

УДК 621.642.3

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СВАРНОГО
УТОРНОГО УЗЛА СТАЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА
IMPROVEMENT OF THE CONSTRUCTION OF THE WELDED RIM
WELD OF A STEEL VERTICAL TANK**

Романчук А. С., Валеев Н. Н., Биккинин А. И., Чернятьева Р. Р.

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

A. S. Romanchuk, N. N. Valeev, A. I. Bikkinin, R. R. Chernyatyeva

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

Аннотация. В данной работе рассматриваются актуальные вопросы повышения ресурса работы уторного узла стального вертикального резервуара. Как показывают многочисленные исследования, долговечность данного узла во многом зависит от точности его изготовления.

Существующая технология полистовой сборки методом наращивания поясов предусматривает сборку и сварку трех первых поясов и последующую приварку их к окрайке резервуара. При этом предполагается, что давление создаваемое весом трех поясов, приведет к плотному прилеганию стенки и окрайки: величина зазора между ними будет лежать в допусковых пределах (0-1 мм).

Анализ технологии изготовления данного узла на реальном объекте показал наличие значительных отклонений собираемого уторного узла от регламентированных значений в соединении «стенка – окрайка». Также выявлена деформация (подъем) окрайки вследствие воздействия

остаточных сварочных напряжений. Оба указанных дефекта влияют на усталостную долговечность сварной конструкции резервуара.

Авторами предлагается использовать обратный выгиб краевых листов, с целью исключения завышенных зазоров, а также компенсации сварочных напряжений и деформаций. Проведенный анализ с применением численных методов решений подтвердил такую возможность.

В результате практических исследований установлено, что в резервуарах объемом до 10 000 м³ для компенсации сварочных деформаций окрайки, а также для снижения зазора в соединении «стенка – окрайка», необходимо предусмотреть обратный выгиб краевых листов с максимальным значением 3 мм. Также допускается сохранение обратного выгиба величиной до 1 мм. В этом случае растягивающие напряжения, возникающие при эксплуатации резервуара, будут компенсироваться сжимающими.

Abstract. In this paper, topical issues of increasing the service life of a rim weld of a steel vertical tank are considered. As shown by numerous studies, the durability of this node largely depends on the accuracy of its manufacture.

The existing technology of sheet assembling by the method of belt building provides for assembly and welding of the first three belts and their subsequent welding to the edge sheets of the tank. It is assumed that the pressure created by the weight of the three belts will lead to a close fit of the wall and the edge sheets: the gap between them will lie within the allowed limits (0-1 mm).

The analysis of the technology of manufacturing this unit on a real object showed the presence of significant deviations of the assembled rim weld from the regulated values in the wall – edge sheets connection. Also, the deformation (rise) of the margin is revealed due to the influence of residual welding stresses. Both of these defects affect the fatigue life of the welded tank structure.

Authors are invited to use reverse bend of edge sheets, in order to avoid overestimated clearances, as well as compensation of welding stresses and

deformations. The analysis carried out using numerical methods of solutions confirmed this possibility.

As a result of practical studies, it has been established that in reservoirs with a volume of up to 10 000 m³, to compensate for welding deformation of the edge, as well as to reduce the gap in the wall – edge sheets joint, it is necessary to reverse the bend of the edge sheet with a maximum value of 3 mm. It is also possible to maintain a back bend up to 1 mm. In this case, the tensile stresses arising from the operation of the reservoir will be compensated by compressive stresses.

Ключевые слова: резервуар, уторный узел, краечные листы, сварочные напряжения, технологический непровар, сварочные деформации, обратный выгиб.

Key words: tank, rim weld, edge sheets, welding stress, incomplete fusion, welding deformations, reverse bend.

В современной нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности вертикальные цилиндрические резервуары получили большое распространение. Вертикальный стальной резервуар представляет собой стационарное сооружение емкостного типа, предназначенное для хранения, приема, отпуска и учета нефти и нефтепродуктов.

Как подтверждают многочисленные исследования, одним из наиболее нагруженных участков резервуара, вследствие его низкой деформационной способности и наличия внутренних сварочных напряжений, является уторный узел [1].

Существующая технология полистовой сборки методом наращивания поясов предусматривает сборку и сварку трех первых поясов и последующую приварку их к окрайке резервуара [2]. При этом предполагается, что давление, создаваемое весом трех поясов, приведет к

плотному прилеганию стенки и окрайки: величина зазора между ними будет лежать в допустимых пределах (0-1 мм) [3].

Анализ выполненных сборочных работ на реальных объектах показывает, что имеют место участки с отклонением от допустимых значений зазора, при этом длина таких участков достигает до 7 % от общей площади соприкосновения стенки и окрайки (рисунок 1). Наличие данного зазора обусловлено неточностью при подготовке поверхностей, как бетонного основания, так и кромок стенки резервуара.



Рисунок 1. Завышенные зазоры

Проведенными исследованиями установлено, что величина зазора значительно влияет на малоцикловую прочность уторного узла. При увеличении зазора до 2,5 мм количество циклов до появления трещины в узле снижается на 23,25 % [4].

Практически на каждом резервуаре также визуально определяется деформация (подъем) окрайки, вызванная остаточными сварочными напряжениями, величина которой в настоящих нормативных документах не регламентируется. При этом логично предположить, что вследствие подъема окрайки площадь давления стенки и крыши резервуара на отмотку уменьшается. В результате чего отмотка резервуара подвергается повышенной сосредоточенной нагрузке от веса стенки и крыши.

Замер деформаций краечных листов действующих резервуаров показал, что подъем краечных листов днища в результате угловых

деформаций при выполнении уторного шва в среднем составляет 3-6°. В редких случаях может достигать 9° [4].

На сегодняшний день работы по совершенствованию уторного узла ведутся в различных направлениях [5-8]. Авторы работы [5] считают, что оптимальной формой сварного шва в уторном узле является шов, вогнутый вовнутрь, который гарантирует отсутствие пластических деформаций в зоне уторного сварного соединения в процессе эксплуатации.

В работе [6] исследователи рассматривают величину выступа окрайки, как причину больших внутренних напряжений в узле при неравномерной осадке. Они считают, что наименьшие напряжения при неравномерной осадке обеспечивает выступ окрайки 60 мм.

С точки зрения конструирования и технологии изготовления данный узел сложно назвать технологичным, и на сегодняшний день известны работы по изменению конструктивного исполнения данного узла с исключением сварного шва из зоны утора [7, 8].

Актуальность данной работы обусловлена тем, что более 15 % дефектов резервуаров в период его эксплуатации регистрируются в данном узле, а именно, трещины, поры, волнистость окрайки и т.д. Одним из взаимосвязанных дефектов, на наш взгляд, является разрушение отмостки (рисунок 2), что влечет за собой остановку резервуара на капитальный ремонт.



Рисунок 2. Трещины в отмостке резервуара

В разрабатываемой нами конструкции предлагается использовать один из известных способов снижения сварочных напряжений и деформаций – обратный выгиб окрайки (рисунок 3). Причем нами предлагается два варианта исполнения обратного выгиба. При первом варианте (рисунок 3,а) величина обратного выгиба окрайки такова, что при выполнении приварки к ней стенки резервуара окрайка в результате пластических деформаций принимает плоскую форму. За счет этого устраняется возможность подъема окрайки вследствие действия остаточных сварочных напряжений и за счет этого сила давления стенки и крыши на отмокту равномерно распределяется по площади окрайки.

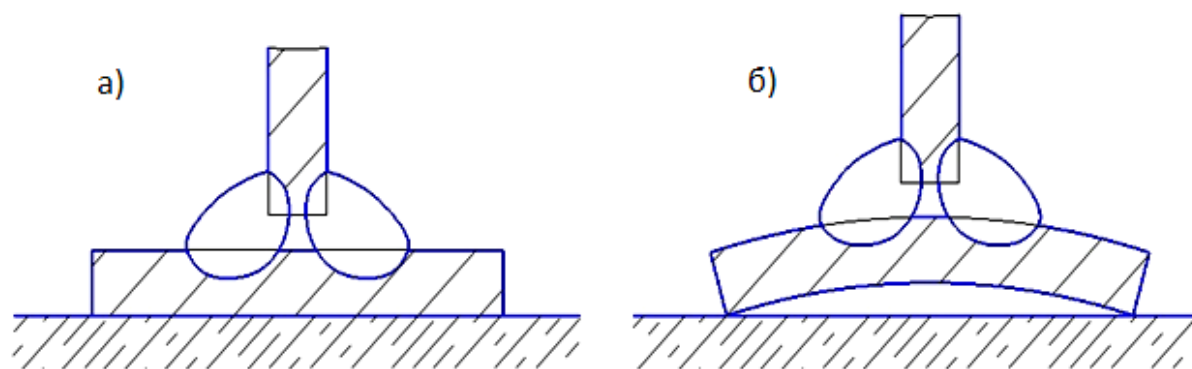


Рисунок 3. Схематичное изображение уторного узла с исполнением окрайки с обратным выгибом после выполнения сварки:
 а) без сохранения выгиба; б) с сохранением выгиба

При втором варианте (рисунок 3,б) предусматривается сохранение незначительного обратного выгиба. При этом в сварном шве уторного узла в процессе его нагружения будут возникать внутренние сжимающие напряжения (рисунок 4), которые могут изменять предел выносливости в несколько раз, повышая его значение даже в присутствии такого концентратора, как конструктивный непровар [9].

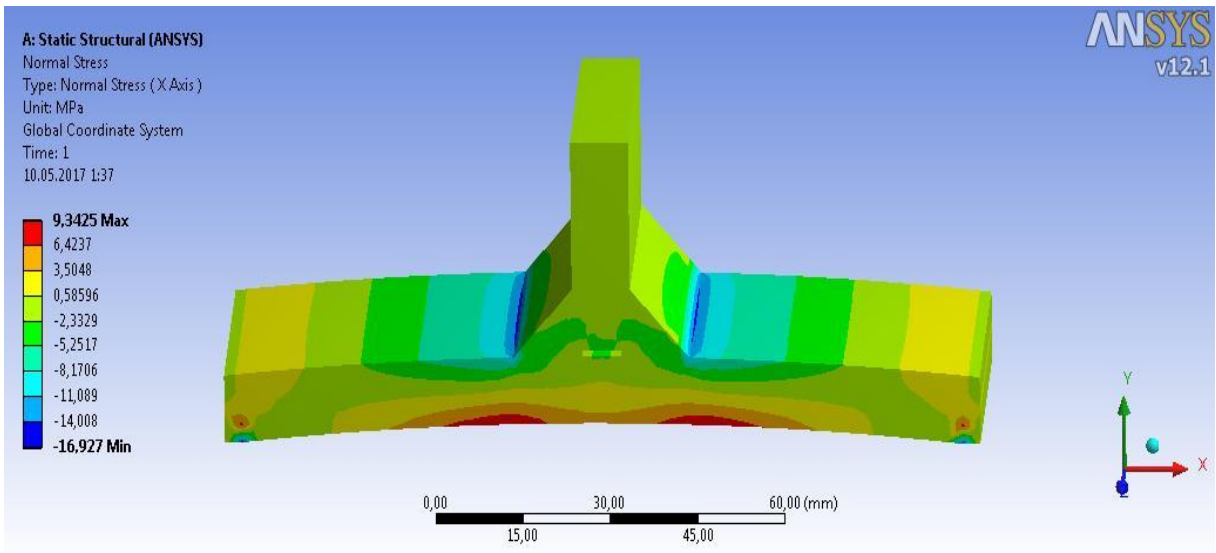


Рисунок 4. Поле нормальных напряжений в уторном узле с обратным выгибом, возникающих в процессе изготовления, МПа

В случае деформации (подъема) окрайки, вызванной остаточными сварочными напряжениями, в зоне утора при эксплуатации возникают растягивающие напряжения (рисунок 5), которые в предлагаемой конструкции будут компенсироваться сжимающими (рисунок 4).

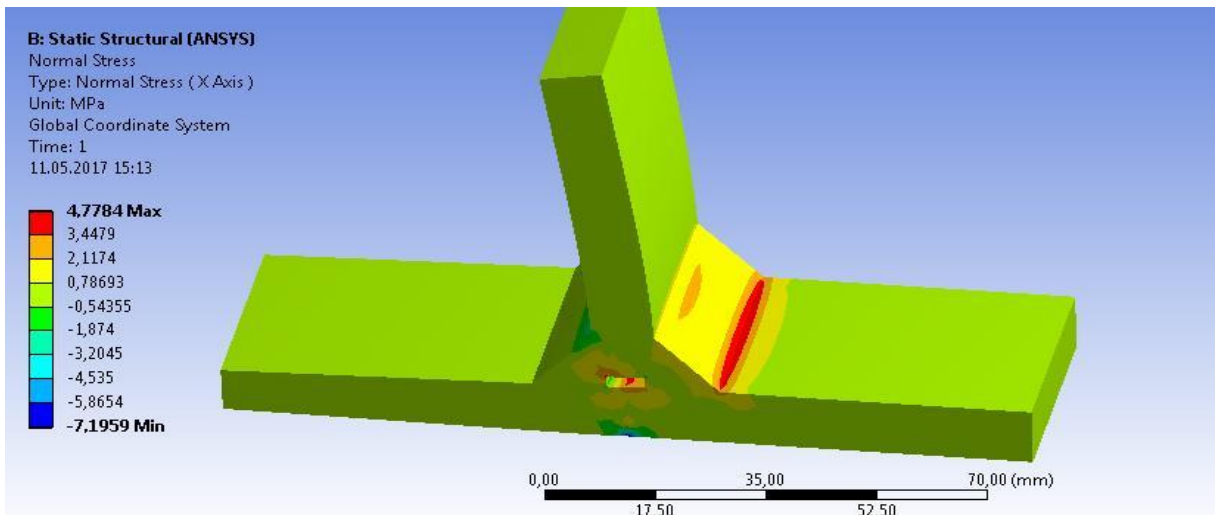


Рисунок 5. Поле нормальных напряжений, возникающих в уторном узле в процессе эксплуатации

Также обратный выгиб окрайки позволит решить проблему, связанную с превышением допустимого зазора, под действием силы собственного веса стенка резервуара продавит обратно выгнутую окрайку, тем самым, устранив зазор [10].

С целью определения необходимой величины выгиба, были проведены практические исследования в лабораторных условиях на натуральных образцах. Образцы принимали из стали 09Г2С толщиной 10 мм, размером 120 × 130 мм выгиб производился на прессе, выступ окрайки с двух сторон обеспечили по 60 мм, как рекомендуется в работе [6]. К окрайкам приваривали стенки размером 120 × 60 мм механизированной сваркой в среде углекислого газа под прессом (рисунок 6). Пресс имитировал давление веса стенки резервуара РВС-5000, свернутой в рулон (рулонный способ изготовления).



Рисунок 6. Сварка образцов с выгибом

После полного остывания образцов проводились замеры деформации. Результаты показали, что все образцы деформируются не более чем на 3 мм (рисунок 7). Края образцов без обратного выгиба приподнимаются на 2-3 мм. Образцы с выгибом 3 мм почти полностью выпрямляются, а на образцах с обратным выгибом 6 мм остается выгиб в 3-4 мм. Данные исследования показали, что наиболее оптимальная величина обратного выгиба составляет 3 мм.

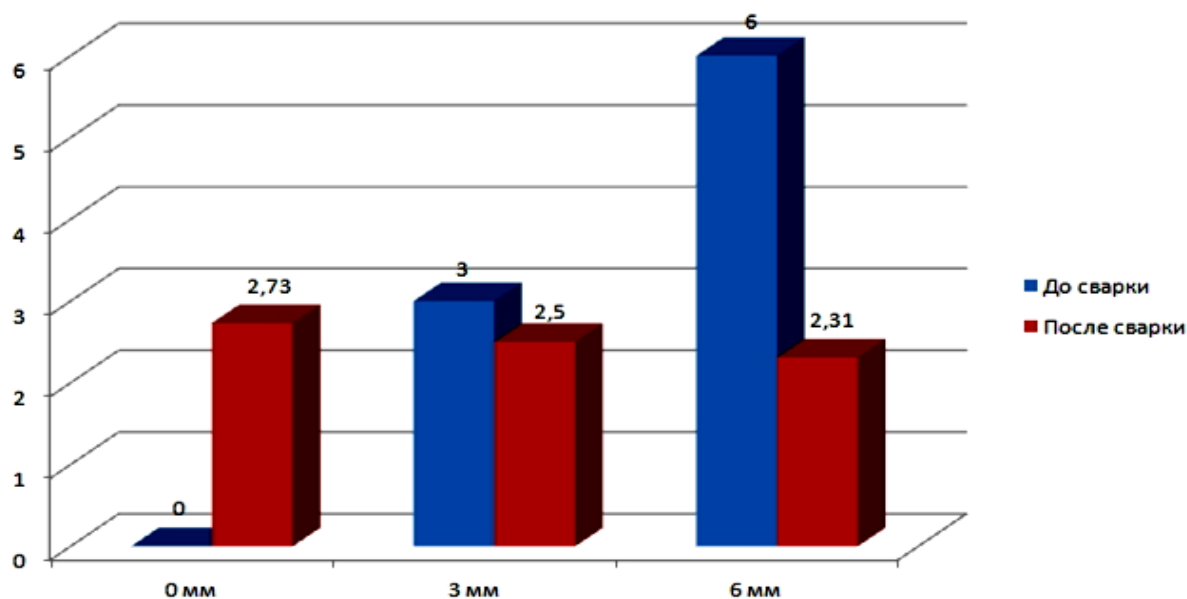


Рисунок 7. Величина деформации образцов до и после сварки, мм

Предложенная конструкция уторного узла обладает новизной. На конструкцию резервуара с данной конструкцией уторного узла в 2016 г. нами получен патент на полезную модель [11].

Выводы

1. В результате проведенных замеров установлено, что подъем краечных листов днища в результате угловых деформаций при выполнении уторного шва в среднем составляет 3-6°, может достигать 9°.

2. Предложена новая конструкция уторного узла с обратным выгибом окрайки, которая позволит повысить точность изготовления уторного узла и повысить ресурс его работы. Установлено, что для исключения подъема краечных листов необходимо обеспечить величину обратного выгиба в 3 мм.

3. Допускается сохранение обратного выгиба величиной до 1 мм. В этом случае растягивающие напряжения, возникающие при эксплуатации резервуара в зоне уторного узла, будут частично компенсироваться сжимающими.

Список используемых источников

- 1 Исследование конструктивных элементов уторного шва резервуаров/ А. А. Скорняков, М. З. Зарипов, И. Г. Ибрагимов, А. Л. Карпов, К. Д. Вержбицкий // Нефтегазовое дело. 2014. № 12-4. С. 157-161.
- 2 РД 25.160.10-КТН-050-06. Инструкция по технологии сварки при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. М.: ОАО «АК «Транснефть». 2006. 216 с.
- 3 ГОСТ 31385-2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. М.: Стандартинформ. 2010. 58 с.
- 4 Модернизация уторного узла стального вертикального резервуара/ А. Ф. Файрушин, Н. Н. Валеев, А. С. Романчук, А. И. Биккинин, М. З. Ямилев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2016. № 2. С. 18-21.
- 5 Семин Е. Е. Оценка долговечности уторных узлов вертикальных стальных резервуаров в процессе эксплуатации: автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 2012. 21 с.
- 6 Чепур П. В., Тарасенко А. А., Тарасенко Д. А. Исследование влияния величины выступа окрайки на напряженно-деформированное состояние вертикального стального цилиндрического резервуара при развитии неравномерной осадки наружного контура днища // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-15. С. 3441-3445.
- 7 Скорняков А. А., Файрушин А. М. Совершенствование конструкции уторного узла стального вертикального резервуара // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. № 2 (14). С. 32-37.

8 8 Металлический резервуар большого объема для хранения углеводородов / А. А. Землянский, В. В. Петров, С. А. Ращепкина, М. Ю. Мирошкин, М. Р. Валиулин: пат. 2400610, Рос. Федерация. № 2009115260/03; заявл. 21.04.09; опубл. 27.09.10. Бюл. № 27. 6 с.

9 Ачинович Н. Н., Клыков Н. А. Влияние остаточных напряжений на выносливость сварных соединений стали повышенной прочности // Автоматическая сварка. 1973. № 11. С. 6-8.

10 Совершенствование технологии изготовления уторного узла стального вертикального / А. М. Файрушин, М. З. Ямилев, О. В. Четверткова, А. И. Биккинин // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 6. С. 84-87.

11 Металлический резервуар для хранения жидких продуктов / Файрушин А. М., Каретников Д. В., Романчук А. С., Валеев Н. Н., Четверткова О. В., Ямалетдинова Л. И., Биккинин А. И.: пат. 164588 Рос. Федерация. № 2016112006/03; заявл. 30.03.2016; опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25. 3 с.

References

1 Issledovanie konstruktivnyh elementov utornogo shva rezervuarov/ A. A. Skornyakov, M. Z. Zaripov, I. G. Ibragimov, A. L. Karpov, K. D. Verzhbickii // Neftegazovoe delo. 2014. № 12-4. S. 157-161. [in Russian].

2 RD 25.160.10-KTN-050-06. Instrukciya po tehnologii svarki pri stroitel'stve i remonte stal'nyh vertikal'nyh rezervuarov. M.: OAO «AK «Transneft'». 2006. 216 s. [in Russian].

3 GOST 31385-2008. Rezervuary vertikal'nye cilindricheskie stal'nye dlya nefiti i nefteproduktov. Obshie tehnicheckie usloviya. M.: Standartinform. 2010. 58 s. [in Russian].

4 Modernizaciya utornogo uzla stal'nogo vertikal'nogo rezervuara / A. F. Fairushin, N. N. Valeev, A. S. Romanchuk, A. I. Bikkinin, M. Z. Yamilev // Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. 2016. № 2. S. 18-21. [in Russian].

5 Semin E. E. Ocenka dolgovechnosti utornyh uzlov vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov v processe ekspluatatsii: avtoref. dis.... kand. tehn. nauk. M., 2012. 21 s. [in Russian].

6 Chepur P. V., Tarasenko A. A., Tarasenko D. A. Issledovanie vliyaniya velichiny vystupa okraiki na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie vertikal'nogo stal'nogo cilindricheskogo rezervuara pri razvitii neravnomernoi osadki naruzhnogo kontura dnisha // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. № 10-15. S. 3441-3445. [in Russian].

7 Skornyakov A. A., Fairushin A. M. Sovershenstvovanie konstrukcii utornogo uzla stal'nogo vertikal'nogo rezervuara // Nauka i tehnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov. 2014. № 2 (14). S. 32-37. [in Russian].

8 Metallicheskie rezervuar bol'shogo ob'ema dlya hraneniya uglevodorodov / A. A. Zemlyanskii, V. V. Petrov, S. A. Rashepkina, M. Yu. Miroshkin, M. R. Valiulin: pat. 2400610, Ros. Federaciya. № 2009115260/03; zayavl. 21.04.09; opubl. 27.09.10. Byul. № 27. 6 s. [in Russian].

9 Achinovich N. N., Klykov N. A. Vliyanie ostatochnykh napryazhenii na vynoslivost' svarnykh soedinenii stali povyshennoi prochnosti // Avtomaticheskaya svarka. 1973. № 11. S. 6-8. [in Russian].

10 Sovershenstvovanie tehnologii izgotovleniya utornogo uzla stal'nogo vertikal'nogo / A. M. Fairushin, M. Z. Yamilev, O. V. Chetvertkova, A. I. Bikkinin // Nauka i tehnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov. 2016. № 6. S. 84-87. [in Russian].

11 Metallicheskie rezervuar dlya hraneniya zhidkih produktov / Fairushin A. M., Karetnikov D. V., Romanchuk A. S., Valeev N. N., Chetvertkova O. V., Yamaletdinova L. I., Bikkinin A. I.: pat. 164588 Ros. Federaciya. № 2016112006/03; zayavl. 30.03.2016; opubl. 10.09.2016, Byul. № 25. 3 s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Романчук А. С., студент, группа БМС-13 ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

A. S. Romanchuk, student of BMS-13 Group FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Валеев Н. Н., студент, группа БМС-13 ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

N. N. Valeev, student of BMS-13 Group FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Биккинин А. И., кафедра «Технология нефтяного аппаратостроения» ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

A. I. Bikkinin, Chair of technology of petroleum equipment engineering FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Чернятьева Р. Р., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Метаматика» ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

R. R. Chernyatyeva, Candidate of Physical-mathematical Sciences, Associate Professor of the Chair «Mathematics», FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: tna_ugntu@mail.ru