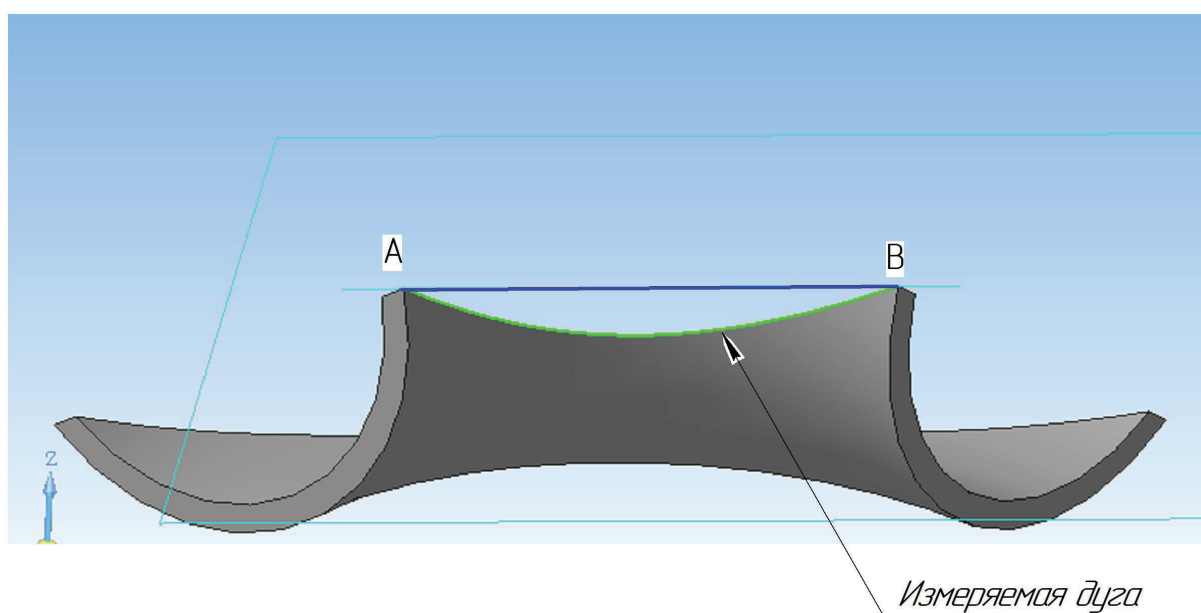


Рисунок 8 – Дуга внутреннего радиуса заготовки отвода в случае расположения оси инструмента в плоскости, не параллельной средней плоскости отвода

Figure 8 – Inner radius arc of the pipe tap in case of the location of tool axis in the plane, which is non – parallel to the average plane of the pipe tap

Таким образом, установив положение измерительного инструмента так, чтобы его ось лежала в плоскости, параллельной средней плоскости заготовки отвода, и аналогичным методом изменяя теперь уже координату Z системы координат BASE итерационным методом, сравнивая длины дуг на разных высотах по оси Z , определим координату Z , в которой длина дуги будет минимальной, а значит, именно через эту точку проходит средняя плоскость заготовки отвода.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результатами работы является разработанная методика итерационного определения координат положения скрытой измерительной базы в виде средней плоскости заготовки отвода путем сравнения длин дуг при различном положении (угле наклона) измерительного инструмента относительно некоторого зада-

ваемого теоретического отрезка AB и последующем сравнении длин дуг при изменении координат по оси Z .

Разработанная методика в последующем позволит производить разметку заготовок отводов путем геометрического расчета координат требуемых точек относительно положения средней плоскости заготовки отвода, а также нанесения меток на заготовку режущим инструментом, лазером или гравёром.

Блок-схема, описывающая представленный в работе метод определения угла наклона средней плоскости по отношению к плоскости $YOX(BASE)$, показана на рисунке 9. Определение координаты Z , в которой находится средняя плоскость отвода, производится по аналогичному алгоритму, только при итерационном изменении координаты Z , а не угла наклона инструмента.

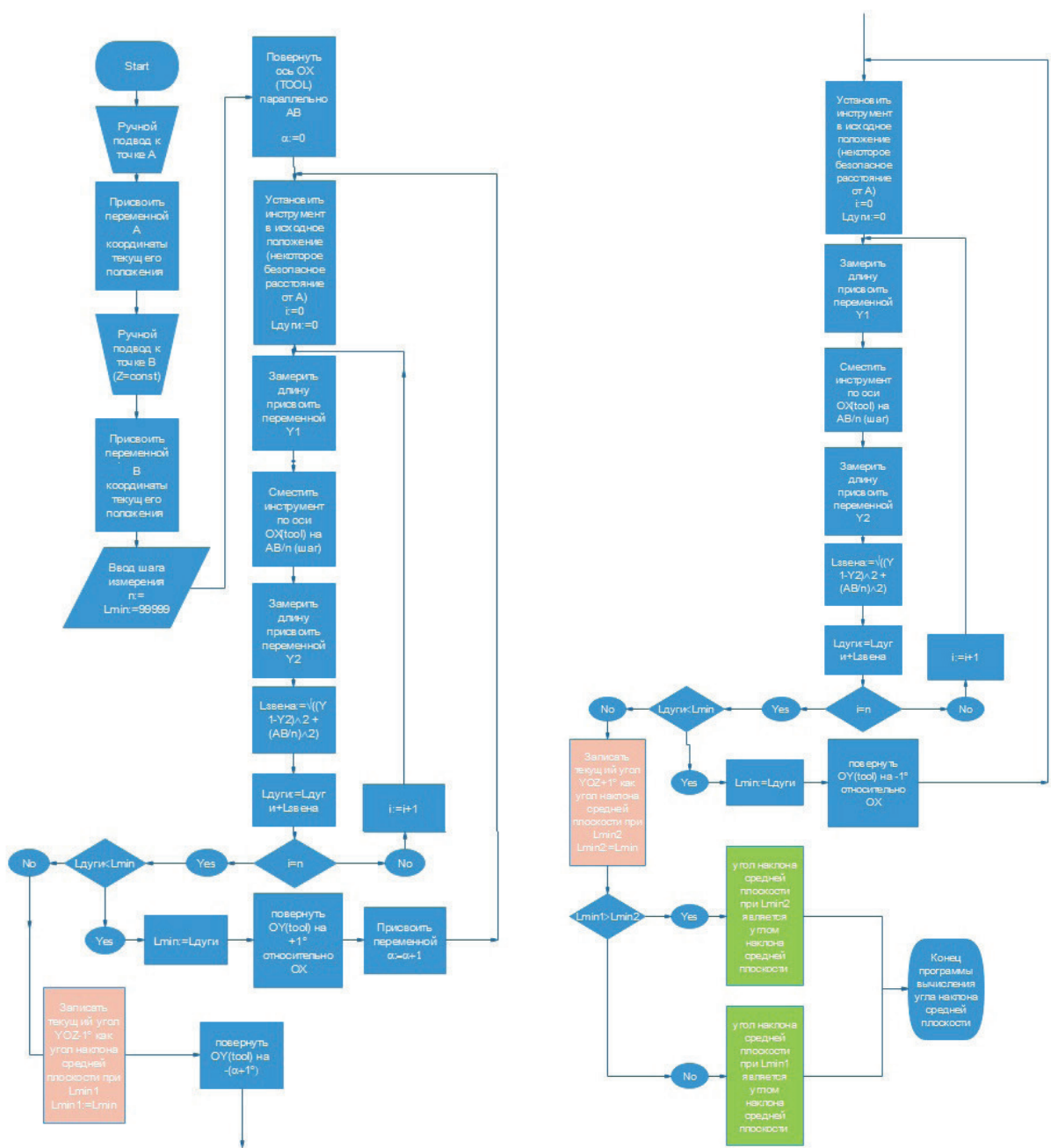


Рисунок 9 – Блок-схема определения угла наклона средней плоскости заготовки отвода (начало)

Figure 9 – Block diagram of the incidence angle determination of the average plane (the beginning)

Рисунок 9 – Блок-схема определения угла наклона средней плоскости заготовки отвода (окончание)

Figure 9 – Block diagram of the incidence angle determination of the average plane (the end)

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование метода управления рабочим процессом строительного манипулятора в виде антропоморфного робота на основе разработанной методики определения средней плоскости заготовок позволит значительно сократить трудоемкость выполнения операции, повысить точность и существенно сократить время разметки заготовок отводов труб, например при проведении монтажных работ, связанных с ремонтом или строительством битумопроводов АБЗ.

В ходе исследования была разработана методика определения координат средней плоскости отвода, описан процесс вычисления длины дуги триангуляционным методом, составлен алгоритм определения угла наклона средней плоскости заготовки отвода при помощи антропоморфного робота.

Снижение трудоемкости выполнения операций разметки трубопроводов АБЗ обеспечивается заменой ручного труда разметчика, выполняющего разметку на плазу и перенос этой разметки с плазы на заготовку, на процесс автоматизированного получения виртуального профиля заготовки с использованием триангуляционного метода измерения, алгоритмического вычисления координат скрытой базы заготовки (её средней плоскости) и автоматизированного нанесения разметки строительным манипулятором на заготовку.

Повышение точности нанесения разметки обеспечивается за счет точности позиционирования рабочих органов антропоморфного робота, имеющего сервоприводы с обратной связью и применяемых лазерных измерительных приборов, позволяющих обеспечить позиционирование рабочего органа с точностью до 0,08 мм, а также стационарном положении размечаемой заготовки относительно антропоморфного робота. Такая точность обеспечивает безусловное соответствие тем требованиям, которые предъявляются нормативной документацией²⁰ к точности измерения при проведении разметочных операций, так как минимально допустимая погрешность измерений для размеров до 0,5 мм составляет 0,1 мм. Повышение точности нанесения разметки, по мнению авторов, гарантирует отсутствие появления брака на последующих операциях разделки кромок и монтажа элементов трубопроводов АБЗ из-за отклонений, унаследованных на операциях разметки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гончаренко И.А., Рябцев В.Н. Датчики контроля состояния инженерных и строительных конструкций на основе оптических волноводных структур // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2013. № 1(17). С. 118–132.
2. Чепчуров М.С., Четвериков Б.С. Позиционирование изделия в процессе автоматизированного бесконтактного контроля формы его поверхности качения // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». 2016. № 2. С. 99–103.
3. Чепчуров М.С., Табекина Н.А., Четвериков Б.С. Влияние явления дифракции света на точность автоматизированного процесса определения геометрических параметров профиля объектов // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». 2016. № 1. С. 90–93.
4. Mordasov, M.M. and Savenkov, A.P (2015), Measurement of geometric parameters of interfaces of gas-liquid systems, Measurement Techniques, no. 7, pp. 47 - 49.
5. Romanovich A.A., 2013. Definition of the center of mass of the ball load the first chamber of the mill, equipped with paddle energy-exchanged devices : Scientific Vestnik of NSTU, 2(51): 166–171. (in Russian).
6. Интеграция ИТ и автоматизации. Wonderware System Platform 3.0 // Промышленные АСУ и контроллеры. 2008. № 10. С. 44–48.
7. Leontieva, G.V., Pinaev, L.V. and Seregin A.G. (2012), Laser meter of non-rectilinearity, Laser string, Journal of Optical Technology, no. 10, pp. 52 – 57.
8. Ицкович Э.Л. Современные беспроводные сети связи в системах автоматизации на промышленных предприятиях // Датчики и системы. 2008. № 6. С. 19–23.
9. Spur, G. et al.: Design Rules for Integration of Industrial Robots into CIM-Systems. In: Espirit '84. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1985. P.17 – 19.

REFERENCES

1. Goncharenko I.A., Rjabcev V.N. Datchiki kontrolja sostojanija inzhenernyh i stroitel'nyh konstrukcij na osnove opticheskikh volnovodnyh struktur [Sensors for monitoring the state of engineering and building structures based on

²⁰ РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. 58 с.

optical waveguide structures]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2013; 1(17): 118–132 (in Russian).

2. Chepchurov M.S., Chetverikov B.S. Pozicionirovanie izdelija v processe avtomatizirovannogo beskontaktnogo kontrolja formy ego poverhnosti kachenija [Positioning the product in the process of automated contactless control of the shape of its rolling surface]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2016; 2: 99–103 (in Russian).

3. Chepchurov M.S., Tabekina N.A., Chetverikov B.S. Vlijanie javlenie difrakcii sveta na tochnost' avtomatizirovannogo processa opredelenija geometricheskikh parametrov profilja ob'ektov [Influence of the light diffraction on the accuracy of the automated process of determining the geometric parameters of the objects' profile]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2016; 1: 90–93 (in Russian).

4. Mordasov M.M., Savenkov A.P. (2015), Measurement of geometric parameters of the gas-liquid systems interfaces, *Measurement Techniques*; 7: 47–49.

5. Romanovich A.A., 2013. Definition of the center of mass of the ball load the first chamber of the mill, equipped with paddle energy-exchanged devices: *Scientific Vestnik of NSTU*; 2(51): 166–171.

6. Integracija IT i avtomatizacii. Wonderware System Platform 3.0. *Promyshlennye ASU i kontrolyery*, 2008; 10: 44–48.

7. Leontieva G.V., Pinaev, L.V. and Seregin A.G. (2012), Laser meter of non-rectilinearity, Laser string, *Journal of Optical Technology*; 10: 52–57.

8. Ickovich Je.L. Sovremennye besprovodnye seti svjazi v sistemah avtomatizacii na promyshlennyh predpriyatijah [Modern wireless communication networks in automation systems at industrial enterprises]. *Datchiki i sistemy*, 2008; 6: 19–23 (in Russian).

9. Spur G. et al.: Design Rules for Integration of Industrial Robots into CIM-Systems. In: *Espirit '84*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1985; 17–19.

Поступила 23.02.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой

заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Любимый Николай Сергеевич – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ПТУ-ДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0002-6131-3217 (г. Белгород, е – mail: nslubim@bk.ru).

Четвериков Борис Сергеевич – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ПТУ-ДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0003-1801-6767 (г. Белгород, е – mail: await_rescue@mail.ru).

Чепчуров Михаил Сергеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0002-0896-8265 (г. Белгород, е – mail: avtpost@mail.ru).

Одобеско Иван Алексеевич, студент 5-го курса кафедры ПТУДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0001-9544-8788 (г. Белгород, е – mail: odobesko.ivan@gmail.com)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyubimyi Nikolay Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Lifting Machines Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0002-6131-3217 (Belgorod, Russia, e-mail: nslubim@bk.ru).

Chetverikov Boris Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Lifting Machines Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0003-1801-6767 (Belgorod, Russia, e-mail: await_rescue@mail.ru).

Chepchurov Mihail Sergeevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Mechanical Engineering Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0002-0896-8265 (Belgorod, Russia, e-mail: await_rescue@mail.ru).

Odobesko Ivan Alekseevich – Student, Lifting Machines Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0001-9544-8788 (Belgorod, Russia, e-mail: odobesko.ivan@gmail.com).