
**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 528.048

**КОНТРОЛЬ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ ИЗДЕЛИЙ АТОМНОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

© 2017 Ю.И. Пимшин*, Г.А. Науменко**, Л.В. Постой*, С.М. Бурдаков*

** Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

*** Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Ростовская обл., Россия*

В статье приведены результаты выполненных работ при выходном контроле изделий атомного машиностроения на примере конструктивной детали порталного крана. Рассмотрена технология выполнения контроля. Сделано заключение, в котором констатируется, что лазерные трекеры, в том числе и измерительная машина марки Vintag, изготавливаемая фирмой FaGo, обладают высокой оперативностью решения задач контроля изделий машиностроения. Их программное обеспечение имеет возможность выполнять обработку результатов измерений и подготовку отчетов непосредственно на площадке выполнения работ и выдавать результаты на месте. Обеспечивать точность измерений пространственных координат 0,005–0,01 мм на расстояниях до 10000–15000 мм. Все эти характеристики позволяют рекомендовать машиностроительным предприятиям использование таких и аналогичных измерительных машин для решения задач по контролю геометрических параметров изделий.

Ключевые слова: лазерный треккер, измерения, геометрические параметры, прямолинейность, перпендикулярность, соосность, метрология, метрологические характеристики, точность измерений, допуски.

Поступила в редакцию: 10.03.2017

В первых параграфах практически любого учебника по прикладной геодезии излагается тема связи данной геодезической науки с другими близкими науками их взаимовлияние и взаимодополнение. К родственным наукам относят, как правило, топографию, высшую геодезию, фотограмметрию, аэрофототопографию, астрономическую геодезию, космическую геодезию, картографию, маркшейдерскую, кадастр, землеустройство, дистанционное зондирование и мониторинг земель, геоинформационные технологии, иногда – метрологию. В тоже время в этом перечне, как правило, нигде не упоминается наука о технических измерениях. При этом на наш взгляд при решении задач обеспечения монтажа и наладки оборудования, и, изготовления и сборки крупногабаритной машиностроительной продукции, как никакая другая, наука о технических измерениях, дополняет и взаимно развивает методы прикладной геодезии [1].

Принципиально обе науки базируются на общих началах теории измерений. В их основах заложены общие принципы выполнения измерительного процесса, они имеют единое отношение с наукой метрологией, и они сами выступают как методология оценки единства проектных решений и фактически выполненных изделий. Особенным для рассматриваемых наук, по нашему мнению, является теоретические начала

технических измерений, основанные на допусках и посадках, на их назначении, их представлении вплоть до графических отображений требований к виду и количественным допустимым предельным величинам измерений [2], [3], [4]. Не рассматривая теоретические основы назначения допусков, остановимся лишь на их графических представлениях в проектной документации. Так виды контролируемых параметров в машиностроении отображаются графическими схемами, представленными в табл. 1 [4]. При этом вид контролируемого параметра, величина значения допуска, база относительно которой определяется контролируемый параметр, отображаются на чертежах в виде, представленном на рис. 1.

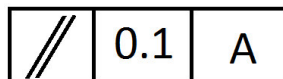


Рис. 1. – Обозначение допусков:
первая часть – вид параметра; вторая часть – значение допуска в мм.;
третья часть – буквенное обозначение базы.

Далее отметим общий подход в прикладной геодезии и науке о технических измерениях к определению необходимой точности выполнения измерений.

Таблица 1. – Знаки видов допусков форм и расположения поверхностей

Группа допуска	Вид допуска	Знак
Допуск формы	Допуск прямолинейности	—
	Допуск плоскостности	▭
	Допуск круглости	○
	Допуск цилиндричности	⊘
	Допуск профиля продольного сечения	=
Допуск расположения	Допуск параллельности	//
	Допуск перпендикулярности	⊥
	Допуск наклона	∠
	Допуск соосности	◎
	Допуск симметричности	≡
	Позиционный допуск	⊕
	Допуск пересечения осей	×
Суммарный допуск формы и расположения	Допуск радиального биения, торцевого биения, биения в заданном направлении	↑
	Допуск полного радиального биения, полного торцевого биения	↗
	Допуск формы заданного профиля	⌒
	Допуск формы заданной поверхности	⊖

Здесь подчеркнем, что прикладная геодезия позаимствовала подход, связанный с определением точности измерений m_z путем использования коэффициента обеспечения точности C

$$m_z = C \cdot (\pm \delta), \quad (1)$$

где $\pm \delta$ – технологическое отклонение.

Кроме этого отметим то, что исследуя составные части измерительного процесса, такие как: объект исследования, параметры объекта исследования, единицы физических величин, допуск параметра, проектирование измерений, точность измерений, средство измерений, способ измерений, метод измерений, методика измерений, условия измерений, измерения, тактика измерений, результат измерений, оценка точности результата измерений, совместная обработка результатов измерений, получение искомой полезной информации об объекте и оценка ее уровня достоверности. Особенным разделом является лишь тактика измерений. В прикладной геодезии составные части измерительного процесса аналогичны выше перечисленным, а составная часть измерительного процесса – тактика измерений, по сути назначения и содержания соответствует процессу – рекогносцировки, реализуемому в прикладной геодезии. При проектировании решения измерительной задачи все определяемые разделы такие как: точность измерений, средство измерений, способ измерений, следовательно, и их диалектическое единство - метод измерений, методика измерений, с учетом условий измерений и в соответствии с этим назначаемых превентивных мероприятий, предлагаются однозначно. Причем, для рекогносцировки (или тактики измерений) предлагаются лишь рекомендации, при которых измерения выполняются с соблюдением наивыгоднейших (необходимых, допустимых) условий. При выполнении измерений первым этапом реализуют описываемый раздел измерительного процесса, от его успешного динамического решения исполнителем во многом зависит правильное решение всей задачи с обеспечением требований по оперативности решения и экономии трудовых затрат при максимально возможной производительности труда. Следовательно, в обеих науках прикладной геодезии и технических измерениях, от грамотности и опыта исполнителей во многом зависит качественное решение измерительной задачи.

Рассмотрим пример контроля машиностроительного изделия, являющегося деталью портального крана, изготавливаемого для одного из предприятий Российской Федерации. При проектировании решения измерительной задачи точность измерений вычислялась согласно (1) при этом допуски на выполняемые размеры принимали согласно чертежей, приведенных на рис.2 а, б, в, рис.3 а, б. Коэффициенты обеспечения точности принимались согласно квалитетов регламентируемых государственными стандартами, (см. табл. 2).

В соответствии с полученными точностными требованиями в качестве средства измерений приняли лазерный трекер Vintag фирмы Faro. Данное средство измерений широко используется для решения аналогичных измерительных задач [5-10]. Способ измерений в соответствии с этим принят – пространственная тахеометрия. Как известно, прибором измеряют горизонтальные β_i , вертикальные ν_i углы и наклонное расстояние S_i от инструмента до исследуемой точки в системе координат машины или в системе координат выверяемого объекта.

Имея полярные координаты исследуемых точек, программным обеспечением измерительной машины по формулам (2) производится вычисление прямоугольных декартовых координат тех же точек в принятой системе координат:

$$x = x_0 + \Delta x; y = y_0 + \Delta y; z = z_0 + \Delta z;$$

$$\Delta z = s \cdot \sin \nu; \Delta x = s \cdot \cos \nu \cdot \cos \beta; \Delta y = s \cdot \cos \nu \cdot \sin \beta. \quad (2)$$

где x, y, z – координаты определяемой (контролируемой) точки;

x_0, y_0, z_0 – координаты машины;

ν, β – вертикальный и горизонтальный углы;

s – наклонное расстояние;

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – приращения координат.

Таблица 2. – Формуляр тяги (В.11.04.00.000)

№ п/п	Проектное значение размера, мм	Допуск, мм	Коэффициент обеспечения точности, мм	Фактический размер, мм	Примечание
1.1	17500	±6	0,2	17504,1	Температура
1.2	17500	±6	0,2	17504,1	t ^C = +24
2	3360	±2	0,2	3358,8	
3	∅500H14	+1.55	0,2	500,4	
4	∅400H7	+0.057	0,3	400,0	Запрессован подшипник
5			0,2	0	
6	92	-0.17/-0.2	0,25	91,9	
7			0,2	0,1	
8			0,2	0	
9			0,25	0,1	
10	∅500H14	+1.55	0,2	500,1	
11	90	-0.17/-0.2	0,25	90,0	
12	∅350H14	+1.4	0,2	350,8	
13			0,25	0,2	
14			0,2	0	
15	∅250H7	+0.046	0,3	250,0	Запрессован подшипник
16	∅350H14	+1.4	0,2	350,9	
17			0,2	0,1	
18			0,2	0	
19	∅350H14	+1.4	0,2	350,5	
20			0,2	0	
21	90	-0.17/-0.2	0,25	89,9	
22			0,25	0,1	
23	∅250H7	+0.046	0,3	250,0	Запрессован подшипник
24	∅350H14	+1.4	0,2	350,9	
25			0,25	0,1	
26			0,25	0	

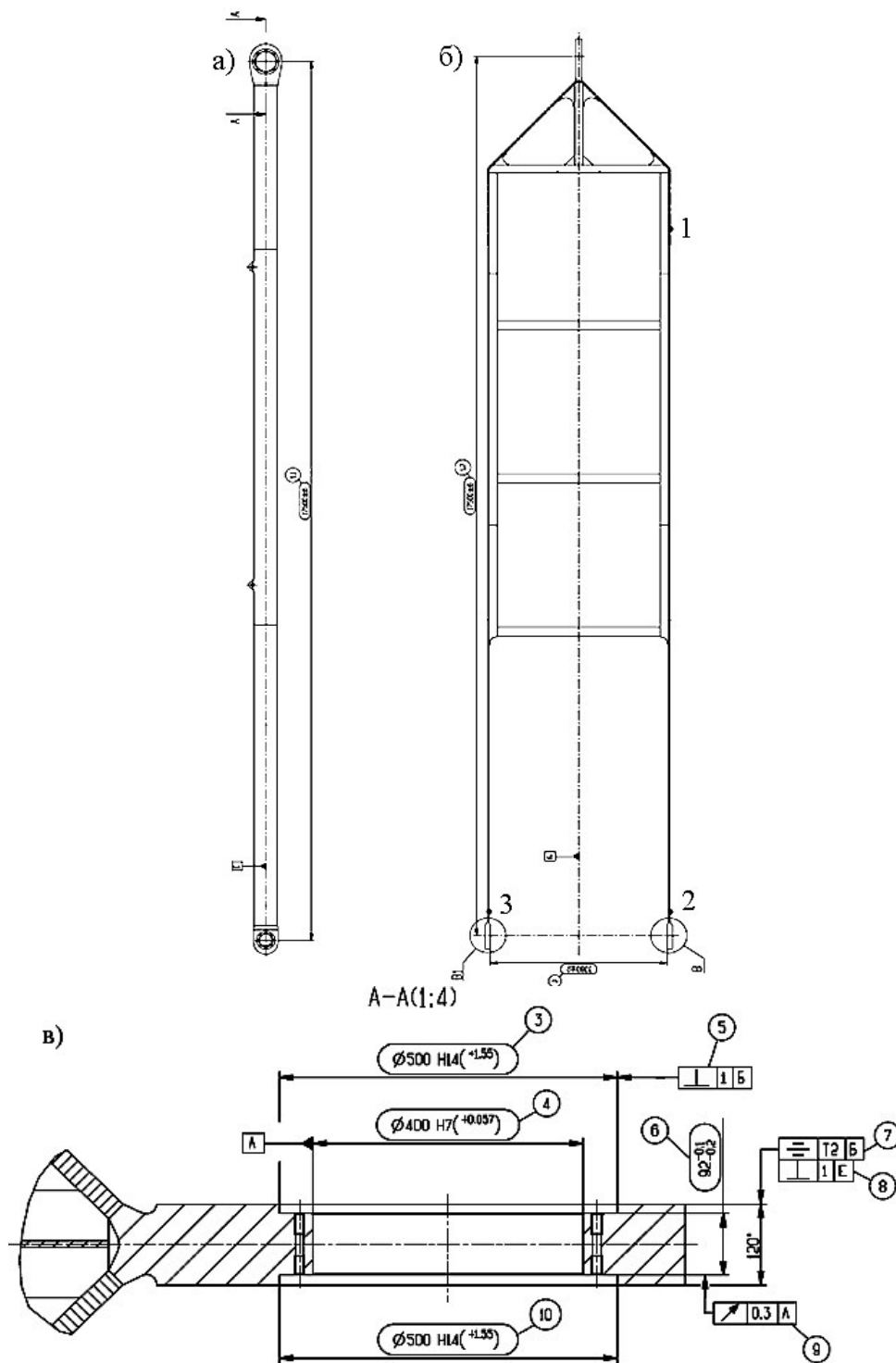


Рис. 2. – Схема контролируемых размеров тяги (В.11.04.00.000)

Тактика измерений была принята следующей. Согласно схемы контролируемых размеров тяги (В.11.04.00.000) (рис. 2), определено, что решение измерительной задачи наиболее эффективно реализовать с использованием двух станций стояния машины. Одна станция должна быть расположена со стороны (А), вторая со стороны (В). Для ориентирования машины в системе координат выверяемого изделия предложено использовать три точки, выполненные в виде марок, схема которых приведена на

рисунке 4, а, б, приклеенных на верхней поверхности детали и совмещенных с ее вертикальными образующими. При этом две марки (1), (2) наклеены вдоль одной стороны тяги, а третья (3), на противоположной стороне, примерно напротив (1). Установив измерительную машину на первой станции со стороны (А), примерно на расстоянии 2–4 метра от изделия, выполнили ее прогрев, и далее, в системе координат машины, без ее начального ориентирования, выполняют измерение координат марок (1), (2), (3).

По полученным координатам, решая обратные геодезические задачи, определяют расстояния между точками $S_{(1-2)}$, $S_{(1-3)}$ и углы ориентирования $\alpha_{(1-2)}$, $\alpha_{(1-3)}$. По вычисленным параметрам, определяют координаты марок в системе координат выверяемого объекта, и при этом принимают:

$$\begin{aligned} X_1=0, Y_1=0; \\ X_2=0, Y_2= S_{(1-2)}; \\ X_3= S_{(1-3)} \cdot \sin(\alpha_{(1-2)} - \alpha_{(1-3)}), Y_3= S_{(1-3)} \cdot \cos(\alpha_{(1-2)} - \alpha_{(1-3)}). \end{aligned} \quad (3)$$

При принятых координатах марок ось У-У будет параллелен база Б и перпендикулярна базе Л.

Затем выполняют ориентирование измерительной машины в заданной координатной системе трех точек. Далее формируют файл (сеанс) новых измерений и выполняют все измерительные процедуры со стороны (А) изделия. Обеспечив полный объем измерений со стороны (А), выполняют переустановку измерительной машины на вторую станцию со стороны (В). Здесь после приведения прибора в рабочее положение выполняют ориентирование в системе координат тех же трех (1), (2), (3) точек. Далее реализуют измерительные процедуры со стороны (В). В результате получают измеренные величины параметров контролируемого изделия. Сравнивая данные значения с проектными величинами, и ориентируясь на допустимые характеристики, судят о качестве изготовленного изделия и делают заключение о его приёмке или необходимости доработки.

Результаты измерений представлены в формуляре, (табл. 2).

Следовательно, на основе рассмотренного примера, сравнивая методологические основы наук, прикладной геодезии и технических измерений, отметим их единство, что позволяет успешно их применять для решения задач монтажа и наладки оборудования, и, изготовления, сборки крупногабаритной машиностроительной продукции. Это возможно, при условии дополнения знаний специалистов прикладной геодезии особенностями назначения допусков в науке технических измерений на геометрические параметры изделий и их графического представления.

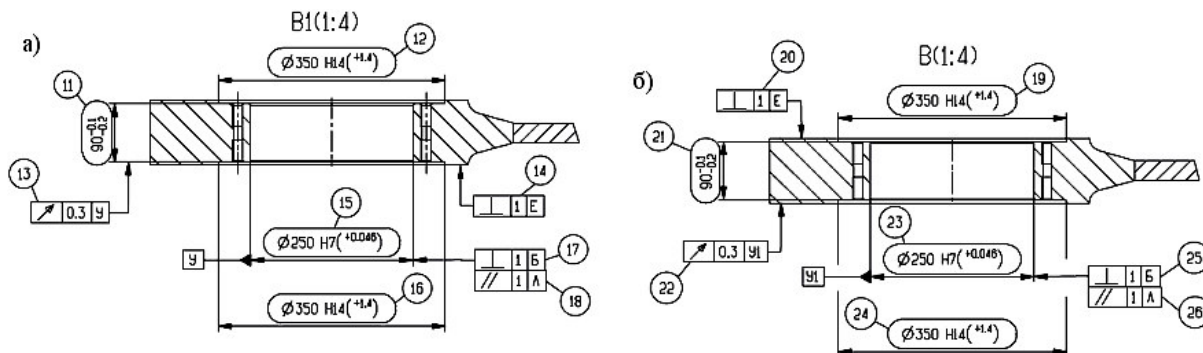


Рис. 3. – Схема размеров

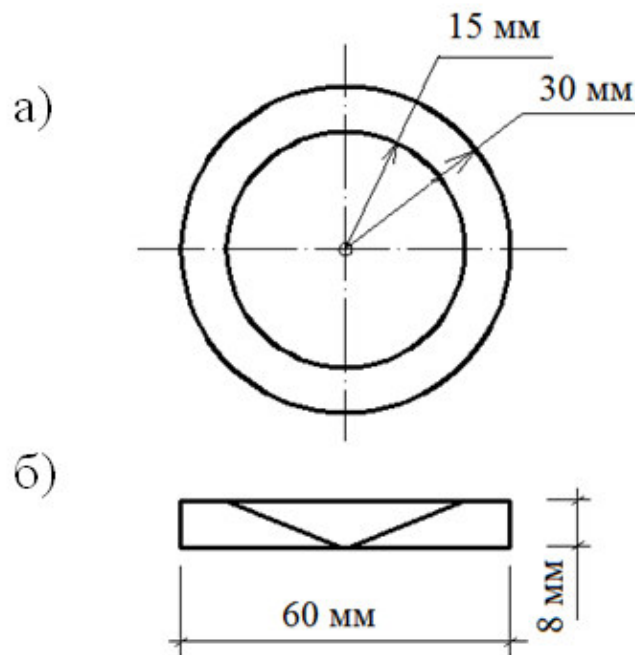


Рис. 4. – Схема конструкции марок

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутая, А.К. Справочник по производственному контролю в машиностроении [Текст] / А.К.Кутая. – Л.: Машиностроение, 1974. – 676 с.
2. Скуратов, Д.Л. и др. Технические измерения и контроль при производстве деталей в машиностроении: лаб. практикум [Текст] / Д.Л. Скуратов, В.В. Бурмистров, И.Г. Попов, С.Ю. Сидоров и др. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 160 с.
3. ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010). Межгосударственный стандарт. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. (введен в действие Приказом Росстандарта от 18.02.2014 N 28-ст). [Текст] – М.: Стандартинформ, 2014.– 37с.
4. ГОСТ 2.308-2011. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Указания допусков формы и расположения поверхностей. (введен в действие Приказом Росстандарта от 03.08.2011 N 211-ст) [Текст] – М.: Стандартинформ, 2012.– 25с.
5. Пимшин, Ю.И. и др. Калибровка станков с числовым программным управлением с помощью лазерного трекера VINTAG [Электронный ресурс] / Ю.И. Пимшин, Ю.В. Заяров, С.М. Бурдаков, Г.А. Науменко, Л.В. Постой // Электронный научный журнал Инженерный вестник Дона: сетевой журн. – 2016, №3. – Режим доступа: URL:<http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3667> – 10.12.2016.
6. Пимшин, Ю.И. и др. Применение лазерного трекера для определения деформационных характеристик защитных оболочек [Электронный ресурс] / Ю.И. Пимшин, О.А. Губеладзе, Е.Б. Ключин, Ю.В. Заяров, В.А. Наугольников, Д.М. Арсеньев // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]: тез. докл. XI Междунар. научн.-практ. конф., 27-29 мая 2015 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.].- Волгодонск: [Б.н.], 2015.- 1 электнон. опт. диск [CD]. – ISBN 978-5-7262-2114-4.
7. Полянский, А.В. Разработка методики геодезического обеспечения строительства и эксплуатации ускорительно-накопительного комплекса на основе гармонического анализа: автореф. дис. канд. техн. наук. [Текст] / А.В.Полянский – Новосибирск, 2015. – 24 с.
8. Буренков, Д.Б. Разработка методики геодезического контроля изготовления и установки элементов ускорительно-накопительных комплексов с использованием API Laser Tracker 3: автореф. дис. канд. техн. наук. [Текст] / Д.Б.Буренков – Новосибирск, 2016. 24 с.
9. Gurov S., Levichev E., Neyfeld V., Okunev I., Petrov V., Polyansky A.et al. Status of NSLS-II

- booster [Электронный ресурс] / S. Gurov, E. Levichev, V. Neyfeld, I. Okunev, V. Petrov, A. Polyansky et al. // Сайт международных конференций (JACOW (www.JACoW.org)) – Режим доступа: <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/PAC2011/papers/wep201.pdf> – 10.12.2016.
10. Bokov M., Burenkov D., Polyanskiy A., Pupkov Yu. and Levashov Yu. Results of Long-term Observations of Deformations of the VEPP-4 Storage Ring Constructions, BINP [Электронный ресурс] // 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering Nottingham. – United Kingdom, 28 June – 1 July 2004. – 1 электрон. опт. диск [CD].

REFERENCES

- [1] Kutaya A.K. Spravochnik po proizvodstvennomu kontrolyu v mashinostroenii. [The reference book on routine control in mechanical engineering]. Leningrad. "Mashinostroenie" [Mashinostroenie publishing house], 1974, 676 p. (in Russian)
- [2] Skuratov D.L., Burmistrov E.V., Popov I.G., Sidorov S.Yu. Tekhnicheskie izmereniya i kontrol' pri proizvodstve detaley v mashinostroenii: lab. praktikum. [Technical measurements and control by production of details in mechanical engineering: laboratory practical work]. Samara. " Samara state space university " [Samara state space university publishing house], 2007, 160 p. (in Russian)
- [3] GOST 25346-2013 (ISO 286-1:2010). Mezhsudarstvenny standart. Osnovnye normy vzaimozamenyaemosti. Kharakteristiki izdeliy geometricheskie. Sistema dopuskov na lineynye razmery. Osnovnye polozheniya, dopuski, otkloneniya i posadki. [Interstate standard. Main standards of interchangeability. Characteristics of products geometrical. System of admissions on the linear dimensions. Original positions, admissions, deviations and landings]. Moscow. " Standartinform " [Standartinform publishing house], 2014, 37 p. (in Russian)
- [4] GOST 2.308-2011. Edinaya sistema konstruktorskoy dokumentatsii (ESKD). Ukazaniya dopuskov formy i raspolozheniya poverkhnostey. [Uniform System of Design Documentation (USDD). Indications of admissions of a form and arrangement of surfaces]. Moscow. " Standartinform " [Standartinform publishing house], 2012, 25 p. (in Russian)
- [5] Pimshin Yu.I., Zayarov Yu.V., Burdakov S.M., Naumenko G.A., Postoy L.V. Kalibrovka stankov s chislovym programmym upravleniem s pomoshch'yu lazernogo trekera VINTAG [Calibration of machines with numerical program control by means of a laser tracker of VINTAG] [E-journal "Engineering journal of Don"], 2016, №3. – Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3667>. (in Russian)
- [6] Pimshin Yu.I., Gubeladze O.A., Kljushin E.B., Zajarov Ju.V., Naugol'nov V.A., Arsen'ev D.M. Primenenie lazernogo trekera dlya opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik zashchitnykh obolochek. [Application of a laser tracker for definition of straining characteristics of protective shells] [XI International scientific and practical conference "Safety of nuclear power", 27-29 may 2015]. Volgodonsk. National Research Nuclear University "MEPhI": tez. dokl.. on CD. ISBN 978-5-7262-2114-4. (in Russian)
- [7] Polyanskiy A.V. Razrabotka metodiki geodezicheskogo obespecheniya stroitel'stva i ekspluatatsii uskoritel'no-nakopitel'nogo kompleksa na osnove garmonicheskogo analiza. [Development of a technique of geodetic support of construction and operation of an accelerating and accumulative complex on the basis of a Fourier analysis]. Novosibirsk. " Siberian state university of geosystems and technologies " [Siberian state university of geosystems and technologies publishing house], 2015, 24 p. (in Russian)
- [8] Burenkov D.B. Razrabotka metodiki geodezicheskogo kontrolya izgotovleniya i ustanovki elementov uskoritel'no-nakopitel'nykh kompleksov s ispol'zovaniem API Laser Tracker 3. [Development of a technique of geodetic monitoring of manufacture and installation of elements of accelerating and accumulative complexes with use of API Laser Tracker 3]. Novosibirsk. " Siberian state university of geosystems and technologies " [Siberian state university of geosystems and technologies publishing house], 2016, 24 p. (in Russian)
- [9] Gurov S., Levichev E., Neyfeld V., Okunev I., Petrov V., Polyansky A. et al. Status NSLS-II bustera [Status of NSLS-II booster]. Sait mezhdunarodnykh konferentsiy (JACOW (www.JACoW.org))) [Website of the international conferences (JACOW (www.JACoW.org)))], 2011. Available at:<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/PAC2011/papers/wep201.pdf>. (in English)
- [10] Bokov M., Burenkov D., Polyanskiy A., Pupkov Yu. and Levashov Yu. Results of Long-term Observations of Deformations of the VEPP-4 Storage Ring Constructions, BINP [1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering Nottingham, 28 June – 1 July 2004]. Nottingham: tez. dokl.. on CD. (in English)

Monitoring of the Nuclear Engineering Large Size Products

Yu.I. Pimshin*¹, G.A. Naumenko**², L.V. Postoy*³, S.M. Burdakov*⁴

* *Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI",
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ *e-mail: yipimshin@mephi.ru*

ORCID: 0000-0001-6610-8725

WoS ResearcherID: J-6791-2017

³ *e-mail: lypostoj@mephi.ru*

ORCID: 0000-0001-6637-7976

WoS ResearcherID: J-6815-2017

⁴ *e-mail: SMBurdakov@mephi.ru*

ORCID: 0000-0002-8599-6008

WoS ResearcherID: F-6903-2017

** *Don state technical university,
Gagarina Sq., 1, Rostov-on-Don, Rostov region, Russia, 344000*

² *e-mail: eodez@aanet.ru*

ORCID: 0000-0002-7512-4687

WoS ResearcherID: J-7170-2017

Abstract – Results of the performed works at output monitoring of nuclear engineering products on the example of the portal crane detail are given in the article. The technology of monitoring realization is considered. The conclusion where it is noted that laser trackers including the measuring Vintag vehicle produced by Faro, have high efficiency of problem solving of product monitoring of mechanical engineering is made. Their software has an opportunity to carry out processing of observed dates and preparation of reports immediately on the platform of work performance and to give results immediately. To provide accuracy of spatial coordinate measurements of 0,005-0,01 mm at distances to 10000-15000 mm. All these characteristics allow recommending to machine-building enterprises use of such and similar measuring cars for problem solving on monitoring of product geometrical parameters.

Keywords: laser tracker, measuring geometric parameters, straightness, squareness, alignment, metrology, metrological characteristics, accuracy, admissions.