

УДК 669:620.193.197

Исследование коррозионной стойкости сталей, применяемых для изготовления дражного оборудования для добычи золота

А.Н. Баранов^а, Е.А. Гусева^б, Е.М. Комова^с

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

^аEk.komova@yandex.ru, ^бa_baranow@mail.ru, ^сel.guseva@rambler.ru

Статья поступила 16.12.2013, принята 21.02.2014

Чтобы увеличить срок службы дражного оборудования для добычи золота, необходимо знать скорость коррозии сплавов, используемых для изготовления драг, в различных средах. В настоящей работе проведено исследование коррозионной стойкости различных сплавов. Для определения скорости коррозии применяли поляризационный метод с использованием потенциостата-гальваностата «ПИ-50-Pro». Величину скорости коррозии определяли на основании обработки поляризационных кривых с применением графического метода. Для контроля полученных результатов определяли скорость коррозии по убыли массы образцов, изготовленных из тех же сплавов (гравиметрический метод). Полученные результаты показали высокую сходимость. Определены значения скорости коррозии для сплавов, изготовленных на Иркутском заводе тяжёлого машиностроения. Исследования проводились в модельном растворе и в воде из зоны эксплуатации дражного оборудования. На основании сравнения значений скорости коррозии выявлены наиболее устойчивые стали. Коррозионная стойкость возрастает в ряду: 09Г2С, 110Г13Л, СпЗпс, 45, 60, ВТ20, 12Х1, 12Х18Н9Т.

Ключевые слова: дражное оборудование, скорость коррозии, коррозионная стойкость, поляризационные кривые, гравиметрия.

Research in noncorrodibility of the steels applied for the manufacturing of dredging equipment in gold mining

A.N. Baranov^a, E.A. Guseva^b, E.M. Komova^c

National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, Russia

^aEk.komova@yandex.ru, ^ba_baranow@mail.ru, ^cel.guseva@rambler.ru

Received 16.12.2013, accepted 21.02.2014

To increase of service life of dredging equipment in gold mining, it is necessary to know the corrosion velocity of alloys, applied for the manufacturing of dredges, in various medium. The article deals with the research in noncorrodibility of various alloys. To measure the corrosion velocity, polarization method with potentiostat-galvanostat «Pi-50 Pro» has been used. The rate of the corrosion velocity has been measured on the basis of the processing of polarizing curves with the use of a graphic method. To control the results, the corrosion velocity on the loss in weight of the samples, which were made of the same alloys, has been measured (gravimetric method). The results have shown high convergence. There has been determined the values of the corrosion velocity for the alloys made at Irkutsk Heavy Engineering Factory. The researches have been done in the modelling solution and in the water taken from the operation zone of dredging equipment. Highly noncorrodible steels have been discovered on the basis of the comparison of the values of the corrosion velocity. Noncorrodibility increases in a row: 09Г2С, 110Г13Л, СпЗпс, 45, 60, ВТ20, 12Х1, 12Х18Н9Т.

Keywords: dredging equipment, corrosion velocity, corrodibility, polarizing curves, gravimetric method.

Введение. Современные темпы развития промышленности, интенсификация производственных процессов, основные технологические параметры (высокая температура, давление, концентрация реагирующих средств и др.) предъявляют высокие требования к эксплуатации технологического оборудования и строительных конструкций. Особое место в комплексе мероприятий по обеспечению бесперебойной эксплуатации оборудования отводится его надежной защите от коррозии и применению в связи с этим коррозионностойких материалов.

Необходимость осуществления мероприятий по защите от коррозии диктуется тем обстоятельством, что

потери от коррозии приносят чрезвычайно большой ущерб. По имеющимся данным, примерно около 10 % ежегодной добычи металла расходуется на покрытие безвозвратных потерь вследствие коррозии. Основной ущерб от коррозии связан не только с потерей большого количества металла, но и с порчей или выходом из строя самих металлических конструкций, т. к. вследствие коррозии они теряют необходимую прочность, пластичность, герметичность, тепло- и электропроводность, отражательную способность и другие необходимые качества [1, 2].

Дражный способ является наиболее производительным и эффективным при разработке россыпей. Его

удельный вес в общем объеме добычи систематически возрастает, поэтому дальнейшее развитие и совершенствование техники и технологии дражного способа имеет большое значение. Разработка россыпей с применением драг ведется в районах, отличающихся тяжелыми метеорологическими и горно-геологическими условиями. В таком климате производительность драги значительно снижается, из-за внеплановых простоев золотодобывающая промышленность терпит значительные ежегодные убытки и недополучает 12-15 % золота [2, 3]. Внеплановые простои составляют 70-75 % от всех ремонтных работ. В связи с этим большое значение уделяется повышению качества узлов и деталей дражного аппарата [4, 5].

В качестве объектов исследования были выбраны стали, используемые для изготовления дражного оборудования: СтЗпс, сталь 45, сталь 60, 09Г2С, 110Г13Л, 12Х17, 12Х18Н9Т и титановый сплав ВТ20. Все сплавы изготовлены на ОАО «ПО "ИЗТМ"». Предмет исследования – скорость коррозии этих сплавов в воде из зоны эксплуатации дражного оборудования, отобранной в мае 2013 г. в Бодайбинском районе Иркутской области, в зоне работы драги № 63. Проведенные исследования данной воды показали, что она характеризуется электропроводностью, равной 137 мкСм, и рН, равной 7,5. Это дает нам возможность провести коррозионные исследования электрохимическим методом. Также для подтверждения достоверности результатов применялся гравиметрический метод.

Методика исследования. Электрохимическое исследование процесса коррозии проводили на потенциостате-гальваностате «ПИ-50-Pro». Прибор поддерживает большинство электрохимических экспериментальных методов – вольтамперометрия, потенциометрия, кулонометрия, хронопотенциометрия, циклическая и линейная развертки потенциала или тока, импульсные аналитические методы исследований, а также многие другие. Потенциостат позволяет работать по двух-, трех- или четырехэлектродной схеме подключения к электрохимической ячейке как в потенциостатическом, так и в гальваностатическом режимах.

В данных исследованиях реализовали четырехэлектродную схему подключения к электрохимической ячейке с использованием хлорсеребряного электрода сравнения и вспомогательного платинового электрода. Для проведения коррозионных испытаний в первой серии опытов в качестве фонового раствора использовали 3-процентный раствор NaCl в дистиллированной воде, рекомендуемый ГОСТ [6, 7]; во второй серии в качестве электролита была использована вода из зоны эксплуатации дражного оборудования.

Методика снятия зависимости «ток – потенциал».

Перед испытанием выделяли участок площадью 1 см², оставшуюся поверхность покрывали техническим изоляционным лаком. Далее протравливали открытую поверхность металла в 20 % растворе соляной кислоты в течение 30 мин. до чистого металла, промывали дистиллированной водой и обезжировали этиловым спиртом. Образцы помещали в стакан вместимостью 500 мл таким образом, чтобы выделенный участок оказался полностью погруженным в рабочий раствор.

Снятие «U-I» кривых. Включить потенциостат ПИ-50-Pro, запустить программу PS_Pack2, выбрать тип прибора – импульсный. Далее образец металла присоединили к разъемам «Work» и «Comp», электрод сравнения (хлорсеребряный) – к разъему «Ref», вспомогательный (платиновый) – к «Counter». При отключенной ячейке измеряли начальный потенциал до его полного установления в течение 5 мин. После этого выбрали тип эксперимента – линейная развертка. Устанавливали режим работы «потенциостат» со следующими параметрами: потенциал начальный минус 390 – 520 мВ; максимальный потенциал 100 мВ; минимальный потенциал минус 1500 мВ; конечный потенциал 100 мВ; начальное направление в катодную область; скорость развертки 25 мВ/с. Применяли заданные условия и запускали программу.

Полученные результаты были проанализированы при помощи графического метода расчета скорости коррозии, т. к. он позволяет, в отличие от аналитического, рассчитать скорость коррозии для весьма сложных случаев, соответствующих реальным условиям протекания коррозионного процесса.

Для оценки коррозионной стойкости воспользовались десятибалльной шкалой коррозионной стойкости металлов, которая рекомендуется ГОСТом [8]. Для грубой оценки будем руководствоваться группами стойкости, а для более точной – баллами (табл. 1).

Далее показан пример расчета скорости коррозии для образца стали СтЗпс в 3 % растворе NaCl.

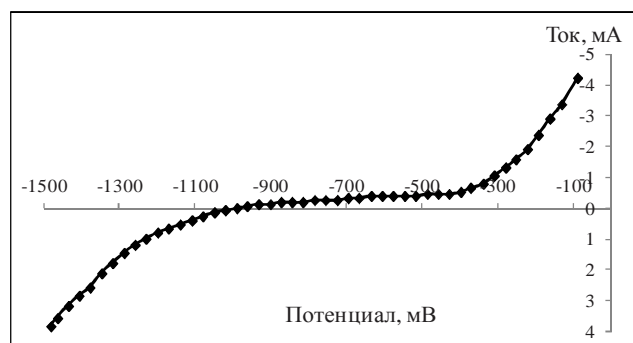


Рис. 1. Зависимость силы тока от потенциала относительно электрода сравнения на образце стали СтЗпс в 3 % растворе NaCl

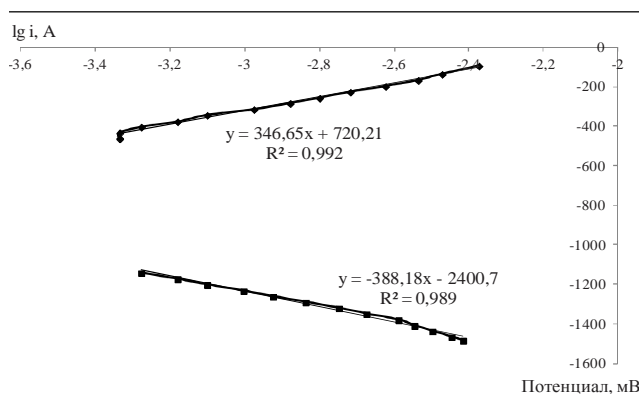


Рис. 2. Зависимость напряжения от логарифма плотности тока для анодной и катодной поляризационных кривых для образца стали СтЗпс в 3 % растворе NaCl

$$i = I/S, \quad (1)$$

где i – токовый показатель коррозии, A/m^2 ; I – ток коррозии, A ; S – площадь, исследуемого образца, m^2 .

$$K_m = i \cdot q, \quad (2)$$

где K_m – массовый показатель коррозии, $г/м^2 \cdot час$; q – электрохимический эквивалент металла.

$$K_n = 8,76 \cdot K_m / \rho, \quad (3)$$

где K_n – глубинный показатель коррозии, $мм/год$; ρ – плотность сплава, $г/см^3$; 8,76 – коэффициент, который

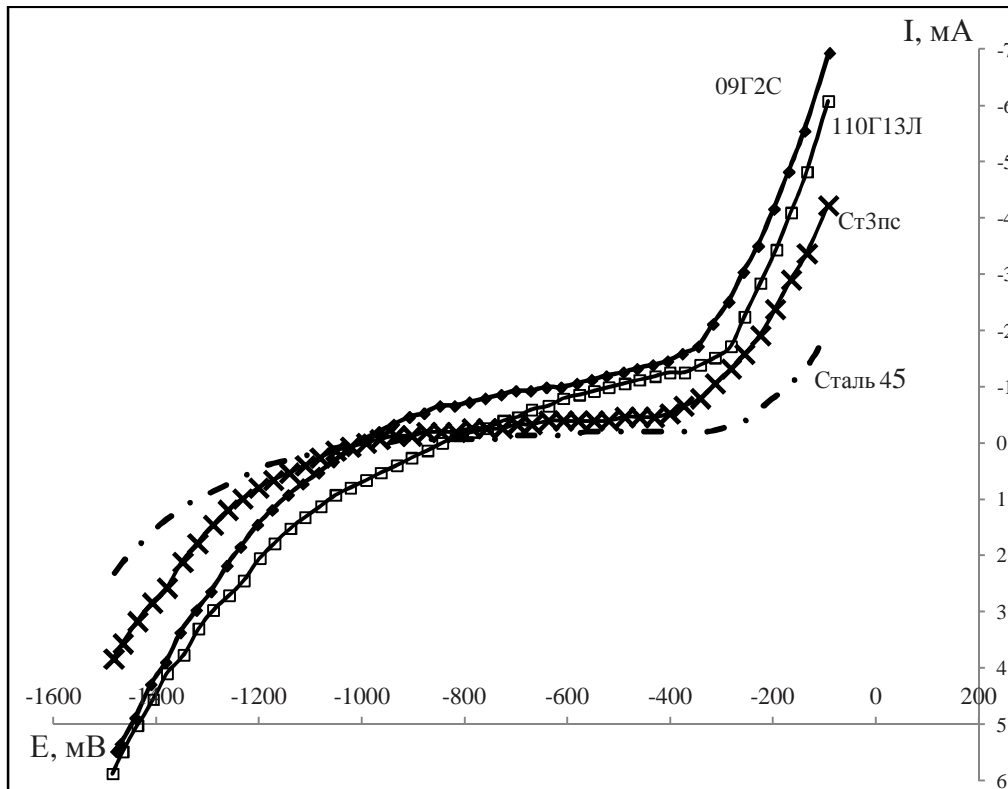
позволяет осуществлять пересчет массового показателя скорости коррозии ($г/м^2 \cdot ч$) к глубинному показателю ($мм/год$).

Для первой серии опытов (фоновый 3 % раствор NaCl в дистиллированной воде) были получены показатели скорости коррозии для всех исследуемых сплавов. Каждый опыт повторяли по шесть раз для каждого сплава, погрешность опыта составляет от 3,2 до 12,0 %, в зависимости от сплава. В табл. 1 представлены усредненные данные. На рис. 3 а, б представлены зависимости силы тока (мА) от потенциала (мВ) относительно хлорсеребряного электрода сравнения.

Таблица 1

Результаты коррозионных испытаний образцов сплавов в 3 % растворе NaCl.
Поляризационный метод

Наименование образца	ρ , $г/см^3$	Средний токовый показатель скорости коррозии, A/m^2	Средний весовой показатель K_m , $г/м^2 \cdot ч$	Средний глубинный показатель K_n , $мм/год$	Балл корр. стойкости	Группа стойкости
09Г2С	7,85	1,8026	1,8783	2,0961	8	Малостойкая
110Г13Л	7,82	1,5533	1,6185	1,8131	8	Малостойкая
Ст3пс	7,85	0,5105	0,5319	0,5935	7	Пониженно-стойкая
Сталь 45	7,826	0,1801	0,1876	0,3694	6	Пониженно-стойкая
Сталь 60	7,80	0,2568	0,2676	0,3006	6	Пониженно-стойкая
ВТ20	4,45	0,1135	0,1183	0,1324	5	Стойкая
12Х17	7,72	0,0666	0,0694	0,0788	5	Стойкая
12Х18Н9Т	7,90	0,0195	0,0203	0,0225	4	Стойкая



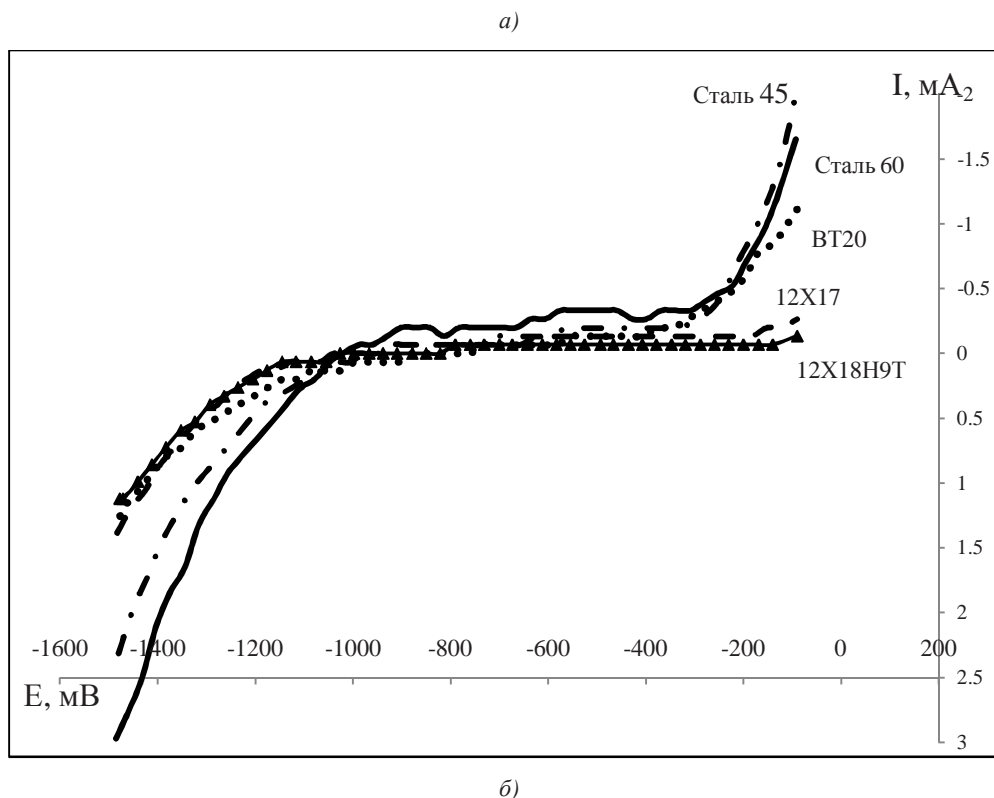


Рис. 3. Зависимость силы тока (мА) от потенциала (мВ) относительно хлорсеребряного электрода сравнения: а) – для сталей 45, 60, 12X17, 12X18H9T и титанового сплава BT20; б) – для сталей 09Г2С, 110Г13Л, СтЗпс, 45

Полученные результаты (табл. 1 и рис. 3 а, б) свидетельствуют о том, что наиболее устойчивыми к коррозии являются стали 12X18H9T и 12X17, а также титановый сплав BT20, наименее устойчивыми – стали СтЗпс, 110Г13Л, 09Г2С.

Для второй серии опытов в качестве электролита была использована технологическая вода дражного оборудования. Были сняты поляризационные кривые

для сталей 45, 60, 09Г2С, 110Г13Л и СтЗпс. Для сплавов 12X17, 12X18H9T и BT20 снять поляризационные кривые не удалось. Это объясняется высокой коррозионной стойкостью этих сплавов в воде из зоны эксплуатации дражного оборудования. Каждый опыт повторяли по шесть раз для каждого сплава, погрешность опыта составляет от 2,5 до 11,7 %, в зависимости от сплава. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты коррозионных испытаний образцов сплавов в 3 % растворе NaCl и воде из зоны эксплуатации дражного оборудования методом снятия поляризационных кривых

Наименование образца	Токовый показатель скорости коррозии, А/м ²		Глубинный показатель К _п , мм/год	
	3% NaCl	Технологическая вода дражного оборудования	3 % NaCl	Технологическая вода дражного оборудования
09Г2С	1,8026	0,2215	2,0961	0,2569
110Г13Л	1,5533	0,3201	1,8131	0,3736
СтЗпс	0,5105	0,5025	0,5935	0,5843
Сталь 45	0,1801	0,2118	0,3694	0,2463
Сталь 60	0,2568	0,2534	0,3006	0,2947

Полученные результаты (табл. 2) говорят о том, что сталь СтЗпс и сталь 110Г13Л наименее устойчивы против коррозии в воде из зоны эксплуатации дражного оборудования. Коррозионная стойкость остальных сталей (45, 60, 09Г2С) примерно одинакова.

Также были проведены гравиметрические испытания скорости коррозии для сталей 45, СтЗпс, 110Г13Л, 12X18H9T из зоны эксплуатации дражного оборудова-

ния. Для каждой стали опыт повторяли три раза, погрешность опытов составила от 4,1 до 12,8 %, в зависимости от сплава.

Гравиметрический метод определения скорости общей равномерной коррозии сводится к взвешиванию металлических образцов до и после коррозионных испытаний и вычислению коррозионных потерь по разности массы. Глубинный показатель коррозии опреде-

ляли по формулам (4) и (5), результаты исследований представлены в табл. 3.

$$K_m = \Delta m / St, \quad (4)$$

где K_m – скорость коррозии, г/м²·час; $\Delta m = m_0 - m_1$; m_0 и m_1 – масса образцов до и после испытаний; S – пло-

щадь образца, м²; t – время коррозионных испытаний, час.

$$K_n = 8,76 \cdot K_m / \rho \text{ (мм/год)}, \quad (5)$$

где 8,76 – коэффициент для перехода от измерения массового показателя скорости коррозии в расчете на 1 ч к глубинному показателю в расчете на 1 год; ρ – плотность (г/см³). Плотность сплавов указана в табл. 1.

Таблица 3

Результаты коррозионных испытаний образцов сплавов в воде из зоны эксплуатации дражного оборудования, $t = 24$ час.

Наименование образца	Δm , г	S , м ²	K_m	Глубинный показатель K_n , мм/год		Группа стойкости
				Гравиметрический метод	Поляризационный метод	
110Г13Л	0,0218	0,00201	0,4519	0,5043	0,5843	Пониженно-стойкая
Ст3пс	0,0093	0,00124	0,3125	0,3501	0,3736	Пониженно-стойкая
Сталь 45	0,0079	0,00171	0,1925	0,2155	0,2463	Пониженно-стойкая
12Х18Н9Т	0,0003	0,00162	0,0077	0,0086	–	Стойкая

Результаты исследований (табл. 3) показывают, что наиболее коррозионно-стойкой в воде из зоны эксплуатации дражного оборудования является сталь 12Х18Н9Т, наименее стойкой – Ст3пс. Зависимости, полученные при помощи потенциостата-гальваностата ПИ-50-Рго были подтверждены гравиметрическим методом. Значения скорости коррозии при поляризационных испытаниях немного выше, чем полученные гравиметрическим методом. Можно предположить, что при более продолжительных гравиметрических испытаниях образуются продукты коррозии, которые препятствуют коррозионному воздействию среды.

Выводы

Проведенные исследования скорости коррозии сталей и сплавов (K_p мм/год), изготовленных на ОАО «ПО «ИЗТМ»» как в модельном растворе, так и в технологической воде дражного оборудования, показали, что коррозионная стойкость возрастает в ряду: 09Г2С, 110Г13Л, Ст3пс, 45, 60, ВТ20, 12Х17, и самой устойчивой в этом ряду является сталь 12Х18Н9Т.

Литература

1. Никифоров В.М. Технология металлов и конструкционные материалы: моногр. 6-е изд. М.: Высшая школа, 1980. 360 с.
2. Баранов А.Н., Янченко Н.И., Гусева Е.А., Макухин В.Л., Пухоленко А.В. Исследование влияния выбросов фторидов на коррозию стали в снеговой воде, осадках дождя и снега // Вестн. ИрГТУ. 2011. № 12. С. 184-186.
3. Шамаков П.И. Основные направления повышения технико-экономической эффективности разработки россыпных месторождений дражным способом / Материалы научно-технического совещания по повышению технико-экономической эффективности разработки россыпных месторождений. Магадан, 1968. С. 371-377.

4. Черняк С.С., Ромен Б.М. Высокомарганцевая сталь в драгостроении: моногр. Иркутск: Изд-во. ИрГТУ, 1995. 384 с.
5. Лешков В.Г. Современная техника и технология дражных работ: моногр. М., 1971. 288 с.
6. Лешков В.Г. Теория и практика разработки россыпей многочерпаковыми драгами: моногр. М., 1980. 357 с.
7. Гордон М.Б., Янюшкин А.С. Высокоэффективная электрохимическая обработка твердых сплавов в режиме самозатачивания алмазного круга и одновременного травления поверхности изделий // Вестн. машиностроения. 1984. № 3. С. 12-14.
8. ГОСТ Р 908 – 85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. М.: Изд-во стандартов, 1999. 17 с.

References

1. Nikiforov V.M. Tehnologija metallov i konstrukcionnye materialy, 6-e izd. M.: Vysshaja shkola, 1980. 360 p.
2. Baranov A.N., Yanchenko N.I., Guseva E.A., Makuhin V.L., Puholenko A.V. Research in the influence of fluoride emissions on steel corrosion in snow and rain precipitation // Vestnik IrGTU. Irkutsk, 2011. № 12. P. 184-186.
3. Shmakov P.I. Main directions in increasing technical and economic effectiveness of dredging-and-placer mining // Nauchno-tehnicheskoe soveshhanie po povysheniju tehniko-ekonomicheskoi effektivnosti razrabotki rossypnyh mestorozhdenij. Magadan, 1968. P. 371-377.
4. Chernjak S.S., Romen B.M. High-manganese steel in dredge construction: monograph. Irkutsk: Izd. IrGTU, 1995. 384 p.
5. Leshkov V.G. Modern technics and technology of dredging: monograph. M., 1971. 288 p.
6. Leshkov V.G. Theory and practice of dredging-and-placer mining with bucketline placer dredges. M., 1980. 357 p.
7. Gordon M. B., Yanyushkin A.S. A high-performance electrolytic machining of hard alloys in a condition of self-sharpening of a diamond circle and simultaneous pickling treatment of a surface of articles // Vestn. mashinostroenija. 1984. № 3. P. 12-14.
8. GOST R 908 – 85. Unified system for corrosion and ageing protection. Metals and alloys. Methods for determination of corrosion and corrosion stability coefficients. M: Izdatelstvo standartov, 1999. 17 p.