

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 528.48

РЕГЛАМЕНТНЫЕ РАБОТЫ ПО НАЛАДКЕ МАШИНЫ ПЕРЕГРУЗКИ ТОПЛИВА МП-1000 НА ЭТАПЕ ПЛАНОВО- ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА

© 2020 Ю.И. Пимшин*, В.А. Наугольников*, И.Ю. Пимшин**

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

**Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, Россия

В статье приведены результаты исследования, возможности повышения точности наведения машины перегрузки топлива (МП). Это реализуется путем определения фактических параметров конструктивных элементов машины. В том числе определяются геометрические характеристики, к которым относятся: горизонтальность путей машины и тележки, прямолинейность и параллельность в каждой паре путей машины и тележки, вертикальность штанги, ход моста МП, а в части уравнивания движения его правой и левой стороны (забегание сторон). Учет их, при автоматизированном наведении штанги МП на хвостовик тепловыделяющей сборки (ТВС), позволяет достичь полной автоматизации процесса и, в конечном счете, повысить оперативность кампании перегрузки топлива.

Ключевые слова: геометрические параметры; машина перегрузки топлива; контроль путей машины и тележки: прямолинейность, расположение, превышения; вертикальность штанги; забегание сторон машины.

Поступила в редакцию 02.10.2019

После доработки 21.12.2019

Принята к публикации 10.01.2020

Введение

Обязательным условием эксплуатации каждого блока любой атомной станции является выполнение планово-предупредительных ремонтов (ППР) на соответствующих этапах её работы. Основной регламентной работой, на каждом ППР, является кампания по перегрузке ядерного топлива. Данная работа выполняется машиной перегрузки топлива (МП-1000), которая, в свою очередь, после вскрытия энергоблока, наладывается (рис. 1). Наладка МП заключается в проверке её технических нормативных параметров, составной частью перечня, которых являются геометрические характеристики.

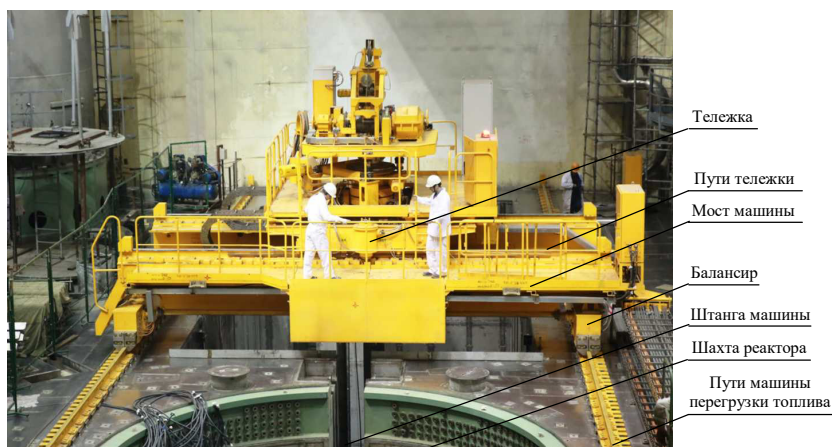


Рисунок 1 – Внешний вид машина перегрузки топлива (МП) [Refueling machine]

Основным технологическим допуском МП является точность наведения штанги на головку тепловыделяющей сборки (ТВС), соответствующей в линейной мере ± 3 мм. Для обеспечения этого параметра в автоматическом режиме работы машины необходимо, чтобы основные конструктивные элементы соответствовали требованиям, приведенным в чертежах: чертеж 8508.96.140 СБ «РП моста», чертеж 8508.96.425 СБ «РП тележки». При этом требования, предъявляемые к подкрановым путям МП, следующие:

- зазоры в стыках рельс не более 0,3 мм;
- отклонение от прямолинейности рельсового пути по боковым поверхностям не более 0,75 мм на длине 3 м;
- ступенчатость поверхности стыкуемых концов рельсов не более 0,15 мм;
- отклонение от прямолинейности рельсового пути не более 0,25 мм на длине 1 м;
- превышение в одном сечении поверхности одного рельса относительно другого не более 0,5 мм;

Технические требования, предъявляемые к подкрановым путям тележки МП следующие:

- зазоры в стыках рельс не более 0,3 мм;
- отклонение от прямолинейности рельсового пути по боковым поверхностям не более 0,75 мм на длине 3 м;
- ступенчатость поверхности стыкуемых концов рельсов не более 0,15 мм;
- поверхность правого и левого рельсов должны лежать в одной плоскости, неплоскостность должна быть не более 0,3 мм.

Методика выполнение контроля геометрических параметров МП

На каждом ППР, после остановки блока, выполняют контроль фактических геометрических параметров МП и выполняют их сравнение с допустимыми величинами этих же характеристик. Заполняют формуляры, предъявляют их надзорным структурам, и в случае соответствия всех характеристик требуемым значениям, получают разрешение на использование МП для перегрузки топлива.

В процессе контроля определяются геометрические характеристики, в том числе, выполняют нивелирование путей МП и её тележки, проводят контроль прямолинейности и параллельности в каждой паре путей машины и тележки, контроль вертикальности штанги, контроль хода моста, в части равенства перемещений его правой и левой стороны (забегание сторон).

Для выполнения данных работ на предварительном этапе при помощи стальной рулетки разбивают и маркируют точки с интервалом 1 метр (рис. 2).

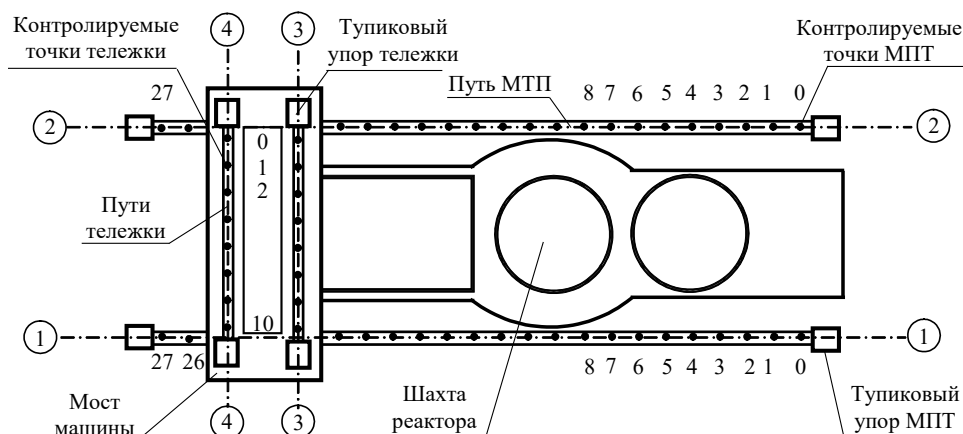


Рисунок 2 – Схема расположения контролируемых точек на путях МП и её тележки [The location of controlled points on the refueling machine tracks and its bogie]

Для обеспечения достоверного определения геометрических параметров МП, с учетом вышеперечисленных технических требований к ней, точность геодезических измерений m_i определялась в соответствии с известной формулой

$$m_i = C \cdot \delta_{tex}, \quad (1)$$

где C – коэффициент обеспечения точности;

δ_{tex} – технологическое отклонение.

В нашем случае, коэффициент обеспечения точности C примем равным 0,2. Тогда, контроль прямолинейности должен выполняться с точностью 0,05 мм ($\delta_{tex} = 0.25$ мм), контроль расположения с точностью 0.04 мм ($\delta_{tex} = 0.2$ мм), а нивелирование головок рельсов подкрановых путей должно выполняться с ошибкой, не превосходящей 0,10 мм ($\delta_{tex} = 0.5$ мм).

В соответствии с данными требованиями к точности, в качестве средства измерений рекомендуется лазерный трекер *Vintag* фирмы *Faro* [1-7]. Данное средство измерений широко используется для решения аналогичных измерительных задач [4-9]. Вопросы модернизации, повышения эффективности и безопасности, в том числе и для АЭС с реакторами РБМК затронуты в работах [10-13].

Способ измерений, реализуемый трекером – пространственная тахеометрия. Как известно, данный способ в общем виде заключается в том, что прибором измеряют горизонтальные β_i , вертикальные ν_i углы и наклонное расстояние S_i от инструмента до исследуемой точки, в системе системы координат машины или в системе координат выверяемого объекта. Имея полярные координаты исследуемых точек, программным комплексом измерительной машины, по ниже приведенным формулам (2), (3), (4) производится вычисление прямоугольных декартовых координат тех же точек в принятой системе координат:

$$x_i = x_0 + \Delta x_i = x_0 + S_i \cdot \cos \nu_i \cdot \cos \beta_i, \quad (2)$$

$$y_i = y_0 + \Delta y_i = y_0 + S_i \cdot \cos \nu_i \cdot \sin \beta_i, \quad (3)$$

$$h_i = z_0 + \Delta z_i = z_0 + S_i \cdot \sin \nu_i, \quad (4)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты определяемой (контролируемой) точки;

x_0, y_0, z_0 – начальные координаты *Vintag*;

$\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ – приращения координат до текущей точки i ;

ν_i, β_i – вертикальный и горизонтальный углы;

S_i – наклонное расстояние.

Методика выполнения измерений

Лазерный трекер последовательно устанавливают на двух станциях стояния. При этом одна станция расположена со стороны рельса 1-1 (А), вторая со стороны рельса 2-2 (В). Для ориентирования прибора в системе координат выверяемого объекта используют три точки, выполненные в виде марок, схема которых приведена на рисунке 3, приклеенных на верхней поверхности направляющих и совмещенных с их боковыми вертикальными образующими.

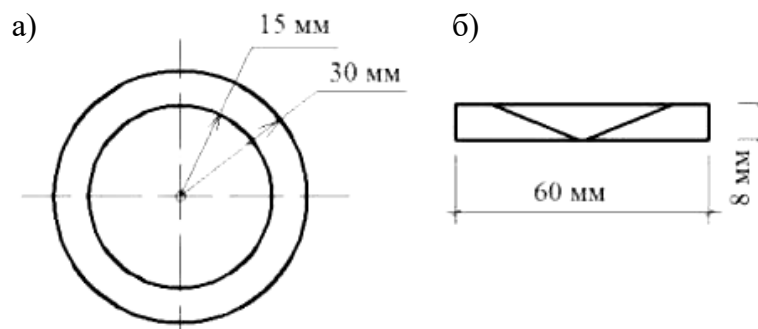


Рисунок 3 – Схема конструкции марок: а – вид сверху; б – вид сбоку [Stamp design diagram: a is top view; b is side view]

При этом две марки (т. 27-Л), (т. 0-Л) наклеены вдоль одного рельса, например, 1-1, а третья (т. 27-П), на противоположной стороне МП, например, на рельсе 2-2, примерно напротив (т. 27-Л). Установив измерительную машину на первой станции со стороны (А), примерно на расстоянии 4-10 метра от рельса 1-1, выполняют 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 $S_{(1-2)}$, $S_{(1-3)}$, $S_{(2-3)}$. По вычисленным параметрам, определяют и задают координаты выверяемого объекта, для этого принимают (5), (6), (7):

$$X_1=0, Y_1=0; \quad (5)$$

$$X_2=0, Y_2= S_{(1-2)}; \quad (6)$$

$$X_3= (S_{(1-3)}^2 + S_{(1-2)}^2 - S_{(2-3)}^2)/(2 \cdot S_{(1-2)}), Y_3= S_{(1-3)} - X_3^2. \quad (7)$$

При принятых координатах марок ось $Y-Y$ будет параллельна оси рельса 1-1, при этом величины координат будут возрастать от точки 27 к точке 0, а ось $X-X$ будет ей перпендикулярна, возрастание координат по этой оси совпадет с направлением от рельса 1-1 к рельсу 2-2.

Затем выполняет ориентирование измерительной машины в системе этих трех точек. Далее формируют файл (сеанс) новых измерений и выполняют все измерительные процедуры со стороны (А) МП. Обеспечив полный объем измерений со стороны (А), выполняют переустановку измерительной машины на вторую станцию со стороны (В). Здесь после приведения трекера 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 координаты всех контролируемых точек путей машины и тележки (см. рис. 2). В результате обработки измеренных координат определяют искомые параметры МП. При этом, например, определяют параметры прямолинейности рельсового пути машины, реализуя нижеследующую процедуру. Вначале определяют уравнение прямой проходящей через две заданные точки, это точки 27 и 0 на рельсе 1-1. Затем данное уравнение преобразуют к каноническому виду. После чего вычисляют параметры прямолинейности, используя выражения (8), (9):

$$\Delta_{np.i} = [(-1) \cdot Y_i + C \cdot X_i + D] / [\sqrt{(1 + C^2)}], \quad (8)$$

где $\Delta_{np.i}$ – параметр прямолинейности 1-1 рельса на i точке;

Y_i, X_i – координаты текущей точки i расположенной на рельсе 1-1;

C, D – коэффициенты уравнения прямой.

$$\Delta_{np,j} = [(-1) \cdot Y_j + C \cdot X_j + D] / [\sqrt{(1 + C^2)}] - B, \quad (9)$$

где $\Delta_{np,j}$ – параметр прямолинейности 2-2 рельса на j точке;

Y_j, X_j – координаты текущей точки j расположенной на рельсе 2-2;

B – проектный параметр расстояния между осями рельс 1-1 и 2-2.

Затем определяют превышение h_{ij} , в поперечном сечении сторон моста, одной над другой (10):

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (10)$$

где H_i, H_j – отметки точек рельсового пути МП, расположенные в одном поперечном сечении соответственно на левом (1-1) и правом (2-2) рельсе.

Затем определяют уклон I_{ij} в заданном сечении ij (11):

$$I_{ij} = \frac{h_{ij}}{B_{i-j}}, \quad (11)$$

где B_{i-j} – расстояние между точками $i-j$.

Имея в виду, что $I_{ij} = I_w$, (рис. 4), получим (12):

$$\chi_i = l_w \cdot I_{i-j}, \quad (12)$$

где l_w – длина секций штанги;

I_w – относительный крен штанги;

χ_i – смещение нижней осевой точки штанги от отвесной линии.

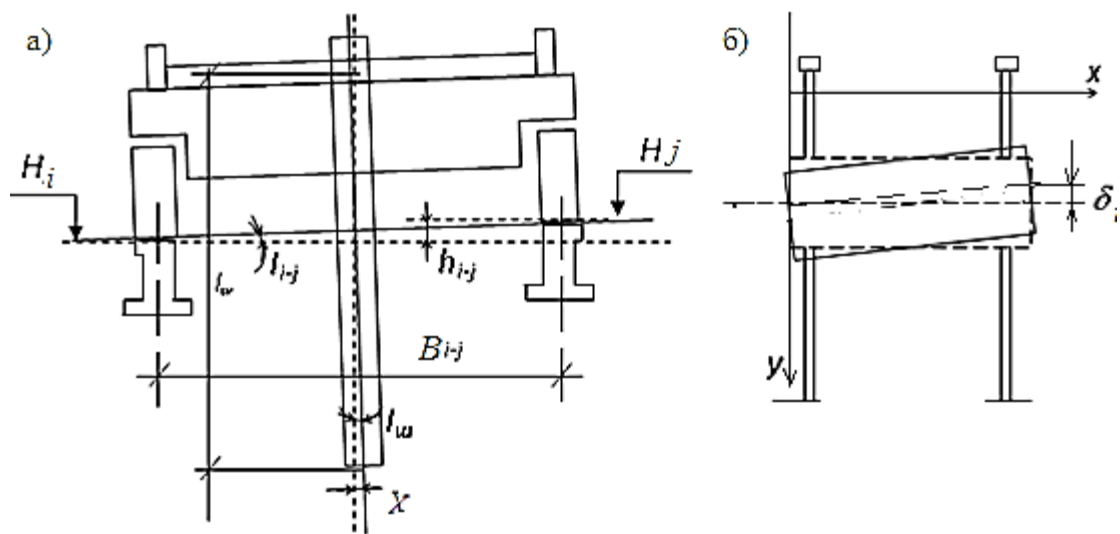


Рисунок 4 – Схема деформационных геометрических параметров машины перегрузки топлива (а – уклон моста и крен штанги; б – прекос моста) [Scheme of refueling machine deformation geometric parameters (a is slope of the bridge and roll of the bar; b is bridge imbalance)]

По плановым координатам x_i, y_i определяют параметры прямолинейности $\Delta_{np,i}$, $\Delta_{np,j}$ рельсового пути МП и тележки. Кроме этого определяют принадлежность верхней поверхности головки рельсов пути машины одной горизонтальной плоскости и превышение h_{ij} , в поперечном сечении между рельсами 1-1 и 2-2; 3-3 и 4-4. Исследуют равномерность хода моста крана (см. рис. 4б), определяют δ_i неравномерные составляющие (параметры опережения одной стороны моста машины относительно другой).

Заключение

В итоге контроля определяют совокупность деформационных параметров (13):

$$F = f(\chi_i, \Delta_i, h_{ij}, \delta_i, \dots), \quad (13)$$

на величины которых, при позиционировании МП, управляющей программой корректируют, путем перемещения положение штанги, её расположение. Таким образом, обеспечивают повышение точности наведения до величин, характеризующихся ошибками измерений в диапазоне точности не более ± 0.5 мм. Кроме того, повышается производительность машины перегрузки и сокращается время на кампанию перегрузки топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пимшин, Ю. И. Контроль геометрических параметров путей машины перегрузки топлива МП-1000 / Ю. И. Пимшин [и др.] // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. – 2008. – Спец. выпуск. – С.141-143.
2. Пимшин, Ю. И. Контроль прямолинейности и горизонтальности подкрановых путей / Ю. И. Пимшин, А. Р. Губеладзе, И. Ю. Пимшин // Прикладная геодезия. – Сборник научных трудов. – Ростов-на-Дону : РГСУ, 2002. – Депонировано в ВИНТИ 05.12.02. 2100-B2002.
3. Губеладзе, А. Р. Повышение точности наведения машины перегрузки топлива МП-1000 / А. Р. Губеладзе, Г. А. Науменко, Л. Ф. Кирильчик // Научное обозрение. – Москва : Издательский дом «Наука образования». – № 12. – 2013. – С. 56-58.
4. Пимшин, Ю. И. Калибровка станков с числовым программным управлением с помощью лазерного трекера VINTAG / Ю. И. Пимшин [и др.] // Инженерный вестник Дона. – № 3. – 2016. – URL : ivdon.ru/magazine/archive/n3y2016/3667.
5. Пимшин, Ю. И. Применение лазерного трекера для определения деформационных характеристик защитных оболочек / Ю. И. Пимшин [и др.] // Безопасность ядерной энергетики: тезисы докладов XI Международной научно-практической конференции 27-29 мая 2015 г. – ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгодонск : [Б.н.], 2015. – 1 электрон. опт. диск [СД]. – ISBN 978-7262-2114-4
6. Полянский, А. В. Разработка методики геодезического обеспечения строительства и эксплуатации ускорительно-накопительного комплекса на основе гармонического анализа : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. В. Полянский. – Новосибирск, 2015. – 24 с.
7. Буренков, Д. Б., Разработка методики геодезического контроля изготовления и установки элементов ускорительно-накопительных комплексов с использованием API Laser Tracker 3 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д. Б. Буренков. – Новосибирск, 2016. – 24 с.
8. Gurov, S. et al. Status of NSLS-II booster. PAC'11. New-York, 2011. WEP201. 437 p. URL : <http://www.JACoW.org>.
9. Bokov, M., Burenkov, D., Polyanskiy, A., Pupkov, Yu., 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, United Kingdom, 28 June – 1 July 2004. 1 electron optdisc (CD-room).
10. РЭ АТЭ.118.0003-2001. Модернизация перегрузочных машин для энергоблоков АЭС с ВВЭР / Концепция модернизации перегрузочных машин. – Москва : Концерн «Росэнергоатом», 2001. – 22 с.
11. Коробкин, В. В. Методы и средства повышения эффективности и безопасности функционирования мехатронного комплекса перегрузки ядерного топлива атомного реактора ВВЭР-1000 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. В. Коробкин. – Таганрог, 2007. – 18 с.
12. Твердовский, О. В. Разработка автоматизированной системы геодезического обеспечения наведения разгрузочно-загрузочной машины при перегрузке топлива в реакторах РБМК : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск, 2000, 23 с.
13. АМЕ. 114.00.00.000 РР2. Машина перегрузочная. Анализ функциональной безопасности. – Волгодонск : ОАО «Атоммашэкспорт», 2006.

REFERENCES

- [1] Pimshin Yu.I. [et al.] Kontrol' geometricheskix parametrov putej mashiny' peregruzki topliva MP-1000 [Control of Geometric Parameters of the MP-1000 Fuel Overload Machine Paths]. Izvestiya vuzov. Sev.-Kavk. region. Tekhnicheskie nauki [University News. North Caucasus Region. Technical Science]. 2008. Specz. vy'pusk [Spets. Issue]. P. 141-143 (in Russian).
- [2] Pimshin Yu.I., Gubeladze A.R., Pimshin I.Yu. Kontrol' pryamolinejnosti i gorizontal'nosti podkranovy'x putej [Control of Straightness and Horizontal Crane Tracks]. Prikladnaya geodeziya. Sbornik nauchny'x trudov. Rostov-na-Donu: RGSU. 2002. Deponirovano v VINITI [Engineering Geodesy. Collection of Scientific Works. Rostov-on-Don: RSBU, 2002. Deposited in VINITI] 05.12.02. 2100-V2002 (in Russian).
- [3] Gubeladze A.R., Naumenko G.A., Kiril'chik L.F. Povy'shenie tochnosti navedeniya mashiny' peregruzki topliva MP-1000 [Improving the Accuracy of Guidance of the MP-1000 Fuel Overload Machine]. Nauchnoe obozrenie. Moskva: Izdatel'skij dom «Nauka obrazovaniya» [Scientific Review. Moscow: Publishing House «Science of Education»]. № 12. 2013. P. 56-58 (in Russian).
- [4] Pimshin Yu.I. [et al.] Kalibrovka stankov s chislovym programmny'm upravleniem s pomoshh'yu lazernogo trekera VINTAG [Calibration of Machine Tools with Numerical Control Using Laser Tracker VINTAG]. Inzhenerny'j vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. № 3. 2016. URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3667 (in Russian).
- [5] Primenenie lazernogo trekera dlya opredeleniya deformacionny'x xarakteristik zashhitny'x obolochek [Application of Laser Tracker for Determination of Deformation Characteristics of Protective Shells]. Bezopasnost' yadernoj e'nergetiki: tezisy' dokladov XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 27-29 maya 2015 g. VITI NIYaU MIFI [i dr.]. Volgodonsk: [B.n.], 2015. 1e'lektron. opt. disk [SD]. [Safety of Nuclear Power: abstracts of XI International Scientific-Practical Conference May 27-29, 2015. VETI NRNU MEPhI [et al.]. Volgodonsk: [B.N.], 2015. 1 electron disc [CD]. ISBN 978-7262-2114-4 (in Russian).
- [6] Polyansky A.V. Razrabotka metodiki geodezicheskogo obespecheniya stroitel'stva i e'kspluatacii uskoritel'no-nakopitel'nogo kompleksa na osnove garmonicheskogo analiza : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk [Development of Methods of Geodetic Support of Construction and Operation of the Accelerator-Storage Complex on the Basis of Harmonic Analysis: Thesis Abstract of the PhD in Engineering]. Novosibirsk. 2015. 24 p. (in Russian).
- [7] Burenkov D.B. Razrabotka metodiki geodezicheskogo kontrolya izgotovleniya i ustanovki e'lementov uskoritel'no-nakopitel'ny'x kompleksov s ispol'zovaniem API Laser Tracker 3 : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk [Development of Methods of Geodetic Control of Manufacturing and Installation of Elements of Accelerator-Storage Complexes Using API Laser Tracker 3: Thesis Abstract of the PhD in Engineering]. Novosibirsk. 2016. 24 p. (in Russian).
- [8] Gurov S. [et al.] Status of NSLS-II booster. PAC'11. New-York, 2011. WEP201. 437 p. URL : <http://www.JACoW.org>.
- [9] Bokov M., Burenkov D., Polyanskiy A., Pupkov Yu., 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, United Kingdom, 28 June – 1 July 2004. 1 electron optdisc (CD-room).
- [10] RE' ATE'.118.0003-2001. Modernizaciya peregruzochny'x mashin dlya e'nergoblokov AE'S s VVE'R / Konceptiya modernizacii peregruzochny'x mashin. Moskva: Koncern «ROSE'NERGOATOM» [RE ATE'.118.0003-2001. Modernization of Reloading Machines for NPP Power Units with WVER / Concept of Reloading Machines Modernization. Moscow: «ROSENERGOATOM» Concern]. 2001. 22 p. (in Russian).
- [11] Korobkin V.V. Metody' i sredstva povы'sheniya e'ffektivnosti i bezopasnosti funkcionirovaniya mexatronnogo kompleksa peregruzki yadernogo topliva atomnogo reaktora VVE'R-1000 : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk [Methods and Means of Increasing the Efficiency and Safety of the Operation of the Mechatronic Complex of Nuclear Fuel Overload of the WVER-1000 Nuclear Reactor: Thesis Abstract of the PhD in Engineering]. Taganrog. 2007. 18 p. (in Russian).
- [12] Tverdovskiy O.V. Razrabotka avtomatizirovannoj sistemy' geodezicheskogo obespecheniya navedeniya razgruzochno-zagruzochnoj mashiny' pri peregruzke topliva v reaktorax RBMK : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk [Development of the Automated System of Geodetic Support of Guidance of the Unloading and Loading Machine at Fuel Overload in RBMK Reactors: Thesis Abstract of the PhD in Engineering]. Novosibirsk. 2000. 23 p. (in Russian).

- [13] AME. 114.00.00.000 PP2. Mashina peregruzochnaya. Analiz funktsional'noj bezopasnosti. Volgodonsk: OAO «Atommashe'ksport» [Reloading Machine. Functional Safety Analysis. Volgodonsk: «Atommasheksport» JSC]. 2006 (in Russian).

Regulatory Works of MP-1000 Fuel Overloading Machine Adjustment at the Preventive Maintenance Stage

Yu.I. Pimshin^{*1}, V.A. Naugolnov^{*2}, I.Yu. Pimshin^{3}**

^{}Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 34736*

*^{**}Don State Technical University, Gagarin square 1, Rostov-on-Don, Russia, 344000*

¹ORCID iD: 0000-0001-6610-8725

WoS Researcher ID: J-6791-2017

e-mail: yipimshin@mephi.ru

²ORCID iD: 0000-0002-1631-3365

e-mail: naugolnov53@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0002-8267-3617

WoS Researcher ID: O-8809-2018

e-mail: ivan.pimschin@yandex.ru

Abstract – The article presents the study results of the possibility to increase the accuracy of pointing the of the fuel refueling machine by determining the actual parameters of the structural elements including determining geometric characteristics which include leveling the paths of the manipulator and its bogie, control of straightness and parallelism in each pair of paths of the machine and bogie, control of rod verticality, control of the course of the fuel reloading machine bridge in terms of the equality of movement of its right and left sides. Taking them into account with automated guidance of the fuel refueling machine rod to the fuel assembly shank, it allows to achieve complete automation of the process and increase the efficiency of the fuel reloading company ultimately.

Keywords: geometric parameters; fuel refueling machine; control of paths of the machine and bogie, straightness control, location, excess, rod verticality, running over of the machine sides.