

UDC 621.45.038.72:66.048.3

Author: KATAMANOV Vladimir Leonidovich, Ph.D. in Chemistry, Professor of the Department «Environmental Protection and Prudent Exploitation of Natural Resources», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, oosripr@rusoil.net;

Author: NAZAROV Alexey Mikhaylovich, Doctor of Chemistry, Professor of the Department «Environmental Protection and Prudent Exploitation of Natural Resources», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, oosripr@rusoil.net;

Author: GARANKOV Ivan Nikolaevich, Senior Research Associate of the Department «Environmental Protection and Prudent Exploitation of Natural Resources», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, oosripr@rusoil.net;

Author: TUKTAROVA Iren Olvertovna, Ph.D. in Engineering, Professor, Head of the Department «Environmental Protection and Prudent Exploitation of Natural Resources», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, umrko@mail.ru

CREATION OF ANTICORROSION COATINGS FOR CONTACT DEVICES OF RECTIFYING COLUMNS

EXTENDED ABSTRACT:

Today the main corrosion protection methods applied in contact devices of rectifying oil processing equipment, in particular, in mesh nozzles made of stainless steel, under relatively high temperatures (150–250°C) and in the presence of aggressive components in oil raw materials (hydrogen sulfide, sulfides, mercaptans, other sulphurous compounds, chloride ions, organochlorine connections, water) are to use special alloys as protecting covers as well as corrosion inhibitors that reduce corrosion action of hostile environment. At the same time, the disadvantages of the majority of these methods concern high operational costs, insufficient efficiency or protection ability designed only for a certain factor, but not for combination of them.

In this regard corrosion resistance of mesh contact devices made of stainless steel (brand SUS 321) has been studied on three types of samples: alloy wire, welded grid, thin leaf.



Titanium nitride (TiN) and metallic coatings from nickel (Ni), titanium (Ti) and chrome (Cr) were used as anticorrosion coatings for the mentioned samples. These coverings were applied on samples in two ways: by means of electrolytic method and vacuum ion-plasma dusting. It was determined that optimal coating thickness is 10–15 microns as it is the thickness at which the produced films possess sufficient plasticity and do not exfoliate from the surface of the corresponding corrosion-proof alloy.

The research of corrosion of samples of stainless steel SUS 321 with applied coverings and without them was performed by immersing the samples into compositions that contain oil as well as into the modeling hostile oil-containing environment. As a result of the conducted researches it was determined that the protecting covers of chrome and titanium nitride applied with vacuum ion-plasma dusting method are the most effective coatings from the point of view of anti-corrosive protection for mesh contact devices of stainless steel used in rectifying columns.

Key words: rectifying column, mesh contact devices, stainless steel, hostile environment, corrosion inhibitors, anticorrosion protecting covers.

DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36

MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Creation of anticorrosion coatings for contact devices of rectifying columns</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 1, pp. 21–36. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Katamanov V.L., Nazarov A.M., Garankov I.N., Tuktarova I.O.</a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-1-2018/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-1-2018/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="umrko@mail.ru" rel="cc:morePermissions">umrko@mail.ru</a>.
```

References:

1. Haydarova G.R., Islamutdinova A.A., Dmitriev YU.K., Sidorov G.M., Ivanov A.N. Ingibitor korrozii neftepromyslovyh sred [Corrosion inhibitor in oil field environments]. Neftegazovoe delo [Oil and gas business]. 2015. Vol. 13, no. 4, pp. 249–253. DOI: <http://dx.doi.org/10.17122/ngdelo-2015-4-249-253>. (In Russian).



2. *Maltseva G.N.* Korroziyai i zashchita oborudovaniya ot korrozii [Corrosion and protection of the equipment against corrosion]. Penza, 2000. 211 p. (In Russian).
3. *Chirkin V.S.* Teplofizicheskie svoystva materialov [Thermal properties of materials]. Moscow, FIZMATGIZ., 1959. 356 p. (In Russian).
4. *Akhmetov, L.I., Kolbin, A.M., Ismagilov, F.R., Podshivalin A.V., Tuktarova I.O.* Utilization of products of demercaptanization of hydrocarbon raw material // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 1999. Vol. 35, no. 3, pp. 126–128. – <https://doi.org/10.1007/BF02694237>. (In English).
5. *Latypova F.M., Tuktarova I.O., Katamanov V.L., Tsyurulnik R.F.* Natural hydrocarbon raw materials as a source of sulphides receiving. J. Procedia Engineering, 2015, Vol. 113, pp. 37–42. (In English).
6. *Latypova F.M., Nugumanov R.M., Biktasheva L.F., Tuktarova I.O.* Vydelenie i issledovanie sostava seraorganicheskikh soedinenij vysokosernistoj nefti [Separation and research of organosulfur compounds content of high-sulfur crude oil]. SOCAR Proceedings, 2016, № 3, pp. 61–65. (In Russian).
7. *Ibragimov N.G., Abramov M.A., Shammassov R.M., Knyazev S.Yu., Shakirov F.Sh.* Optimizaciya antikorrozionnoj zashchity zony svarnogo soedineniya trub s vnutrennim polimernym pokrytiem dlya stroitel'stva vysokonapornyh truboprovodov sistemy podderzhaniya plastovogo davleniya [Improvement of anti-corrosion protection of weld junction of polymer-lined pipes used in high-pressure formation pressure maintenance system]. Neftyanoe khozyaystvo [Oil Industry]. 2017. № 6. pp. 55–57. (In Russian).
8. STP 2082-594-05. Metody obezhirivaniya oborudovaniya. Obshchie trebovaniya k tekhnologicheskim processam [Methods of degreasing of the equipment. General requirements to technological processes]. Moscow, Izdatel'stvo standartov [Standards Publishing House]. 2005. (In Russian).
9. *Katamanov V.L., Nazarov A.M., Garankov I.N., Tuktarova I.O.* Research of formation of deposits in technological devices and corrosion of contact devices from stainless steel. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 6, pp. 131–150. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-6-131-150](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-6-131-150). (In Russian).
10. *Rizvanov R.G., Mulikov D.Sh., Karetnikov D.V., Cherepashkin S.E., Shirgazina R.F.* Corrosion resistance of «tube – tubesheet» weld joint obtained by friction welding. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 4, pp. 97–115. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-97-115](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-97-115). (In Russian).



11. *Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Yastrebinsky R.N.* Creating nanoshell on the surface of titanium hydride bead. *Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2016, Vol. 8, no. 6, pp. 102–119. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119). (In Russian).
12. *Mamaev V.I.* Funkcional'naya gal'vanotekhnika [Functional galvanotechnics]. Kirov. 2013. 208 p. (In Russian).
13. *Butovskij K. G., Lyasnikov V.N.* Napylennye pokrytiya, tekhnologiya i oborudovanie [The raised dust coverings, technology and the equipment]. Saratov. 1999. 117 p. (In Russian).
14. *Kudinov V.V., Bobrov G.V.* Nanesenie pokrytij napyleniem. Teoriya, tekhnologiya i oborudovanie [Drawing coverings dusting. The theory, technology and the equipment]. Moscow, Metallurgia [Metallurgy], 1992. 431 p. (In Russian).
15. *Trushin O.S., Bochkaryov V.F., Naumov V.V.* Modelirovanie processov ehpitaksial'nogo rosta plenok v usloviyah ionno-plazmennogo napyleniya [Simulation of epitaxial growth under ion-beam sputtering]. *Mikroelektronika [Microelectronics]*. 2000. Vol. 29, no. 4. pp. 296–309. (In Russian).
16. *Tekhnologiya tonkih plenok Tom 1, 2. Spravochnik / Pod red. L. Majssela, R. Glehnga [Technology of thin films. Volume 1, 2. The reference book / Edited by L. Mayssel, R. Glenga.]*. Moscow, Soviet Radio [Sovetskoe radio], 1977. (In Russian).
17. GOST 9.506-87 Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya v gravimetricheskom prilozhenii [Unified system of corrosion and aging protection in the gravimetric application]. Moscow, Izdatel'stvo standartov [Standards Publishing House]. 1993. 16 p. (In Russian).
18. *Tuktarova I.O.* Sostav i zakonomernosti vygoraniya koksovyyh otlozhenij zhelezookisnogo katalizatora pererabotki vysokomolekulyarnogo neftyanogo syr'ya [Structure and regularities of burning out of coke deposits of the iron oxide catalyst of processing of high-molecular oil raw materials]. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Ufinskij gosudarstvennyj neftyanoy tekhnicheskij universitet [The thesis for degree of Ph.D. in Engineering, the Ufa state oil technical university]*. Ufa, 1995. (In Russian).
19. *Vezirov R.R., Tuktarova I.O., Yavgil'din I.R., Kuz'mina Z.F., Telyashev E.G., Khairudinov I.R., Imashev U.B.* Oxygen compounds in 350°C-EP fraction from thermocatalytic processing of heavy feed. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 1995. Vol. 31, № 6, pp. 285–287. – <https://doi.org/10.1007/BF00727607>. (In English).
20. *Telyashev E.G., Vezirov R.R., Yavgil'din I.R., Tuktarova I.O., Telyashev G.G., Imashev U.B.* Elemental composition of deposits on natural iron oxide catalyst in pro-



- cessing medium-sulfur feed. Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 1995. Vol. 31, № 6, pp. 288–292. – <https://doi.org/10.1007/BF00727608>. (In English).
21. *Garan'kov I.N., Katamanov V.L., Nazarov A.M., Tuktarova I.O.* O prichinah obrazovaniya otlozhenij v shlemovyh liniyah rektifikacionnogo oborudovaniya pri neftepererabotke [About the origins of formation of deposits in the still-head lines of rectifying equipment at oil processing]. Sbornik materialov IX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Fundamental'naya nauka i tekhnologii – perspektivnye razrabotki» [Proceedings of the IX international scientific and practical conference «Fundamental Science and Technologies – Perspective Developments»]. Ufa, 2016, pp. 189–190. (In Russian).
 22. *Garan'kov I.N., Katamanov V.L., Nazarov A.M., Tuktarova I.O.* Obrazovanie otlozhenij v shlemovyh liniyah rektifikacionnogo oborudovaniya pri neftepererabotke: prichiny i puti resheniya problem [Formation of deposits in the still-head lines of the rectifying equipment at oil processing: the reasons and solutions of a problem]. Sbornik materialov XXX Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati akademika Akademii nauk Respubliki Bashkortostan Dilyusa Lutfullicha Rahmankulova «Himicheskie reaktivy, reagent i process malotonnazhnoj himii» [Proceedings of the XXX International scientific and technical conference devoted to memory of the academician of Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan Dilyus Lutfullich Rakhmankulov «Chemical reactants, reagents and processes of low-tonnage chemistry»]. Ufa, 2016, pp. 190–191. (In Russian).

DEAR COLLEAGUES!**THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:**

Katamanov V.L., Nazarov A.M., Garankov I.N., Tuktarova I.O. Creation of anti-corrosion coatings for contact devices of rectifying columns. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 1, pp. 21–36. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36). (In Russian).



УДК 621.45.038.72:66.048.3

Автор: КАТАМАНОВ Владимир Леонидович, канд. хим. наук, доц. каф. «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, oosripr@rusoil.net;

Автор: НАЗАРОВ Алексей Михайлович, д-р хим. наук, проф. каф. «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, oosripr@rusoil.net;

Автор: ГАРАНЬКОВ Иван Николаевич, ст. науч. сотр. каф. «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, oosripr@rusoil.net;

Автор: ТУКТАРОВА Ирэн Ольвертовна, канд. техн. наук, доц., зав. каф. «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, umrko@mail.ru

СОЗДАНИЕ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН

АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

На сегодняшний день основными методами защиты от коррозии контактных устройств ректификационного оборудования нефтепереработки, в частности, сетчатых насадок из нержавеющей стали, в условиях относительно высоких температур (150–250°C) и при наличии агрессивных компонентов в нефтяном сырье (сероводорода, сульфидов, меркаптанов, других сернистых соединений, хлорид-ионов, хлорорганических соединений, воды) являются применение особых сплавов в качестве защитных покрытий, а также ингибиторов коррозии, снижающих коррозионное действие агрессивной среды. Вместе с тем, большинство этих методов имеют недостатки, связанные с высокой стоимостью эксплуатации, недостаточной эффективностью или способностью защищать только от определенного фактора, а не от их совокупности.

В связи с этим проведены исследования коррозионной стойкости сетчатых контактных устройств, выполненных из нержавеющей стали марки



12X18H10T, на трех видах образцов: проволока из сплава, сетка сварная, лист тонкий.

В качестве антикоррозионных покрытий для указанных образцов были использованы нитрид титана (TiN) и металлические покрытия из никеля (Ni), титана (Ti) и хрома (Cr). Данные покрытия наносились на образцы двумя способами: электролитическим методом и вакуумным ионно-плазменным напылением. Было установлено, что оптимальной толщиной покрытия является 10–15 мкм, при которой полученные пленки обладают достаточной пластичностью и не отслаиваются от поверхности соответствующего нержавеющей сплава.

Исследование коррозии образцов нержавеющей стали 12X18H10T с нанесенными покрытиями и без покрытий проводилось погружением в составы, содержащие нефть, а также в моделирующие агрессивные нефтесодержащие среды. В результате проведенных исследований установлено, что защитные покрытия хрома и нитрида титана, нанесенные методом вакуумного ионно-плазменного напыления, являются наиболее эффективными с точки зрения антикоррозионной защиты сетчатых контактных устройств из нержавеющей стали, используемых в ректификационных колоннах.

Ключевые слова: ректификационная колонна, сетчатые контактные устройства, нержавеющая сталь, агрессивная среда, ингибиторы коррозии, антикоррозионные защитные покрытия.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36)

МАШИНОЧИТАЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СС-ЛИЦЕНЗИИ В МЕТАДАННЫХ СТАТЬИ (HTML-КОД):

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br />Произведение «<span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Создание антикоррозионных покрытий для контактных устройств ректификационных колонн</span>» созданное автором по имени <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 1. – С. 21–36. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Катаманов В.Л., Назаров А.М., Гараньков И.Н., Туктарова И.О.</a>, публикуется на условиях <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">лицензии Creative Commons С указанием авторства 4.0 Всемирная</a>. <br />Основано на произведении с <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-1-2018/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-1-2018/</a>. <br />Разрешения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="umrko@mail.ru" rel="cc:morePermissions">umrko@mail.ru</a>.
```



На сегодняшний день основными методами защиты от коррозии контактных устройств ректификационного нефтеперерабатывающего оборудования, в частности, сетчатых насадок из нержавеющей стали, в условиях относительно высоких температур (150–250°C) и при наличии агрессивных компонентов в нефтяном сырье (сероводорода, сульфидов, меркаптанов, других сернистых соединений, хлорид-ионов, хлорорганических соединений, воды) являются применение особых сплавов в качестве защитных покрытий, а также ингибиторов коррозии, снижающих коррозионное действие агрессивной среды. Большинство этих методов имеют недостатки, связанные с высокой стоимостью эксплуатации, недостаточной эффективностью или способностью защищать только от определенного фактора, а не от их совокупности [1], например:

1) в качестве ингибиторов сероводородной коррозии применяются водорастворимые (ИКБ-2, ИКБ-4, ИКБ-6, ИКБ-8, ИФХАНГАЗ-1В) и углеводородорастворимые (ДТ-91-N, КО, ИКВ-1, контол-77 и уникор и др.) [2]. Однако, как показал опыт практического применения ингибиторов ТАЛ-25-13-Р (ТУ 24.1-00135390-114-2002 с изменением 1), АддиТОП (СТО 67177647-14-2012), ИКБ-4 и ИКБ-4-У (ТУ 38.101460-74), ДИН-4 (ТУ2226-001-34743072-98) и т.д., использование ингибиторов обоих видов при температурах выше 100°C неэффективно;

2) использование защитных покрытий на основе органических материалов (лаки, полимеры, смолы, резиновые и силиконовые футеровки, смазки) для контактных устройств ректификационных колонн нецелесообразно в связи с их низкой температурной стабильностью (как правило, не более 100°C) [2], а также очень низким коэффициентом теплопроводности данных материалов 0,02–0,5 Вт/м·°C, что делает невозможным эффективный теплообмен [3];

3) большинство применяемых защитных покрытий на основе бинарных соединений металлов и неметаллов (оксиды (Al_2O_3 , MgO, TiO_2); карбиды кремния, бора или титана; нитриды бора) характеризуются



высокой температурной стабильностью вплоть до 1000°C и более, однако в присутствии агрессивных сред данная стабильность существенно снижается уже при температурах 100–300°C [2], кроме того, коэффициент теплопроводности для данных покрытий также низкий [3], что затрудняет их применение;

4) применяются также защитные покрытия на основе металлов (Mg, Al, Ni, Cr, Ti, Zn), однако ряд металлов, такие как Mg, Al, Zn, сами склонны к значительной коррозии [2].

На технологических установках использованные (отработанные) сетчатые контактные устройства из нержавеющей стали марки 12X18H10T без антикоррозионного покрытия представляют собой глубоко прокорродировавшие объекты, не способные выполнять функцию теоретических тарелок в процессе ректификации. В свою очередь, ежегодная, а иногда и более частая, замена контактных устройств ведет к значительным экономическим потерям, а также к необходимости утилизации отработанных контактных устройств в виде отходов, содержащих сульфиды, меркаптиды, тяжелые металлы Cr, Ni, Ti, Mn и другие вредные компоненты [4–7].

Для исследования коррозионной стойкости сетчатых контактных устройств, выполненных из нержавеющей стали марки 12X18H10T, в условиях коррозионно-активной среды были использованы три вида образцов: проволока из сплава (по ГОСТ 18143-72 диаметром 3 мм, длиной 250 мм), сетка сварная (по ГОСТ 23279-85 с размерами ячеек 40x40 мм и 200x200 мм), лист тонкий (по ГОСТ 5582-75 размером 150x50 мм).

Для качественного нанесения защитных слоев образцы из нержавеющей стали предварительно подвергались очистке, включающей обезжиривание в уайт-спирите и электрохимическое обезжиривание [8].

Исходя из анализа существующих видов антикоррозионной защиты и на основании результатов ранее проведенных исследований [9–11], в качестве возможных вариантов антикоррозионных покрытий для указанных образцов были выбраны: бинарное соединение – нитрид титана (TiN) и металлические покрытия из никеля (Ni), титана (Ti) и хрома (Cr). Покрытия наносились на образцы двумя способами: электролитическим способом и способом вакуумного ионно-плазменного напыления (ВИПН).

В первом случае в качестве электролитических металлических защитных покрытий для образцов из нержавеющей стали марки 12X18H10T



были выбраны металлы, которые изначально присутствуют в этих образцах с образованием аустенитной структуры сплава: Ni, Ti, Cr.

Нанесение покрытий проводилось в электрохимической ванне, катодом являлись сами образцы из нержавеющей стали.

Для никелирования использовался водный раствор, содержащий $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 320 г/л; $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 40 г/л; H_3BO_3 – 40 г/л; 1,4-бутандиол – 0,15 г/л; сахарин – 1,0 г/л; фталимид – 0,04 г/л. Анодом служил графит (С).

Для хромирования использовался водный раствор, содержащий CrO_3 – 250 г/л; H_2SO_4 – 2,5 г/л. Анодом служил листовой свинец (Pb) [12]. В зависимости от температуры электролита и плотности тока были получены следующие покрытия: серый хром, блестящий хром, матовый хром, блестящий никель (табл. 1).

Таблица 1

**Виды покрытий, полученные электрохимическим
осаждением металлов**

Условия электрохимического осаждения металлов		Наименование полученного покрытия
Температура раствора, °С	Плотность тока, А/дм ₂	
30–40	20–40	Серый хром
40–55	40–60	Блестящий хром
55–65	60–75	Матовый хром
55–5	60–75	Блестящий никель

В результате проведенных экспериментов было установлено, что металлические пленки и покрытия бинарного соединения толщиной более 20 мкм обладают сравнительно малой адгезией к поверхности нержавеющей сплава, и даже при незначительной деформации (изгиб образца) происходит отслаивание защитной пленки. Поэтому в дальнейших исследованиях создавались покрытия (пленки) толщиной 10–15 мкм, которые обладают достаточной пластичностью и не отслаиваются от поверхности соответствующего нержавеющей сплава.

Вторым способом нанесения защитных покрытий на образцы являлся метод ВИПН, который представляет собой способ введения ато-



мов примесей в поверхностный слой пластины или эпитаксиальной пленки путём бомбардировки его поверхности пучком ионов с высокой энергией (10–2000 кэВ) при давлении 10^{-2} Па и ниже [13–16].

На исследуемые образцы были нанесены покрытия из чистых металлов – Ti и Cr, а также из нитрида титана TiN, для получения которого напыление титана проводилось в атмосфере азота. Использовалась установка периодического действия со следующими параметрами режима напыления проб: ток дуги – 160 А, напряжение смещения при очистке – 1000 В, напряжение смещения при нанесении покрытия – 180 В, давление азота – 6,67 Па. При нанесении титана использовался в качестве катода титан с чистотой 99,9 и хром с чистотой 99,2, соответственно.

В дальнейшем проводилось исследование коррозии образцов нержавеющей стали 12Х18Н10Т с нанесенными покрытиями и без покрытий погружением в составы, содержащие нефть, а также в моделирующие агрессивные нефтесодержащие среды. При разработке модельных составов учитывался тот факт, что исследование процессов коррозии должно происходить при температурах не менее 200°C, и в растворе должны содержаться агрессивные компоненты, присутствующие в реальных условиях нефтепереработки (табл. 2).

Таблица 2

Составы модельных растворов

№ п/п	Вещество	Содержание вещества, г/л						
		Раствор 1	Раствор 2	Раствор 3	Раствор 4	Раствор 5	Раствор 6	Раствор 7
1	Глицерин натуральный сырой	950	900	900	960	900		
2	Хлорпарафины ХП-470А		30		20	30		10
3	Натрий хлористый		10		5	10		5
4	Натрий сернистый			15	5	15		5
5	Полисульфидные полимеры			15	5	15		5
6	Нефть						882,7	850
7	Вода дистиллированная	50	60	70	5	30		20



Таблица 3
Средние арифметические значения потери массы образцов вследствие коррозии в модельных растворах

Метод нанесения покрытия	Вид носимого покрытия	Номер образца	Усредненная масса образца с покрытием, г	Усредненная масса покрытия на образце, г	Усредненная толщина покрытия, мкм	Среднее арифметическое коррозии образца в модельных растворах, % масс.							
						Рас-твор 1	Рас-твор 2	Рас-твор 3	Рас-твор 4	Рас-твор 5	Рас-твор 6	Рас-твор 7	
Вакуумное ионно-плазменное напыление	Ti	1	14,095	0,143	8-12	0,004	0,027	0,036	0,055	0,061	0,008	0,058	
		2	90,212	0,916		0,003	0,029	0,038	0,052	0,059	0,007	0,057	
		3	30,544	0,913		0,003	0,021	0,031	0,045	0,058	0,007	0,057	
	Cr	1	14,181	0,229		12-15	0,002	0,021	0,027	0,031	0,029	0,005	0,030
		2	90,759	1,463			0,002	0,019	0,025	0,030	0,034	0,005	0,032
		3	31,087	1,456			0,003	0,019	0,021	0,029	0,030	0,006	0,029
	TiN	1	14,118	0,166			0,002	0,020	0,025	0,035	0,036	0,006	0,035
		2	90,356	1,060			0,002	0,020	0,026	0,031	0,039	0,007	0,032
		3	30,686	1,055			0,002	0,015	0,025	0,023	0,029	0,005	0,028
Электролитическое осаждение	Ni электролиз	1	14,231	0,279	0,006		0,054	0,065	1,026	1,123	0,075	1,015	
		2	91,101	1,805	0,006		0,048	0,057	1,028	1,128	0,073	1,009	
		3	31,416	1,785	0,006		0,051	0,058	1,009	1,222	0,075	1,015	
	Cr серый	1	14,178	0,226	0,004	0,052	0,061	0,954	1,001	0,056	0,859		
		2	90,757	1,461	0,004	0,051	0,062	0,983	1,005	0,053	0,910		
		3	31,082	1,451	0,004	0,054	0,061	0,998	1,017	0,052	0,952		
	Cr блестящий	1	14,193	0,241	0,002	0,030	0,041	0,541	0,588	0,039	0,563		
		2	90,758	1,462	0,002	0,028	0,040	0,563	0,602	0,039	0,590		
		3	31,078	1,447	0,002	0,026	0,041	0,506	0,619	0,032	0,525		
Cr матовый	1	14,187	0,235	0,005	0,043	0,050	1,071	1,095	0,095	0,944			
	2	90,755	1,459	0,005	0,039	0,050	1,101	1,105	0,091	0,910			
	3	31,084	1,453	0,005	0,040	0,052	1,171	1,186	0,094	0,980			
Образец без покрытия	1	13,952	-	0,008	0,056	0,068	1,231	1,351	1,009	0,996			
	2	89,286	-	0,009	0,052	0,063	1,235	1,478	1,012	0,978			
	3	29,631	-	0,007	0,054	0,064	1,118	1,625	1,008	0,990			



Оценка коррозионной стойкости приготовленных образцов в модельных растворах проводилась по ГОСТ 9.506-87 «Единая система защиты от коррозии и старения в гравиметрическом приложении» [17].

Образцы находились в модельных растворах в течение 30 суток при температуре 200°C. После завершения испытаний образцы промывались дистиллированной водой, затем для удаления продуктов коррозии обрабатывались в ультразвуковой ванне, промывались дистиллятом и подвергались окончательной сушке. Точность измерения потери массы образцов составляла 0,001 г. Средние арифметические значения потери массы образцов вследствие коррозии в модельных растворах приведены в табл. 3.

Очевидно, что с ростом агрессивности сред (от самых низкоагрессивных растворов № 1 и № 2 до самых высокоагрессивных растворов № 5 и № 7) модельных нефтесодержащих растворов, т.е. с увеличением концентрации хлорпарафинов, NaCl, Na₂S, полисульфидов во всех экспериментах наблюдается увеличение скорости коррозии.

Из табл. 3 следует, что для самых агрессивных растворов № 5 и № 7 наименьшие значения коррозии наблюдались для покрытий хромом и нитридом титана, полученных методом ВИПН. Несколько хуже результаты для покрытия титаном, полученного методом ВИПН, и хромом блестящим, полученного электрохимическим методом. По сравнению с образцами из нержавеющей стали 12Х18Н10Т без использования защитных покрытий ионно-плазменное напыление хрома снижает скорость коррозии в 47,7 раза, нитрида титана – в 41,1 раза, титана – в 25,1 раза, а электрохимическое покрытие хромом (блестящим) – в 2,5 раза.

Таким образом, защитные покрытия Cr и TiN, нанесенные методом ВИПН, могут быть рекомендованы для эффективной защиты от коррозии сетчатых контактных устройств из нержавеющей стали, используемых в ректификационных колоннах.

Заключение

1. Обеспечение эффективной антикоррозионной защиты сетчатых контактных устройств из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, эксплуатируемых в ректификационных колоннах в условиях относительно высоких температур (150–250°C) и при наличии агрессивных компо-



нентов в нефтяном сырье, является актуальной задачей [18–22]. С этой целью предложен способ антикоррозионной защиты путем нанесения металлических и бинарных покрытий методом вакуумного ионно-плазменного напыления металлическим титаном, никелем, хромом или нитридом титана с толщиной покрытия 8–12 мкм, а также металлическим никелем и хромом методом электрохимического осаждения.

2. Показано, что наиболее эффективными для антикоррозионной защиты сеток из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т являются покрытия, полученные методом вакуумного ионно-плазменного напыления хрома и нитрида титана.

Библиографический список:

1. Хайдарова Г.Р., Исламутдинова А.А., Дмитриев Ю.К., Сидоров Г.М., Иванов А.Н. Ингибитор коррозии нефтепромысловых сред // Нефтегазовое дело. – 2015. – Том 13, № 4. – С. 249–253. – DOI: <http://dx.doi.org/10.17122/ngdelo-2015-4-249-253>.
2. Мальцева Г. Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.
3. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов. – М.: ФИЗМАТГИЗ., 1959. – 356 с.
4. Akhmetov, L.I., Kolbin, A.M., Ismagilov, F.R., Podshivalin A.V., Tuktarova I.O. Utilization of products of demercaptanization of hydrocarbon raw material // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 1999. – Vol. 35. – No. 3. – P. 126–128. – <https://doi.org/10.1007/BF02694237>.
5. Latypova F.M., Tuktarova I.O., Katamanov V.L., Tsyurulnik R.F. Natural hydrocarbon raw materials as a source of sulphides receiving // J. Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 113. – P. 37-42.
6. Латыпова Ф.М., Нугуманов Р.М., Бикташева Л.Ф., Туктарова И.О. Выделение и исследование состава сераорганических соединений высокосернистой нефти // SOCAR Proceedings. – 2016. – № 3. – С. 61–65.
7. Ибрагимов Н.Г., Абрамов М.А., Шаммасов Р.М., Князев С.Ю., Шакиров Ф.Ш. Оптимизация антикоррозионной защиты зоны сварного соединения труб с внутренним полимерным покрытием для строительства высоконапорных трубопроводов системы поддержания пластового давления // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 6. – С. 55–57.



8. СТП 2082-594-05. Методы обезжиривания оборудования. Общие требования к технологическим процессам. – М.: Издательство стандартов. – 2005.
9. *Катаманов В.Л., Назаров А.М., Гараньков И.Н., Туктарова И.О.* Исследование образования отложений в технологических аппаратах и коррозии контактных устройств из нержавеющей стали // *Нанотехнологии в строительстве.* – 2017. – Том 9, № 6. – С. 131–150. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-6-131-150](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-6-131-150).
10. *Ризванов Р.Г., Муликов Д.Ш., Каретников Д.В., Черпашкин С.Е., Ширгазина Р.Ф.* Коррозионная стойкость сварного соединения узла «труба – трубная решетка», полученного сваркой трением // *Нанотехнологии в строительстве.* – 2017. – Том 9, № 4. – С. 97–115. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-97-115](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-97-115).
11. *Павленко В.И., Черкашина Н.И., Ястребинский Р.Н.* Создание наноболочки на поверхности дроби гидроксида титана // *Нанотехнологии в строительстве.* – 2016. – Том 8, № 6. – С. 102–119. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119).
12. *Мамаев В.И.* Функциональная гальванотехника. – Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2013. – 208 с.
13. *Бутковский К. Г., Лясников В.Н.* Напыленные покрытия, технология и оборудование. – Саратов: «Саратовский госуд. техн. университет», 1999. – 117 с.
14. *Кудинов В.В., Бобров Г.В.* Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. – М.: Металлургия, 1992. – 431 с.
15. *Трушин О.С., Бочкарев В.Ф., Наумов В.В.* Моделирование процессов эпитаксиального роста пленок в условиях ионно-плазменного напыления // *Микроэлектроника.* – 2000. – Том 29, № 4. – С. 296–309.
16. *Технология тонких пленок // Справочник.* – ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. – М.: Советское радио, 1977. – Том 1, 2.
17. ГОСТ 9.506-87. Единая система защиты от коррозии и старения в гравиметрическом приложении. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 16 с.
18. *Туктарова И.О.* Состав и закономерности выгорания коксовых отложений железистоокисного катализатора переработки высокомолекулярного нефтяного сырья: Дисс. ... канд. техн. наук // *Уфимский государственный нефтяной технический университет.* – Уфа, 1995.
19. *Vezirov R.R., Tuktarova I.O., Yavgil'din I.R., Kuz'mina Z.F., Telyashev E.G., Khairudinov I.R., Imashev U.B.* Oxygen compounds in 350°C-EP fraction from thermocatalytic processing of heavy feed // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils.* – 1995. – Vol. 31. – No. 6. – P. 285–287. – <https://doi.org/10.1007/BF00727607>.



20. *Telyashev E.G., Vezirov R.R., Yavgil'din I.R., Tuktarova I.O., Telyashev G.G., Imashev U.B.* Elemental composition of deposits on natural iron oxide catalyst in processing medium-sulfur feed // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. – 1995. – Vol. 31. – No. 6. – P. 288–292. – <https://doi.org/10.1007/BF00727608>.
21. *Гараньков И.Н., Катаманов В.Л., Назаров А.М., Туктарова И.О.* О причинах образования отложений в шлемовых линиях ректификационного оборудования при нефтепереработке // Сборник материалов IX международной научно-практической конференции «Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки». – Уфа, 2016. – С. 189–190.
22. *Гараньков И.Н., Катаманов В.Л., Назаров А.М., Туктарова И.О.* Образование отложений в шлемовых линиях ректификационного оборудования при нефтепереработке: причины и пути решения проблемы // Сборник материалов XXX Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика Академии наук Республики Башкортостан Дилюса Лутфуллича Рахманкулова «Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии». – Уфа, 2016. – С. 190–191.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛА ДАННОЙ СТАТЬИ
ПРОСИМ ДЕЛАТЬ ВИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:**

Катаманов В.Л., Назаров А.М., Гараньков И.Н., Туктарова И.О. Создание антикоррозионных покрытий для контактных устройств ректификационных колонн // *Нанотехнологии в строительстве*. – 2018. – Том 10, № 1. – С. 21–36. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36.

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Katamanov V.L., Nazarov A.M., Garankov I.N., Tuktarova I.O. Creation of anti-corrosion coatings for contact devices of rectifying columns. *Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2018, Vol. 10, no. 1, pp. 21–36. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-1-21-36. (In Russian).

