

**АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЕЧАЕК,
РАСПОЛОЖЕННЫХ НА РОЛИКООПОРАХ****ANALYSIS OF DEFORMED CONDITION OF SHUTTERS LOCATED
ON ROLLER-PROOFERS****Д.И. Миргадиев**
Damir I. Mirgadiev**А.И. Гумеров**
Artur I. GumerovУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian FederationUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

При сборке корпусов цилиндрических сосудов и аппаратов предъявляются повышенные требования к отклонениям геометрических параметров и к точности установки внутренних устройств.

Были рассмотрены требования, предъявляемые к отклонениям формы и размеров корпусов цилиндрических сосудов и аппаратов, максимально допустимые значения смещения кромок при сварке обечаек.

Исследование деформаций позволит понять их структуру, что, в свою очередь, повысит точность при изготовлении корпусов сосудов и аппаратов. Большую часть цилиндрических корпусов собирают в горизонтальном положении, когда обечайки лежат на роликоопорах. В статье представлен анализ деформаций, возникающих под действием силы тяжести в обечайках, расположенных на роликоопорах. Было проведено моделирование деформаций, возникающих в обечайках, расположенных на роликоопорах, вследствие действия силы тяжести, с применением метода конечных элементов. Моделирование проводилось в программном комплексе ANSYS, в модуле Mechanical APDL.

Исследованы зависимости величины максимальной деформации в зависимости от угла расположения роликоопор. Также исследована зависимость отклонения условной оси аппарата от реальной от расстояния между парами роликоопор.

Рассмотрены методы контроля геометрических параметров обечаек, такие как механический профилограф и система автоматического контроля геометрических параметров, в котором применяются современные лазерные технологии. Результаты исследования показали, что сила тяжести незначительно влияет на деформации обечаек. В исследованиях не были учтены остаточные сварочные напряжения, напряжения и деформации, возникающие при сборке обечаек. Получено значение оптимального угла расположения роликоопор — 140°. Следует установить максимальный угол расположения роликоопор, если их невозможно расположить на угол 70°. Отклонение реальной оси аппарата от условной находится в пределах $\pm 0,5$ мм, что не оказывает существенного влияния на точность изготовления. Полученные овальности торцевых и центральных сечений при воздействии силы тяжести на корпус не превышают 0,1 %, что находится в пределах допустимых значений.

Ключевые слова

сборка цилиндрических
сосудов и аппаратов; деформация;
сила тяжести;
контроль геометрических
параметров;
деформации обечаек

When assembling the shells of cylindrical vessels and apparatus, there are increased requirements for deviations of geometrical parameters and for the accuracy of installation of internal devices.

The requirements for deviations of the shape and size of the shells of cylindrical vessels and apparatus, the maximum allowable values of the displacement of the edges during welding of shells were considered.

The study of deformations will allow to understand their structure, which, in turn, will increase the accuracy in the manufacture of vessel shells and apparatus. Most of the cylindrical shells are assembled in a horizontal position when the shells lie on the roller supports. The article presents an analysis of the deformations arising under the action of gravity in the shells located on the roller supports. A simulation of the deformations occurring in the shells located on the roller bearings due to the action of gravity was carried out using the finite element method. The simulation was carried out in the ANSYS software package, in the Mechanical APDL module.

The dependences of the magnitude of the maximum strain as a function of the angle of the rollers were studied. The dependence of the deviation of the conventional axis of the apparatus on the real from the distance between the pairs of rollers was also investigated.

Methods for controlling the geometric parameters of the shells, such as a mechanical profilograph and an automatic system for controlling geometric parameters using modern laser technologies, were considered. The results of the study showed that gravity did not significantly affect the deformation of the shells. The studies did not take into account the residual welding stresses, stresses and strains that occur during the assembly of the shells. The obtained value of the optimal angle of location of the rollers is 140° . It is necessary to establish the maximum angle of location of the roller, if they can not be located at an angle of 70° . The deviation of the real axis of the apparatus from the conditional is within 0.5 mm, which does not significantly affect the accuracy of production. The resulting ovality of the end and central sections under the influence of gravity on the body does not exceed 0.1 %, which is within the limits of acceptable values.

В нефтеперерабатывающей и нефтегазовой промышленности большую долю аппаратов составляют цилиндрические сосуды и аппараты. К ним предъявляются повышенные требования по точности изготовления корпусов и расположению внутренних устройств.

При сборке корпусов цилиндрических сосудов и аппаратов необходимо уделять особое внимание операциям разметки и контролю геометрических параметров собираемых деталей. Основными показателями, характеризующими отклонения формы цилиндрической поверхности корпуса, являются отклонения от круглости и прямолинейности. Также необходимо учитывать, что при сварке двух обечаек между собой необходимо обеспечивать минимальное смещение кромок.

Нормативной технической документацией регламентируются допускаемые отклонения геометрических форм и параметров. Для колонных аппаратов допускаемая овальность составляет $\pm 0,5\%$ от номинального диаметра [1]. Однако в технической документации могут быть указаны более жесткие требования.

Key words

assembling of cylindrical vessels and apparatus; deformation; gravity; control of geometrical parameters; deformation of the shells

Это объясняется тем, что при большой овальности корпуса будет невозможно установить внутри аппарата тарелки или другие устройства.

В кожухотрубчатых теплообменных аппаратах отклонение внутреннего диаметра корпуса должно соответствовать Н14 по ГОСТ 25347-82 [2]. Максимальное отклонение для аппаратов диаметром 1000 мм составляет 2,6 мм, для аппаратов диаметром свыше 2400 мм — 5,4 мм. Для возможности монтажа внутри теплообменного аппарата трубного пучка и обеспечения минимальных зазоров между поперечными перегородками технической документацией задаются повышенные требования при изготовлении корпусов. Даже при соблюдении требований нормативных документов рекомендуется уменьшать технологический зазор между перегородками и корпусом для увеличения эффективности теплообменного аппарата [3].

Чтобы обеспечить необходимую точность при изготовлении корпусов сосудов и аппаратов необходимо понимать структуру деформа-

ций, возникающих при сборке. Большую часть цилиндрических корпусов собирают в горизонтальном положении, когда обечайки лежат на роликоопорах.

Было проведено моделирование деформаций, возникающих в обечайках, расположенных на роликоопорах, вследствие действия силы тяжести, с применением метода конечных элементов. Моделирование проводилось в программном комплексе ANSYS, в модуле Mechanical APDL. Были исследованы возникающие деформации, а также зависимости величин деформации в зависимости от рас-

положения роликоопор. Исследовалась обечайка с внешним диаметром $d = 2000$ мм, с толщиной стенки $S = 10$ мм. Диаметр роликоопор — $d_r = 200$ мм, ширина роликоопор — $b_r = 200$ мм.

В первую очередь был исследован характер деформаций обечайки. Длина обечайки составляет $l = 2000$ мм, расстояние между роликоопорами $l_r = 1000$ мм, угол между центрами роликоопор и центром обечайки $\alpha = 90^\circ$ (рисунок 1).

На рисунках 2, 3 представлены полученные значения деформаций.

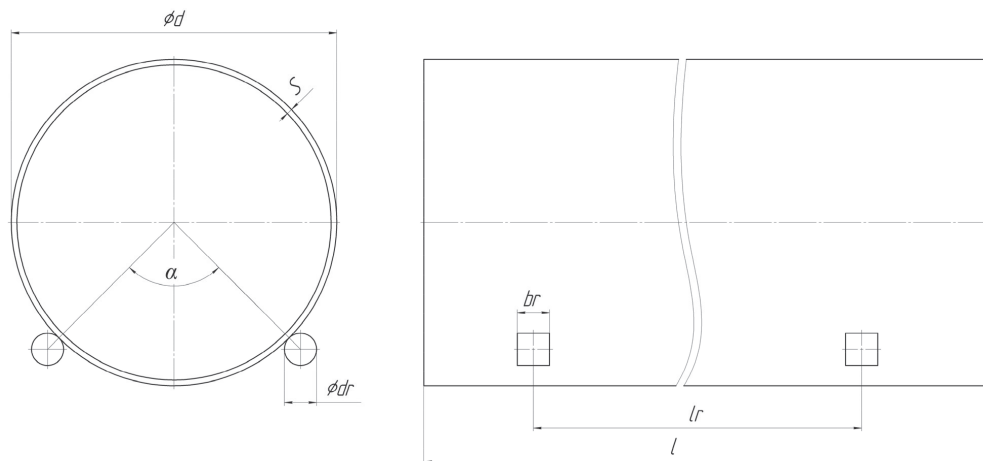


Рисунок 1. Параметры исследуемой обечайки

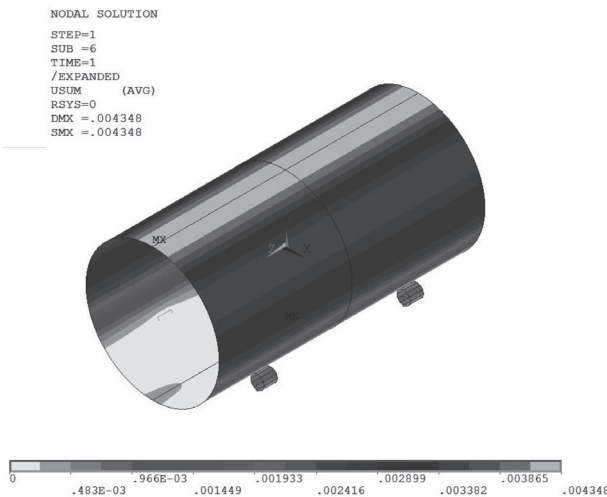


Рисунок 2. Суммарные перемещения, м

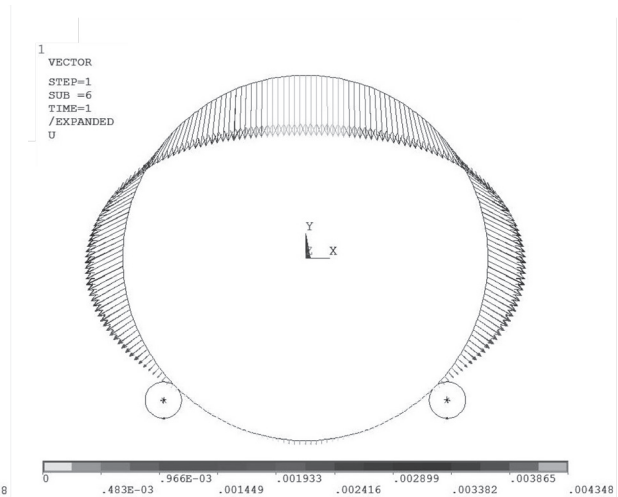


Рисунок 3. Векторы перемещений, м

Как видно из рисунков 2, 3, обечайка после деформации имеет сложную форму.

Была выведена зависимость максимальных перемещений по осям Ox и Oy в зависимости от угла установки роликоопор α . С помощью программного комплекса Microsoft Excel были построены графики зависимостей максимальных перемещений от угла α , а также построены линии трендов, чтобы определить

оптимальный угол размещения роликоопор (рисунки 4, 5). Минимальные перемещения по оси Oy достигаются при $\alpha = 139,9^\circ$ для расстояния между роликоопорами $l = 1000$ мм и $\alpha = 137,7^\circ$ для расстояния между роликоопорами $l = 1000$ мм. Минимальные перемещения по оси Ox достигаются при $\alpha = 180^\circ$. Однако такой невозможно установить, так как в этом случае обечайка не будет держаться на

роликоопорах. Можно сделать вывод, что необходимо выбрать угол установки роликоопор как можно ближе к 140°, однако такой угол не всегда будет возможен в условиях производства, так как при увеличении угла установки

увеличивается расстояние между нижней точкой обечайки и роликоопорами. Поэтому следует выбирать максимально возможный угол установки роликоопор.

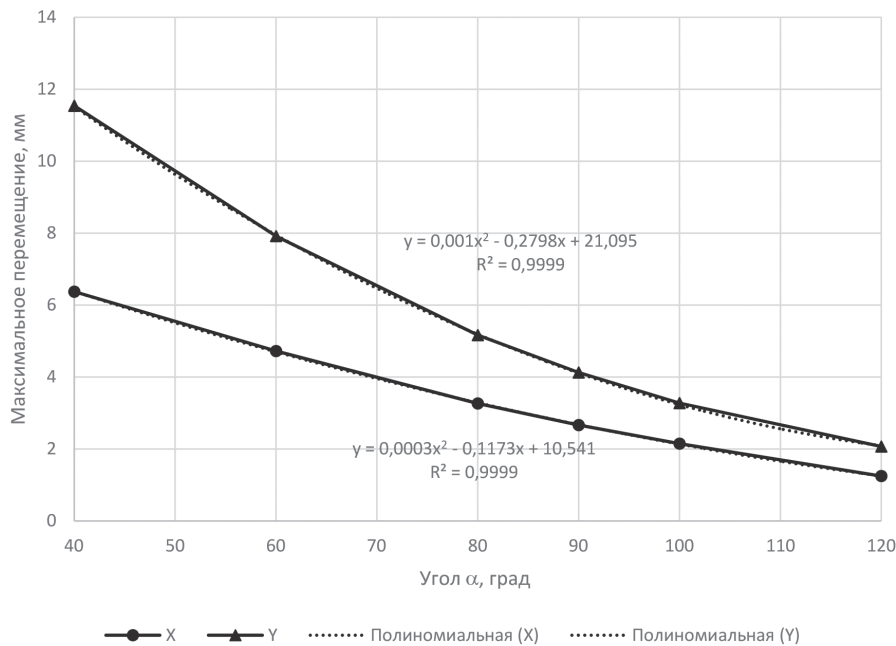


Рисунок 4. Максимальные перемещения по осям Oх и Oу при Ir = 1000 мм

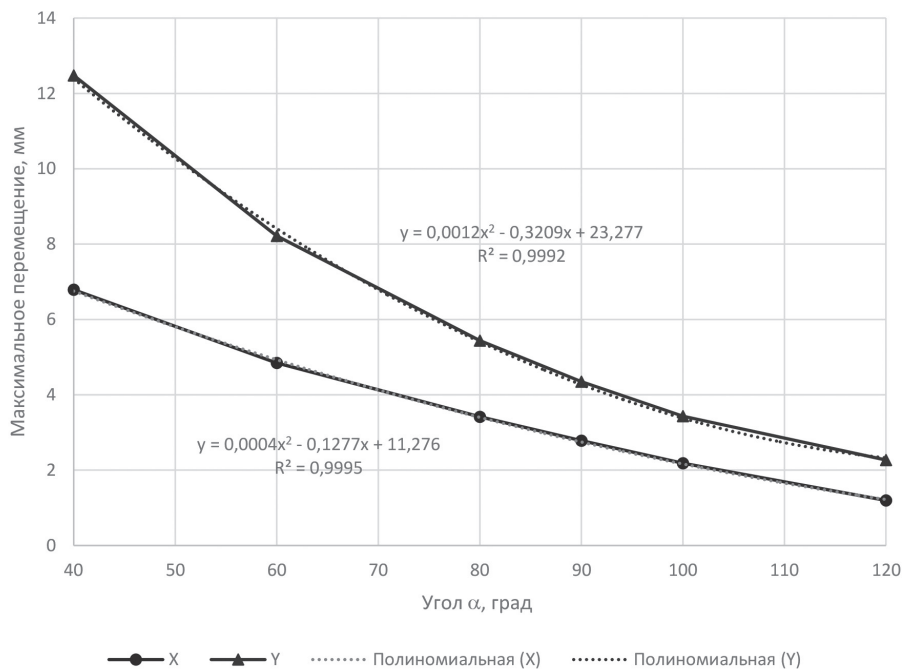


Рисунок 5. Максимальные перемещения по осям Oх и Oу при Ir = 2000 мм

Было определено максимальное отклонение реальной оси аппарата от условной оси в зависимости от расстояния между роликоопорами (рисунок 6). Видно, что отклонения не превышают 1 мм. Следовательно, расстояние между роликоопорами стоит выбирать, опираясь на удобство сборочных операций.

Также были рассчитаны значения овальности торцевых и центральных сечений. Полученные значения не превышают 0,1 %, что находится в пределах допустимых значений.

В патентах 2166729, 2455625, 2359219 [4–6] рассматривается способ контроля формы и внутренних диаметров цилиндриче-

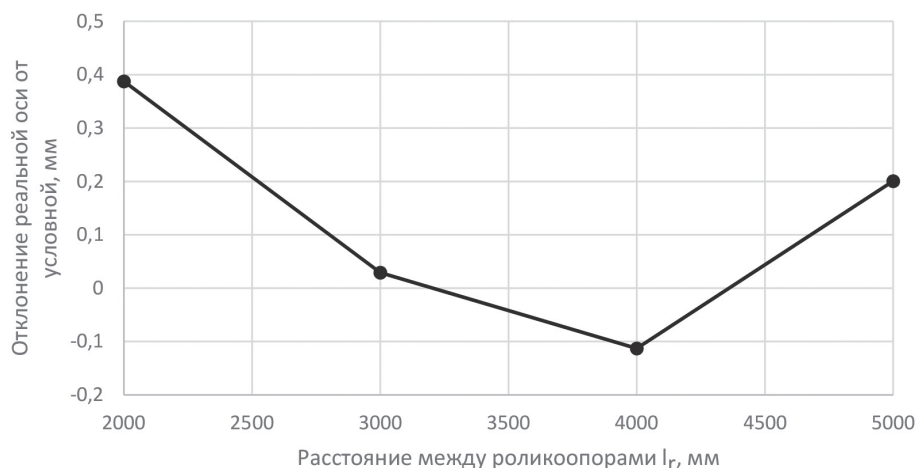


Рисунок 6. Зависимость отклонения реальной оси от расстояния между роликоопорами

ских аппаратов с помощью механических приборов. Профилограф устанавливается в нужном сечении, затем производится замер радиуса векторов. После этого рассчитываются отклонение установки профилографа от центра сечения и значение отклонения от круглости в данном сечении. Преимуществом данного метода является мобильность измерительной установки, т.е. возможность производить измерения в любом месте производственного цеха или на монтажной площадке. К недостаткам можно отнести пониженную точность, так как профилограф является механическим прибором.

Современным методом контроля является способ с применением автоматизированной системы геометрического контроля, в котором применяются лазерные технологии [7–10].

СПИСОК ИСПОЛЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 53684-2009. Аппараты колонные. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2011. 12 с.
2. ГОСТ Р 53677-2009. Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2011. 12 с.
3. Четверткова О.В., Ризванов Р.Г. Влияние конструктивных зазоров на интенсивность теплообмена и гидравлическое сопротивление кожухотрубчатого теплообменного аппарата // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 13. №3. С. 109-112.
4. Пат. 2166729 РФ, МПК G 01 B 005/08, G 01 B 005/12. Способ контроля формы и диаметров внутренних сечений крупногабаритных цилиндрических деталей / Р.Г. Ризванов, А.Ф. Инсафутдинов, Р.Г. Абдеев. 2000116682/28, Заявлено 23.07.2000; Опубл. 10.05.2001. Бюл. №13.
5. Пат. 2455625 РФ, МПК G 01 M 3/18, F 17 D /06, G 01 N 29/265. Устройство для сплошного сканирующего контроля качества неповоротных цилиндрических

Замер радиус-векторов производится с помощью лидара. Точность и скорость данного метода выше, чем при использовании механических приборов.

Выводы

Оптимальный угол расположения роликоопор: 140° . Следует максимально увеличить угол расположения роликоопор, если невозможно их установить на угол в 140° . Сила тяжести не оказывает значительное влияние на значение деформаций обечайек. Но необходимо учитывать влияние других факторов, например остаточные сварочные напряжения, напряжения и остаточные деформации от дефектов сборки. В результате воздействия силы тяжести обечайка принимает сложную форму в сечении. Рекомендуется проводить контроль формы обечайек на каждом этапе сборки.

деталей / В.В. Коннов, А.В. Коннов. 2011103486/28, Заявлено 01.02.2011; Опубл. 10.07.2012. Бюл. № 19.

6. Пат. 2359219 РФ, МПК G 01 B 7/12, G 01 B 3/22. Устройство для контроля размеров цилиндрических деталей / В.Б. Беляков, С.В. Алмакаев, А.П. Могилевский, В.В. Ковалев. 2007128823/28, Заявлено 25.07.2007; Опубл. 20.06.2009. Бюл. № 17.

7. Гумеров А.И., Миргадиев Д.И., Ризванов Р.Г. Повышение качества изготовления нефтехимических аппаратов применением автоматизированной системы геометрического контроля // Матер. 69-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: УГНТУ, 2018. С. 391.

8. Томилин С.А. Контроль отклонения от соосности номинально цилиндрических поверхностей деталей // Измерительная техника. 2007. Т. 50. №12. С. 17–20.

9. Высогорец Я.В., Чемборисов Н.А., Саубанов А.Н. Исследование операций контроля цилиндрических и торцевых поверхностей деталей // Прогрессивні технології і системи машинобудування. 2014. Т. 47. № 1. С. 79–84.

10. Высокорец Я.В., Чемборисов Н.А. Методика контроля групп параметров точности цилиндрических и торцевых поверхностей деталей // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. Т. 59. № 12. С. 20–26.

REFERENCES

1. GOST R 53684-2009. *Apparaty kolonnye. Tehnicheskie trebovaniya* [State Standard R 53684-2009. Columns. Technical Requirements]. Moscow, Standartinform, 2011. 12 p. [in Russian].
2. GOST R 53677-2009. *Neftjanaja i gazovaja promyshlennost'. Kozhuhotrubchatye teploobmenniki. Tehnicheskie trebovaniya* [State Standard R 53677-2009. Petroleum and Natural Gas Industries Shell-And-Tube Heat Exchangers]. Moscow, Standartinform, 2011. 12 p. [in Russian].
3. Chetvertkova O.V., Rizvanov R.G. Vlijanie konstruktivnyh zazorov na intensivnost' teploobmena i gidravlichesкое soprotivlenie kozhuhotrubчатого teploobmennogo apparata [Influence of Constructive Gaps on Heat Transfer Rate and Hydraulic Resistance of Shell-And-Tube Heat Exchanger]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2012, Vol. 10, No. 3, pp. 109–112. [in Russian].
4. Rizvanov R.G., Insafutdinov A.F., Abdeev R.G. *Sposob kontrolja formy i diametrov vnutrennih sechenij krupnogabaritnyh cilindricheskikh detalej* [Method of Control of the form and Diameter of the Internal Sections of Large-Size Cylindrical Details]. Patent RF, No. 2166729, 2001. [in Russian].
5. Konnov V.V., Konnov A.V. *Ustroistvo dlya sploшного skaniruyushchego kontrolya kachestva nepovorotnykh tsilindricheskikh detalei* [Device for Screening Quality Inspection of Non-Rotative Cylinder Parts]. Patent RF, No. 2455625, 2012. [in Russian].
6. Belyakov V.B., Almakaev S.V., Mogilevskii A.P., Kovalev V.V. *Ustroistvo dlya kontrolya razmerov tsilindricheskikh detalei* [Device for Cylinder Parts Size Control]. Patent RF, No. 2359219, 2012. [in Russian].
7. Gumerov A.I., Mirgadiyev D.I., Rizvanov R.G. Povyshenie kachestva izgotovleniya neftehimicheskikh apparatov primeneniem avtomatizirovannoj sistemy geometricheskogo kontrolja [Improving the Quality of Manufacture of Petrochemical Devices using an Automated Geometric Control System]. *Materialy 69 nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh UGNTU* [Proceedings of 69 Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientifics of USPTU]. Ufa, USPTU, 2018. pp. 391. [in Russian].
8. Tomilin S.A. Kontrol' otkloneniya ot soosnosti nominal'no tsilindricheskikh poverkhnostei detalei [Monitoring the Deviation of Coaxiality of Nominally Cylindrical Surfaces of a Component]. *Izmeritel'naya tekhnika — Measurement Techniques*, 2007, Vol. 50, No. 12, pp. 17–20. [in Russian].
9. Vysogorets Ya.V., Chemborisov N.A., Saubanov A.N. Issledovanie operatsii kontrolya tsilindricheskikh i tortseyvkh poverkhnostei detalei [Cilindrical and Butt Surfaces Automatic Control Operations Researching]. *Progressivni tekhnologii i sistemi mashinobuduvannya — Progressive Technologies and Systems of Mechanical Engineering*, 2014, Vol. 47, No. 1, pp. 79–84. [in Russian].
10. Vysogorets Ya.V., Chemborisov N.A. Metodika kontrolya grupp parametrov tochnosti tsilindricheskikh i tortseyvkh poverkhnostei detalei [Control Methods of Accuracy Parameter Groups of Cylindrical and end Surfaces of parts]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta — Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2011, Vol. 59, No. 12, pp. 20–26. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Миргадиев Дамир Ирекович, ассистент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Damir I. Mirgadiyev, Assistant of Oil Processing Equipment Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: mirgadiyev@outlook.com

Гумеров Артур Ильгизович, магистрант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Artur I. Gumerov, Undergraduate Student of Oil Processing Equipment Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: gumerov24@gmail.com