

DOI: 10.15593/2224-9400/2017.2.08

УДК 620.197.3

**В.В. Вахрушев, В.З. Пойлов,
А.Л. Казанцев, И.А. Шипигузов**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

С.В. Лановецкий

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Березники, Россия

Л.А. Черезова

«АВИСМА» филиал ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»,
Березники, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИИ ЧУГУНА В РАСТВОРАХ КОНЦЕНТРИРОВАННОЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ХЛОР

Крайне важная задача для решения проблемы разрушения металлического оборудования и установок, применяемых в технологических процессах с использованием коррозионно-активных веществ, – выявление особенностей протекания коррозионных процессов, поскольку без этой информации невозможно вести поиск эффективного метода противодействия коррозии. Особенно остро эта проблема стоит для электролитов с высокой концентрацией основного вещества и электролитов, содержащих нескольких коррозионно-активных ионов.

В данной работе был изучен процесс коррозии материала хлорного компрессора в коррозионных средах, отобранных с действующего производства. Проведен анализ химического состава коррозионных сред. Выявлено, что в коррозионных средах высокой концентрации серной кислоты соответствует низкое содержание активного хлора.

В ходе коррозионных испытаний установлено влияние температуры среды, длительности протекания процесса, концентрации серной кислоты и активного хлора на скорость коррозии материала хлорного компрессора – чугуна марки СЧ20. Показано, что увеличение температуры и концентрации хлора приводит к увеличению интегрального показателя коррозии в 1,4–2,2 раза.

Проведен анализ структуры поверхности образцов чугуна СЧ20 до и после проведения процесса коррозии. Определено, что степень эрозии поверхности возрастает при увеличении содержа-

ния активного хлора в коррозионной среде. Методом микрорентгеноспектрального анализа определен элементный состав образцов до и после проведения процесса коррозии. Установлено, что после проведения процесса коррозии на поверхности образцов значительно уменьшается содержание железа за счет увеличения содержания элементов-неметаллов. На основе полученных результатов работы предложена последовательность протекания процесса коррозии.

Ключевые слова: *коррозия, чугун, серная кислота, олеум, хлор, хлорный компрессор, влияние температуры, влияние концентрации.*

**V.V. Vakhrushev, V.Z. Poilov,
A.L. Kazantsev, I.A. Shipiguzov**

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

S.V. Lanovetskiy

Perm National Research Polytechnic University,
Berezniki, Russian Federation

L.A. Cherezova

«AVISMA» branch of PJSC «VSMPO-AVISMA»,
Berezniki, Russian Federation

INVESTIGATION OF THE CAST IRON CORROSION IN THE CONCENTRATED SULFURIC ACID SOLUTIONS CONTAINING CHLORINE

An extremely important task for solving the problem of metal equipment and installations destruction applied in technological processes with using corrosion-active substances substances is the identification of the corrosion processes features, because without this information it is impossible searching an effective method of counteracting corrosion. This problem is specially actual for electrolytes with a high concentration of the basic substance and electrolytes containing several corrosion-active ions

In this paper the process of chlorine compressor material corrosion in corrosive environment take away from manufacture was studied. It was analyzed the chemical composition of corrosive environment. It was found that in corrosive environment a high concentration of sulfuric acid corresponds to a low content of active chlorine.

During the corrosion tests were found influence of the environment temperature, the duration of the process, the concentration of sul-

furic acid and active chlorine on the corrosion rate of the chlorine compressor material which is grey cast iron 20. It is shown that an increase in the temperature and concentration of chlorine leads to an increase in the integral corrosion index by 1,4-2,2 times.

The structure of the samples surface of grey cast iron 20 was analyzed before and after the corrosion process. It is determined that the surface erosion degree increases with increasing of active chlorine content in a corrosive environment. The elemental composition of the samples was determined by the micro-X-ray spectral analysis method before and after the corrosion process. It is established that after the corrosion process on the samples surface the iron content is significantly reduced due to an increase in the content of nonmetallic elements. It was proposed the order of the corrosion process based on the papers results.

Keywords: *corrosion, sulfuric acid, oleum, chlorine, chlorine compressor, dependence of temperature, dependence of concentration.*

Ежегодно предприятия несут значительные убытки от коррозии оборудования в агрессивных средах, используемых в производственном цикле. Особенную актуальность этому придает тот факт, что темп роста коррозионных потерь значительно превышает темпы роста производства металлов [1]. Разрушение металлов в результате коррозионных процессов обычно протекает по химическому или электрохимическому механизму [2–4]. Наиболее распространенным способом борьбы с коррозией является изготовление конструкций и аппаратов из материалов, скорость коррозии которых минимальна [5, 6], однако в силу различных причин такой подход не всегда решает проблему.

К подобным случаям относятся хлорные компрессоры, используемые в технологических циклах на большинстве производств, связанных с производством металлов через их галогениды или производством хлорфторорганики. Из-за возникающих в ходе работы внутри компрессоров динамических нагрузок изготавливать их возможно только из металлов. При этом в качестве рабочей жидкости в хлорных компрессорах используют концентрированную серную кислоту, инертную по отношению к хлору. Несмотря на использование металлов, пассивирующихся в серной кислоте в обычных условиях, и периодическую замену рабочей жидкости для поддержания высокой концентрации, хлорные компрессоры быстро выходят из строя.

В связи с этим целью данной работы являлось исследование коррозии чугуна в растворах серной кислоты в температурном интервале 20–55 °С, содержащих различное количество хлора.

Методика исследований

Для проведения коррозионных испытаний были предоставлены образцы серого чугуна СЧ20 в виде металлических пластин с отверстием для подвеса. Химический состав поверхности чугуна СЧ20, полученный методом рентгеноспектрального анализа, мас. %: С – 4,30; Si – 1,75; P – 0,08; S – 0,06; Cr – 0,22; Mn – 2,14; Fe – 91,45.

Интегральный показатель коррозии (потерю массы на единицу площади) оценивали согласно ГОСТ 9.908–85. Коррозионные испытания проводили при помощи установки, схематично представленной на рис. 1.

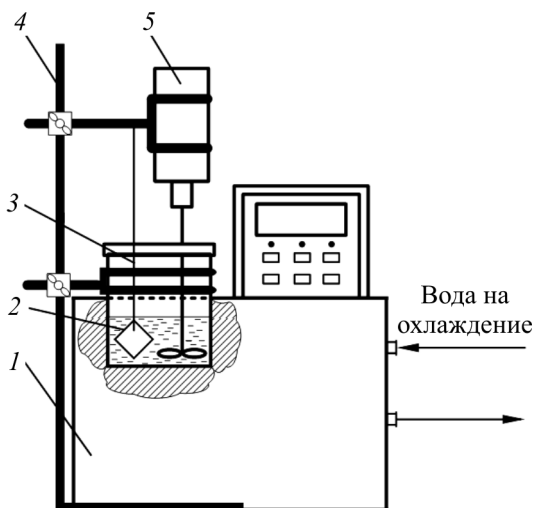


Рис. 1. Установка для проведения коррозионных испытаний:
1 – термостат с открытой ванной; 2 – образец; 3 – реактор с фторопластовой крышкой; 4 – штатив; 5 – мешалка с регулируемым числом оборотов

Для проведения коррозионных испытаний образец (2) закрепляли фторопластовой леской таким образом, чтобы он был полностью погружен в электролит. С целью равномерного доступа электролита ко всей поверхности образца и исключения застойных зон в реакторе осуществляли перемешивание жидкости при помощи мешалки (5) с постоянной скоростью. Поддержание необходимой температуры коррозионной среды осуществляли за счет погружения реактора (3) в ванну термостата (1).

Для контроля изменения скорости коррозии в течение процесса коррозионного воздействия образец чугуна через каждые 60 мин извлекали из реактора, промывали дистиллированной водой от серной

кислоты и сушили до постоянной массы при температуре 105 °С. Эксперименты проводили при температурах 20, 40 и 55 °С. Суммарная длительность выдержки образца в коррозионной среде составляла 5 ч. В качестве коррозионной среды использовали образцы свежеприготовленной и отработанной серной кислоты, отобранные с действующих хлорных компрессоров (ХК-2, ХК-3, ХК-4). Состав коррозионных сред приведен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа коррозионных сред

№ п/п	Коррозионная среда	$C_{H_2SO_4}$, %	$C_{Cl_{акт}}$, г/л	Содержание осадка, мас. %
1	Свежеприготовленная серная кислота, полученная путем разбавления олеума, с ХК-4	103,0	0,4	0,87
2	Раствор отработанной на 50 % серной кислоты с ХК-2	99,2	12,8	0,31
3	Раствор отработанной на 100 % серной кислоты с ХК-2	96,7	12,4	0,80
4	Раствор отработанной на 50 % серной кислоты с ХК-3	97,9	6,6	0,62
5	Раствор отработанной на 100 % серной кислоты с ХК-3	93,8	12,4	0,62
6	Раствор отработанной на 50 % серной кислоты с ХК-4	101,6	2,7	0,81
7	Раствор отработанной на 100 % серной кислоты с ХК-4	95,6	12,8	0,94

Структуру и состав поверхности изучаемых образцов чугуна СЧ20 до и после эксперимента анализировали при помощи сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения S-3400N фирмы Hitachi с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа (микроРСА) фирмы Bruker.

Из анализа данных табл. 1 следует, что свежеприготовленная серная кислота содержит минимальное количество активного хлора. В процессе работы компрессора серная кислота разбавляется за счет поглощения паров воды из анодного хлоргаза. При этом концентрация серной кислоты уменьшается, а концентрация активного хлора в кислотном растворе возрастает. Как правило, высокой концентрации серной кислоты соответствует низкое содержание активного хлора. Наибольшее количество хлора (12,8 г/дм³) содержится в кислоте ХК-2, отработанной на 50 %, и в кислоте ХК-4, отработанной на 100 %.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлены кривые потери массы образцов чугуна в процессе коррозии.

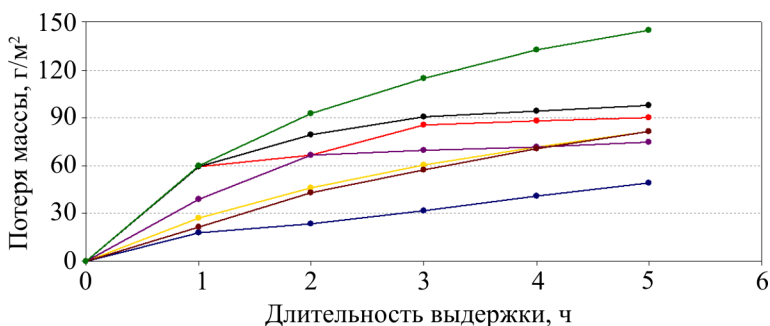


Рис. 2. Влияние длительности выдержки образцов СЧ20 в коррозионных средах с температурой 55 °С на потерю массы: — свежеприготовленная H_2SO_4 с ХК-4; — отработанная на 50 % H_2SO_4 с ХК-2; — отработанная на 100 % H_2SO_4 с ХК-2; — отработанная на 50 % H_2SO_4 с ХК-3; — отработанная на 100 % H_2SO_4 с ХК-3; — отработанная на 50 % H_2SO_4 с ХК-4; — отработанная на 100 % H_2SO_4 с ХК-4

Анализируя кривые на рис. 2, можно отметить, что наибольшая потеря массы образца наблюдается в отработанной на 100 % серной кислоте из ХК-4, а также в отработанной на 50 % серной кислоте из ХК-2, содержащих максимальное количество хлора (12,8 г/дм³). В свежеприготовленной серной кислоте с минимальным содержанием хлора (0,4 г/дм³) потеря массы образца минимальна. Из этого следует, что наибольшее коррозионное действие на чугун СЧ20 оказывает содержащийся в кислоте активный хлор.

В результате коррозионных испытаний было установлено влияние температуры среды, концентрации серной кислоты и активного хлора на величину коррозии образцов чугуна СЧ20 (табл. 2).

Из анализа данных, представленных на рис. 1 и в табл. 2, видно, что при увеличении температуры от 20 до 55 °С потеря массы с единицы площади образца увеличивается в 1,4–2,2 раза. Минимальная потеря массы составила 33,94 г/м² при обработке чугуна отработанной на 100 % серной кислотой из ХК-3 с температурой 20 °С, а максимальная (144,74 г/м²) – при обработке отработанной на 100 % серной кислотой из ХК-4 с температурой 55 °С. Исключение составляет корродирование образцов в свежеприготовленной H_2SO_4 , что может быть связано с бо-

лее интенсивным удалением коррозионно-активного серного ангидрида SO_3 из области реакции при температурах 40 и 55 °С по сравнению с проведением процесса при 20 °С.

Таблица 2

Влияние температуры раствора и концентрации активного хлора на потерю массы образцов СЧ20, г/м² (после 5 ч выдержки в коррозионных средах)

№ п/п	Коррозионная среда	Содержание активного хлора, г/л	Температура проведения эксперимента, °С		
			20	40	55
1	Свежеприготовленная серная кислота, полученная путем разбавления олеума, с ХК-4	0,4	64,47	59,42	48,94
2	Раствор отработанной на 50 % серной кислоты с ХК-2	12,8	54,79	60,73	90,20
3	Раствор отработанной на 100 % серной кислоты с ХК-2	12,4	67,77	89,66	97,62
4	Раствор отработанной на 50 % серной кислоты с ХК-3	6,6	45,77	59,98	81,15
5	Раствор отработанной на 100 % серной кислоты с ХК-3	12,4	33,94	38,61	74,84
6	Раствор отработанной на 50 % серной кислоты с ХК-4	2,7	51,76	67,72	81,58
7	Раствор отработанной на 100 % серной кислоты с ХК-4	12,8	65,71	105,52	144,74

Проведен анализ структуры поверхности образцов СЧ20 до и после проведения процесса коррозии. На рис. 3 представлены микрофотографии образцов, полученных при выдержке в коррозионных средах с температурой 55 °С, содержащих различное количество активного хлора, и структура поверхности образца СЧ20 до проведения процесса коррозии.

Анализ микрофотографий (см. рис. 3) показал, что поверхность исходных образцов (до испытания коррозии) имеет отдельные области (зерна), неровности и шероховатости, сформированные в виде наслаивающихся пластинок толщиной 0,5–1 мкм и длиной порядка 50–100 мкм. Между пластинками существуют бороздки глубиной менее 0,5 мкм. После проведения экспериментов по коррозии в свежеприготовленной серной кислоте на поверхности образцов появляются продукты коррозии по всей поверхности образца. Области (зерна) разделяются бороздками большей глубины, сама поверхность становится

изъеденной (в виде извилистых каналов). При этом степень эрозии поверхности возрастает при увеличении содержания активного хлора в коррозионной среде.

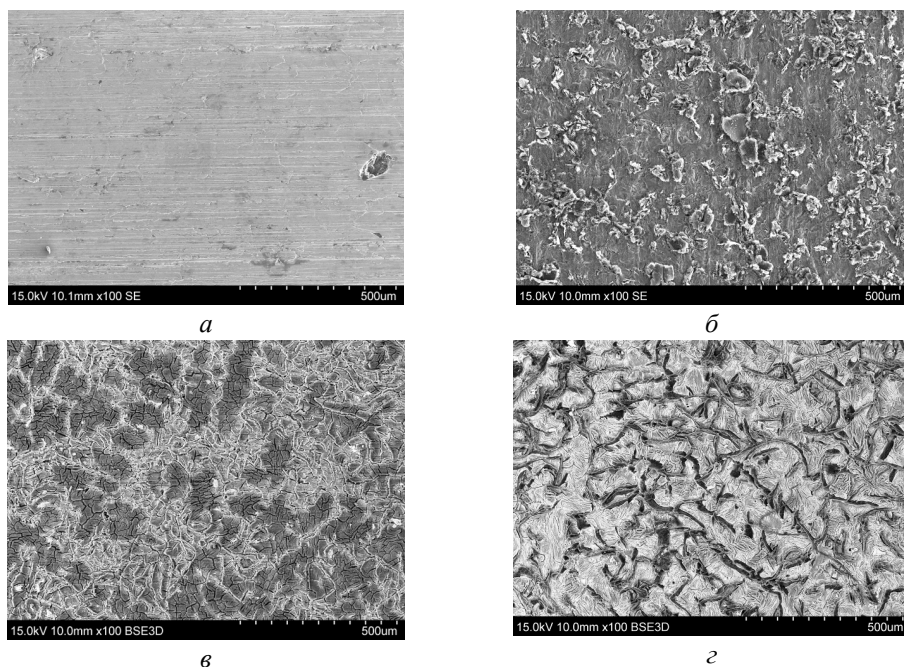


Рис. 3. Микрофотографии поверхности исходного образца СЧ20 (а), после выдержки в свежеприготовленной кислоте (б), после выдержки в кислоте из ХК-4, отработанной на 50 % (в), после выдержки в кислоте из ХК-4, отработанной на 100 % (г)

В результате анализа фотографий поверхности корродированных образцов и литературных данных [7–9] можно заключить, что коррозия протекает в следующей последовательности: на первом этапе происходит взаимодействие кислоты и хлора с металлами, находящимися в межзеренном пространстве с образованием каналов, затем происходит взаимодействие самих областей (зерен), сопровождаемое появлением большого числа микротрещин. Далее происходит развитие трещин слоя области коррозии (см. рис. 3 в, г – темные области в виде островков), что приводит к дальнейшему проникновению электролита к непрокорродированной поверхности образца. Помимо этого возможно частичное удаление продуктов коррозии, выступающих в роли защитного слоя, за счет абразивного действия нерастворимого в кислоте остатка и смывания поверхностного слоя.

При анализе методом электронной микроскопии (съемка в режиме регистрации обратно-рассеянных электронов) выявлено наличие на поверхности корродированных образцов светлых и темных областей, что указывает на значительное различие химического состава данных областей. В связи с этим был проведен анализ элементного состава поверхности образцов СЧ20 методом микроРСА. В табл. 3 в качестве примера приведен элементный состав образцов, представленных ранее на рис. 3.

Таблица 3

Влияние концентрации серной кислоты и температуры на химический состав поверхности образцов СЧ20

Коррозионная среда	T, °C	Содержание элементов в образце, мас. %							
		C	O	Si	P	S	Cr	Mn	Fe
Исходный образец	20	4,30	–	1,75	0,08	0,06	0,22	2,14	91,45
Свежеприготовленная серная кислота, полученная путем разбавления олеума, с ХК-4	20	22,11	24,66	1,48	0,15	2,16	0,54	1,19	47,70
	40	30,67	26,55	1,58	0,17	0,68	0,20	0,49	39,65
	55	23,42	28,40	1,63	0,05	0,56	0,20	1,05	44,68
Раствор отработанной на 50 % серной кислоты с ХК-4	20	11,58	38,97	11,17	0,14	0,26	0,00	0,32	37,57
	40	14,76	42,09	15,42	0,18	0,29	0,00	0,25	26,89
	55	24,74	37,10	13,92	0,15	0,53	0,24	0,43	22,77
Раствор отработанной на 100 % серной кислоты с ХК-4	20	16,15	36,04	12,85	0,21	0,54	0,25	0,42	33,24
	40	21,29	35,81	10,06	0,22	0,28	0,13	0,30	31,60
	55	50,01	34,85	4,96	0,13	0,53	0,05	0,24	32,70

Из данных, приведенных в табл. 1 и 3, видно, что после проведения процесса коррозии на поверхности образцов значительно уменьшается содержание железа (с 91,45 до 22,77 мас. %), за счет этого возрастает содержание элементов-неметаллов (C, Si, P, S). При этом повышение температуры и увеличение степени отработки серной кислоты (пропорциональной повышению содержания хлора в кислоте) приводит к снижению содержания железа на поверхности образцов, что указывает на возрастание воздействия коррозионной среды на чугун СЧ20. Исходя из вышеизложенного, можно предложить для подавления коррозии использовать комплексные ингибиторы коррозии [10–12].

Список литературы

1. Коррозия и защита металлов. – Ч. 1. Химическая коррозия металлов: учеб. пособие / Н.А. Азаренков, С.В. Литовченко, И.М. Неключев, П.И. Стоев. – Харьков, 2007. – 187 с.

2. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов. – М.: Металлургия, 1969. – 448 с.
3. Андреев И.Н. Введение в коррозиологию: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2004. – 140 с.
4. Лайнер В.И. Защитные покрытия металлов. – М.: Металлургия, 1974. – 559 с.
5. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионно-стойкие сплавы. – М.: Металлургия, 1973. – 232 с.
6. Малахов А.И., Жуков А.П. Основы металловедения и теории коррозии: учеб. для машиностр. техникумов. – М.: Высшая школа, 1978. – 192 с.
7. Abbasi A. Aghuy, Zakeri M., Moayed M.H., Mazinani M. Effect of grain size on pitting corrosion of 304L austenitic stainless steel // Corrosion Science. – 2015. – Vol. 94. – P. 368–376.
8. Исследование коррозионной стойкости конструкционных сталей в пластовой воде / С.Н. Виноградов, В.И. Волчихин, Е.В. Ширина, А.С. Мещеряков // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – № 4. – С. 139–143.
9. The effect of dichromate ion on the pitting corrosion of AISI316 stainless steel Part II: Pit initiation and transition to stability / M. Naghizadeh, D. Nakhaie, M. Zakeri, M.H. Moayed // Corrosion Science. – 2015. – Vol. 94. – P. 420–427.
10. Современные ингибиторы коррозии / И.А. Шипигузов, О.В. Колесова, В.В. Вахрушев, А.Л. Казанцев, В.З. Пойлов, С.В. Лановецкий Л.А. Черезова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2016. – № 1. – С. 114–129.
11. Ингибиторы коррозии: в 2 т. – Т. 2. Диагностика и защита от коррозии под напряжением нефтегазопромыслового оборудования / под ред. Д.Е. Бугай и Д.Л. Рахманкулова. – М.: Химия, 2002. – 367 с.
12. Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. – Л.: Химия, 1986. – 144 с.

References

1. Azarenkov N.A., Litovchenko S.V., Nekliudov I.M., Stoev P.I. Korroziia i zashchita metallov. Chast 1. Khimicheskaiia korroziia metallov [Corrosion and protection of metals. Part 1. Chemical corrosion of metals]. Kharkiv, 2007, 187 p.

2. Rozenfeld I.L. Korroziia i zashchita metallov. [Corrosion and protection of metals]. Moscow: Metallurgiiia, 1969. 448 p. 125

3. Andreev I.N. Vvedenie v korroziologiyu [Introduction to korroziologiya]. Kazan, Izd-vo Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 2004, 140 p.

4. Layner V.I. Zashchitnie pokrytiia metallov [Protective coatings of metals]. Moscow, Metallurgiiia, 1974, 559 p.

5. Tomashov N.D., Chernova G.P. Teoriia korrozii i korroziionnosoiokie splavy [Corrosion theory and corrosion-resistant alloys]. Moscow, Metallurgiiia, 1973, 232 p.

6. Malakhov A.I., Zhukov A.P. Osnovy metallovedeniia i teorii korrozii [Fundamentals of metallurgy and corrosion theory]. Moscow, Vysshaya shkola, 1978, 192 p.

7. Abbasi A. Aghuy, Zakeri M., Moayed M. H., Mazinani M. Effect of grain size on pitting corrosion of 304L austenitic stainless steel. *Corrosion Science*, 2015, vol. 94, pp. 368–376.

8. Vinogradov SN, Volchikhin VI, Shirina EV, Meshcheryakov AS Issledovanie korroziionnoi stoikosti konstruktsionnykh staley v plastovoi vode [Investigation of the corrosion resistance of structural steels in formation water]. *Izvestiia vuzov. Povolzhskii region. Tekhnicheskie nauki*, 2008, no. 4, pp. 139-143.

9. Naghizadeh M., Nakhaie D., Zakeri M., Moayed M. H. The effect of dichromate ion on the pitting corrosion of AISI316 stainless steel Part II: Pit initiation and transition to stability. *Corrosion Science*, 2015, vol. 94, pp. 420–427.

10. I.A. Shipiguzov, O.V. Kolesova, V.V. Vakhrushev, A.L. Kazantsev, V.Z. Poilov S.V. Lanovetskii L.A. Cherezova: Sovremennye inhibitory korrozii [Modern corrosion inhibitors]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*, 2016, no. 1, pp. 114–129.

11. Inhibitory korrozii. Tom 2. Diagnostika i zashchita ot korrozii pod napriazheniem neftegazopromyslovogo oborudovaniia [Corrosion Inhibitors. Vol. 2. Diagnostics and protection from stress corrosion of oilfield equipment]. Ed. by D.E. Bugai, D.L. Rakhmankulova. Moscow, Khimiia, 2002, 367 p.

12. Reshetnikov S.M. Inhibitory kislotnoj korrozii metallov [Acidicmetal corrosion inhibitors]. Leningrad, Khimiia, 1986, 144 p.

Получено 1.06.2017

Об авторах

Шипигузов Иван Александрович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: alerell@ya.ru).

Вахрушев Вячеслав Валерьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vahvv@rambler.ru).

Казанцев Александр Леонидович (Пермь, Россия) – инженер-исследователь кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: itilamid@rambler.ru).

Пойлов Владимир Зотович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

Лановецкий Сергей Викторович (Березники, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии и экологии Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета (618404, г. Березники, ул. Тельмана, 7; e-mail: slanovetskiy@bf.pstu.ru)

Черезова Любовь Анатольевна (Березники, Россия) – кандидат химических наук, начальник участка новой техники цеха № 38 «АВИСМА» филиал ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» (618421, г. Березники, ул. Загородная, 29; e-mail: CherezovaLA@avisma.ru).

About the authors

Ivan A. Shipiguzov (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: alerell@ya.ru).

Vyacheslav V. Vakhrushev (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate professor, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: vahvv@rambler.ru).

Alexander L. Kazantsev (Perm, Russian Federation) – Research engineer, Department of Chemical Technologies, Perm National Research

Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: itilamid@rambler.ru).

Vladimir Z. Poilov (Perm, Russian Federation) – Doctor in Technical Sciences, Professor, Head of Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

Sergej V. Lanovetskiy (Berezniki, Russian Federation) – Doctor in Technical Sciences, Professor, Department of chemical engineering and environment, Perm National Research Politechnic University, Berezniki branch (7, Telmana str., Berezniki, 618404, Russian Federation, e-mail: slanovetskiy@bf.pstu.ru@mail.ru).

Liubov A. Cherezova (Berezniki, Russian Federation) – Ph.D. of Chemical Sciences, Head of New Engineering Department of shop № 38 «AVISMA» branch of PJSC «VSMPO-AVISMA» (29, Zagorodnaya str., Berezniki, 618421, Russian Federation, e-mail: CherezovaLA@avisma.ru).