

УДК 665.7.038.5

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ И СОСТАВА КОНЦЕНТРАТА ОТРАБОТАННОЙ ЭМУЛЬСИИ “ИНКАМ-1” В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ

© 2017 г. Д. Д. Фазуллин¹ *, Г. В. Маврин¹, И. Г. Шайхиев²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

*E-mail: denr3@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.01.2017 г.

В процессе использования отработанной смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) мембранными методами образуется концентрат, состоящий из нефтепродуктов (НП) и поверхностно-активных веществ (ПАВ). По результатам хромато-масс-спектрометрических исследований химического состава, выяснилось присутствие в составе концентрата дициклогексиламина, который, по литературным данным, является ингибитором коррозии (ИК). Поэтому предложено использовать концентрат в качестве ИК стали для нефтепромыслового оборудования. Определены физико-химические свойства ИК и проведены испытания в коррозионной среде для стали марки “Сталь 20” гравиметрическим методом. Для улучшения защитных свойств ИК, концентрат отработанной СОЖ модифицировали 1 М раствором NaOH (для повышения значения водородного показателя) и добавлением в состав оксипропилированного диэтиленгликоля. В результате испытаний степень защиты стали марки “Сталь 20” составила 78.5%. Полученный концентрат, возможно, использовать в качестве ингибирующей добавки для защиты трубопроводов от коррозионного воздействия пластовых вод. Проведенными испытаниями определен состав добавок, позволяющих увеличить ингибирующие характеристики концентрата.

Ключевые слова: водомасляная эмульсия, концентрат, ингибитор коррозии, скорость коррозии, Лапрол 302, дициклогексиламин.

DOI: 10.7868/S0028242117040049

Отработанные эмульсии – СОЖ, представляют собой 3–10%-ные растворы эмульсолов, в состав которых входят индустриальные масла, этиленгликоль, моноэтаноламин, нитрит натрия и другие химические соединения [1–3]. На машиностроительных предприятиях используются СОЖ как с коротким сроком эксплуатации, так и достаточно стойкие, со сроком использования несколько месяцев. Наиболее потребляемым на производствах, входящих в состав ПАО “КАМАЗ”, является СОЖ марки “Инкам-1”. Объем потребления последней составляет более 4000 т/год, остальные виды СОЖ используются в количестве менее 1000 т/год. В этой связи, в качестве объекта исследования выбрана отработанная эмульсия марки “Инкам-1”. Исходная эмульсия названной СОЖ включает в себя минеральное масло, эмульгаторы, ингибитор коррозии, бактерицидную добавку и воду.

Ранее была [4–6] разработана технология очистки отработанной эмульсии “Инкам-1”, включающая следующие стадии: 1) отделение свободных НП, осаждение взвешенных веществ

на установке коалесцентной очистки; 2) сорбция растворенных НП на композиционном угольном сорбенте; 3) выделение и концентрирование НП, ПАВ на ультрафильтрационном мембранном модуле с последующей доочисткой на нанофильтрационной мембранной установке. После очистки отработанной эмульсии образуется концентрат, который необходимо утилизировать или вторично использовать.

Цель данной работы – получение ингибитора коррозии стали на основе концентрата отработанной водомасляной эмульсии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Концентрацию НП и неионогенных ПАВ определили методом ИК-спектрометрии с помощью “Концентратомера КН-3”. Содержание воды и механических примесей определили гравиметрическим методом.

Хромато-масс-спектрометрическое исследование органической части концентрата эмульсии проводили на приборе DFS “Thermo Electron

Таблица 1. Компонентный состав концентрата отработанной эмульсии “Инкам-1”

Ингредиенты	Содержание, % ($P = 0.95, n = 2$)
Вода	4.56
Нефтепродукты	67.7
Неионогенные ПАВ	26.0
Механические примеси	1.74
Сумма	100%

Corporation” (Германия). Метод ионизации: электронный удар. Энергия ионизирующих электронов составляла 70 эВ, температура источника ионов – 290°C. Использовали капиллярную колонку австралийской компании SGE (Scientific Glass Engineering) ID-BP5X (аналог DB-5MS): длина – 50 м, диаметр – 0.32 мм. Химический состав фазы: 5% – дифенил, 95% – диметилполисилоксан. Толщина слоя фазы 0.25 мкм. Газ-носитель – гелий. Обработку масс-спектральных данных проводили с использованием программы “Xcalibur”. Пробу исследуемого образца перед вводом в прибор разводили в хроматографически чистом хлороформе ~5 об. %. Условия получения хроматограмм: температура инжектора – 250°C, деление потока (split) – 1 : 20; прогрев колонки в программном режиме: начальная температура – 120°C (3 мин), скорость нагрева 10°C/мин, конечная температура – 280°C (30 мин); поток газа-носителя через колонку – 2 мл/мин; температура устройства коммуникации с масс-спектрометром – 280°C; объем пробы 0.1 мкл. Идентификацию веществ, относящихся к пикам хромато-масс-спектрограмм, проводили путем сравнения экспериментальных масс-спектров с таковыми из компьютерного каталога прибора. Количественную оценку компонентов осуществляли по площадям хроматографических пиков. Поскольку данные хромато-масс-спектрометрии при оценке площадей пиков не учитывают эффективность ионизации соединений различной природы, их содержание носит ориентировочный характер.

Значения водородного показателя (рН) концентрата определили потенциометрическим методом. Определение скорости коррозии и степень защиты металлов с использованием отработанного концентрата эмульсии “Инкам-1” проводили согласно ГОСТ 9.506-87 “Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах” гравиметрическим методом. В качестве металлических образцов использовали металлические пластины прямоугольной формы размером 70 × 35 × 0.5 мм из стали марки “Сталь 20”, из которой изготавливаются, в частности, трубопроводы для перекачки нефти. Для активации поверхности перед испытанием образцы пластин погружали на 1 мин в

15%-ный раствор соляной кислоты (HCl), затем тщательно промывали проточной и дистиллированной водой, высушивали фильтровальной бумагой. Непосредственно перед испытанием образцы взвешивали на аналитических весах с точностью 0.0001 г. Образцы навешивали на подвеску и помещали в стеклянный стакан с испытуемой средой. Для создания динамических условий, растворы перемешивали с помощью магнитных мешалок. В качестве испытуемой среды использовали ингибированные и неингибированные модельные пластиковые воды, приготовленные согласно составу, описанному в ГОСТ 9.506-97, объемом по 130 см³. В качестве ИК добавляли концентрат отработанной эмульсии “Инкам-1”, коррозионные испытания проводили в течение 24 ч.

Для определения потери массы образцов, поверхность последних очищали от продуктов коррозии бензином, спиртом и мягкой антикоррозионной резинкой, тщательно промывали водопроводной и дистиллированной водой, высушивали фильтровальной бумагой. В последующем, образцы пластин взвешивали на аналитических весах с точностью до 0.0001 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С целью изыскания возможных направлений использования концентрата, первоначально определяли компонентный состав последнего.

Из табл. 1 следует, что в составе концентрата отработанной эмульсии “Инкам-1” присутствуют НП, НПВ, вода и механические примеси.

Для более подробного определения компонентного состава органической части концентратов свежей и отработанной эмульсии “Инкам-1”, сняты хромато-масс-спектры [7] хлороформных экстрактов.

В табл. 2 указаны компоненты проб хлороформных экстрактов концентратов свежей и отработанной эмульсии “Инкам-1”, полученные при регистрации полного ионного тока, идентифицированные методом хромато-масс-спектрометрии. Условия хромато-масс-спектрометрического анализа проб представлены в экспериментальной части.

Состав концентрата свежей и отработанной эмульсии “Инкам-1” сложен и характеризуется наличием множества химических соединений, часть которых, имеющих содержание более 1%, приведена в табл. 2. Очевидно, что в свежей эмульсии присутствуют, как углеводороды, так и спирты, эфиры, амины, а отработанная эмульсия, в основном, содержит в своем составе углеводороды.

Отличие состава концентратов свежей и отработанной эмульсии “Инкам-1” связано с поступлением в последнюю во время эксплуатации ма-

Таблица 2. Компонентный состав свежей и обработанной эмульсии “Инкам-1”, определенный методом хромато-масс-спектрометрии

№	Наименование вещества	Формула	Время удерживания, мин	Ориентировочное содержание, мас. %	
				в свежей эмульсии	в обработанной эмульсии
1	Дициклогексиламин	$C_{12}H_{23}N$	10.00	16.9	0.8
2	Дициклогексиламин (изомер)	$C_{12}H_{23}N$	11.05	17.5	1.4
3	2,6,10,15-Тетраметилгептадекан	$C_{21}H_{44}$	12.16	2.6	—
4	Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	12.98; 12.55	5.1	5.8
5	3,5-Ди- <i>трет</i> -бутил-4-гидроксibenзальдегид	$C_{15}H_{22}O_2$	13.66	5.9	—
6	2,6,10,14-Тетраметилгептадекан	$C_{21}H_{44}$	13.79; 13.34	3.5	3.9
7	2,4-Диметилундекан	$C_{13}H_{28}$	14.59	3.4	—
8	9-Октадеценовой кислоты, 12-гидрокси-метил-овый эфир, [R-(Z)]	$C_{18}H_{34}O_3$	15.77	5.0	—
9	2- (Октадецилокси)этанол	$C_{20}H_{42}O_2$	16.77	10.7	—
10	9-Октилгептадекан	$C_{25}H_{52}$	16.95; 19.41	5.1	3.4
11	Холестерина октаноат	$C_{35}H_{60}O_2$	17.41	8.8	—
12	7-Гексилэйкозан	$C_{26}H_{54}$	18.32	4.9	—
13	3-Этил-5-(2-этилбутил)октадекан	$C_{26}H_{54}$	19.04	4.4	—
14	3-Додеканол, 3,7,11-триметил	$C_{15}H_{32}O$	21.32	1.8	—
15	11-Децилтетракозан	$C_{34}H_{70}$	21.07	4.6	—
16	<i>n</i> -Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	9.39	—	0.6
17	2,6,10-триметилпентадекан	$C_{18}H_{38}$	11.30	—	1.3
18	2,6,10-Триметилдодекан (в составе масел)	$C_{15}H_{32}$	11.73	—	4.4
19	2,6,11-Триметил додекан	$C_{15}H_{32}$	14.12	—	4.4
20	2-Метилтетракозан	$C_{25}H_{52}$	14.89	—	4.3
21	2,6,10,14-Тетраметилпентадекан	$C_{19}H_{40}$	15.02	—	2.7
22	11-(1-Этилпропил генэйкозан	$C_{26}H_{54}$	15.34	—	2.8
23	2-Метилэйкозан	$C_{21}H_{44}$	15.43	—	2.3
24	4-Циклогексилтридекан	$C_{19}H_{38}$	15.66	—	4.6
25	2,6,10,14-Тетраметилгексадекан	$C_{20}H_{42}$	15.80	—	5.3
26	2,6,10,14-Тетраметилгептадекан	$C_{21}H_{44}$	16.39	—	7.4
27	1-Додеканол	$C_{20}H_{42}O$	16.62	—	5.9
28	Пропилциклогексан	C_9H_{18}	17.21	—	3.0
29	10-Метилнанодекан	$C_{20}H_{42}$	17.34	—	7.5
30	2,6,10,14-Тетраметилгептадекан	$C_{21}H_{44}$	17.69	—	4.6
31	<i>n</i> -Эйкозан	$C_{20}H_{42}$	18.05	—	10.6
32	4-Метилэйкозан	$C_{21}H_{44}$	18.75	—	9.9
33	9- <i>n</i> -Гексилгептадекан	$C_{23}H_{48}$	20.19	—	2.6

Таблица 3. Результаты испытаний в коррозионной среде пластин из стали марки “Сталь 20”

Коррозионная среда	Дозировка ИК	Средняя скорость коррозии, мм/год	Степень защиты, %
Пластовая вода без добавок	—	0.1465	—
+ 0.2 см ³ конц. Инкам-1	1.5 г/дм ³	0.1200	22.1
+ 0.5 см ³ конц. Инкам-1	3.8 г/дм ³	0.1144	27.3
+ 1 см ³ конц. Инкам-1	7.7 г/дм ³	0.1164	25.3
+ 5 см ³ конц. Инкам-1	38.5 г/дм ³	0.1292	12.4

сел из гидросистем станка, смазки с поверхности обрабатываемых материалов и т.д. Кроме того, в результате обработки металлов, эмульсия подвергается температурному воздействию, загрязнению механическими примесями, повышается концентрация ионов обрабатываемых металлов. Все указанные факторы приводят к протеканию различных химических реакций, способствующих трансформации исходных химических соединений в составе исходной эмульсии. Также следует отметить, со временем происходит и микробиологическое разложение эмульсии под действием определенных групп микроорганизмов.

Как следует из данных, приведенных в табл. 2, некоторые химические вещества присутствуют, как в концентрате отработанной эмульсии, так и в свежей. В частности, дициклогексиламин и его изомер со временами удерживания ($t_{уд}$) 10.0 и 11.05 мин соответственно, в концентрате свежей эмульсии содержатся суммарно в количестве 34.4%, в концентрате отработанной эмульсии — 2.2%. Пик на хроматограмме с $t_{уд} = 12.98$ мин соответствует гексадекану, который содержится в количестве около 5% в обеих эмульсиях. Пик на хроматограмме с $t_{уд} = 13.79$ мин соответствует 2,6,10,14-тетраметилгептадекану; его содержание в эмульсиях составляет более 3%. Также следует отметить наличие в исходной (5.1%) и отработанной (3.4%) эмульсиях 9-октилгептадекана, которому на хроматограмме соответствует пик с $t_{уд} = 16.95$ мин.

Дициклогексиламин и его изомер, присутствующий, как в концентрате свежей эмульсии, так и в отработанной эмульсии, — важный продукт органического синтеза. По литературным данным [8–12], дициклогексиламин проявляет свойства ИК металлов и широко применяется в составе ингибирующих составов. Кроме того, производные дициклогексиламина (нитриты, бензоаты, карбонаты) широко используются в качестве летучих ИК изделий из стали, меди и ее сплавов, алюминия, никеля, хрома и кобальта [11].

Дициклогексиламин входит состав ингибирующих составов марок М-1, М-2, МСДА-1 и МСДА-2, представляющих собой композиции солей дицик-

логексиламина с техническими фракциями синтетических жирных кислот с числом углеродных атомов от 7 до 20. Фирма “Shell Industrial Chemicals” выпускает ингибитор марки УР1-300, представляющий собой карбонат циклогексиламина [9]. В настоящее время в РФ применение дициклогексиламина ограничено вследствие его дефицитности [11].

В связи с вышеизложенным, решено провести исследования концентрата отработанной эмульсии марки “Инкам-1” в качестве ИК стальных конструкций для нефтепромыслового оборудования.

По стандартным методикам [13, 14] были определены значения водородного показателя и плотности, а также растворимость отработанной эмульсии “Инкам-1” в воде. Названные показатели составили: рН 6.9 ± 0.1 , $\rho = 0.940 \pm 0.047$ г/см³. Также определено, что отработанный концентрат образует эмульсию в воде. Рассчитанные значения средней скорости коррозии и защитного эффекта в коррозионной среде представлены в табл. 3.

Результаты исследований показали, что при использовании в качестве ингибирующей композиции концентрата отработанной эмульсии “Инкам-1”, скорость коррозии снижается. Оптимальной дозировкой ингибирующей композиции, при которой достигается максимальная степень защиты в 27.3%, определена концентрация 3.8 г/дм³.

Для исследования влияния значений рН на степень ингибирования коррозии стали, в последующем проводились эксперименты с концентратами эмульсии, имеющими различные значения водородного показателя. Значение рН у исходного концентрата отработанной эмульсии “Инкам-1” составил 6.9 единиц. Были приготовлены ингибирующие композиции со значениями водородного показателя от рН 6.9 до рН 10 путем добавления в концентрат отработанной эмульсии “Инкам-1” определенного объема 1 М раствора NaOH. Результаты средней скорости коррозии, в зависимости от значений рН ингибирующей добавки, представлены в табл. 4.

Скорость коррозии стали марки “Сталь 20” в пластовой воде составила 0.0981 мм/год при до-

Таблица 4. Значения средней скорости коррозии в зависимости от значений рН ингибирующей композиции

Коррозионная среда	Дозировка ИК	Средняя скорость коррозии, мм/год
Пластовая вода без добавок	—	0.1214
+ конц. Инкам-1 рН 6.9	3.8 г/дм ³	0.0981
+ конц. Инкам-1 рН 8.0	3.8 г/дм ³	0.0927
+ конц. Инкам-1 рН 9.0	3.8 г/дм ³	0.0895
+ конц. Инкам-1 рН 10.0	3.8 г/дм ³	0.1105

Таблица 5. Значения средней скорости коррозии в зависимости от добавки в ИК оксипропилированного диэтиленгликоля марки “Лапрол 302”

Коррозионная среда	Дозировка ИК	Средняя скорость коррозии, мм/год	Степень защиты, %
Пластовая вода без добавок	—	0.1214	—
Концентрат Инкам-1 (рН 6.9) + 5% Лапрол 302	3.8 г/дм ³	0.0868	39.8
Концентрат Инкам-1 (рН 6.9) + 10% Лапрол 302	3.8 г/дм ³	0.0828	46.5
Концентрат Инкам-1 (рН 6.9) + 20% Лапрол 302	3.8 г/дм ³	0.0828	46.6
Кконцентрат Инкам-1 (рН 9) + 10% Лапрол 302	3.8 г/дм ³	0.0680	78.5

бавлении концентрата отработанной эмульсии “Инкам-1” с рН 6.9. По литературным данным [15] низкие значения рН приводят к увеличению скорости коррозии. При увеличении значения водородного показателя до рН 9 концентрата отработанной эмульсии “Инкам-1”, скорость коррозии стали уменьшилась до 0.0895 мм/год.

Зависимость степени защиты стали от значений водородного показателя ингибитора коррозии представлена на рисунке.

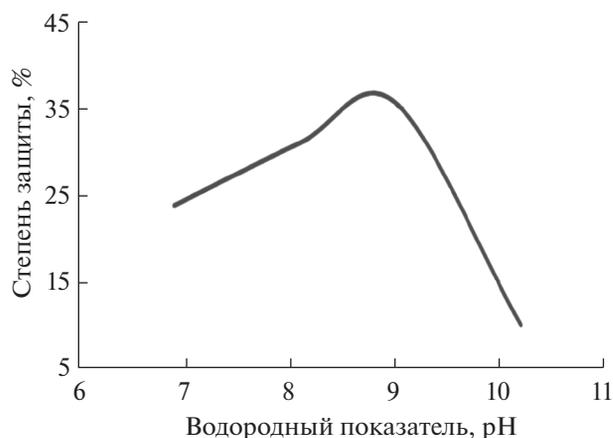
Из графика на рисунке следует, что максимальная степень защиты стали составляет 35.6 и наблюдается в диапазоне рН 8.5–9.5. При увеличении водородного показателя эмульсии выше значения 9.5 единиц рН происходит резкое снижение защитных свойств ингибирующей композиции.

По литературным данным [16] эффективность ингибиторов коррозии можно увеличить введением в состав последних гидрофобизирующих реагентов. Например, в [17] сообщается, что полиалкиленгликоли (ПЭГ) являются хорошими ингибиторами коррозии труб нефтяных скважин. Предлагается использование ПЭГс молекулярной массой от 300–1500 в концентрации 0.01–0.2%. В качестве примеров приводятся результаты, полученные с ПЭГ, полипропиленгликолем и ингибиторами марки “Pluronic” [18].

Предлагается также ИК для защиты черных и цветных металлов, в состав которого входит полипропиленгликоль в количестве от 1 до 30% [19, 20].

В связи с вышеизложенным, в дальнейшем для повышения ингибирующих свойств концентрата отработанной эмульсии “Инкам-1”, в него добавляли оксипропилированный диэтиленгликоль марки “Лапрол 302” в количествах 5–20%. Результаты коррозионных испытаний пластин с добавлением оксипропилированного диэтиленгликоля “Лапрол 302” представлены в табл. 5.

Из данных, приведенных в табл. 5 видно, что при добавлении оксипропилированного диэтиленгликоля в концентрат отработанной СОЖ “Инкам-1” наблюдается повышение степени защиты стали. Оптимальный объем оксипропилированного диэтиленгликоля составил 10%, даль-



Зависимость степени защиты стали от значения водородного показателя ингибитора коррозии.

нейшее увеличение объема не способствует увеличению защитных свойств ингибирующей добавки. По полученным ранее данным, концентрат эмульсии “Инкам-1” модифицировали повышением значения pH до 9 и добавлением 10% оксипропилированного диэтиленгликоля марки “Лапрол 302”. В результате проведенных испытаний (табл. 5) определено, что степень защиты стали марки “Сталь 20” составила 78.5%.

Для повышения биологической устойчивости концентрата от действия микроорганизмов, в него дополнительно добавляли биоцид марки “Неомид 185” в объеме 0.1%.

Проведены сравнительные лабораторные испытания с наиболее часто используемыми промышленными ингибиторами коррозии марок “СНПХ-1004” и “ТНХС-7”, применяемыми для снижения коррозии в трубопроводах системы нефтесбора. Степень защиты стали с ИК марки “СНПХ-1004” составил 85%, с ИК марки “ТНХС-7” составил 72%. Защитные свойства предложенной ИК не уступают используемым в настоящее время промышленным ингибиторам.

Таким образом, в результате проведенных исследований, показана возможность использования концентрата, образованного в результате коалесцентной и мембранной очистки отработанной эмульсии марки “Инкам-1”, в качестве ингибирующей добавки для защиты трубопроводов от коррозионного воздействия пластовых вод. Проведенными испытаниями определен состав добавок, позволяющих увеличить ингибирующие характеристики реагента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Костюк В.И.* Очистка сточных вод машиностроительных предприятий: для инженеров и учащихся вузов. Киев: Техника, 1990.
2. *Евдокимов А.Ю.* // Автореферат дис. ... докт. техн. наук. Гос. акад. нефти и газа им. И. М. Губкина. М., 1997. 48 с.
3. *Lobo A., Cambiella Á., Benito J. M., Pazos C., Coca J.* // J. of Membrane Science. 2006. V. 278. Issues 1–2. P. 328.
4. *Fazullin D.D., Mavrin G.V., Melkonyan R.G.* // Chem. and Technol. of fuels and oils. 2014. V. 50. № 1. P. 88.
5. *Fazullin D.D., Mavrin G.V., Sokolov M.P.* // Chem. and Technol. of fuels and oils. 2015. V. 51. № 1. P. 93.
6. *Fazullin D.D., Mavrin G.V., Shaikhiyev I.G.* // Chem. and Technol. of fuels and oils. 2015. V. 51. № 5. P. 501.
7. *Харрик Н.* Спектроскопия внутреннего отражения. Пер. с англ. М: Мир, 1970. 336 с.
8. Дициклогексиламин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ximuk.ru/vvp/2/375.html/> (дата обращения: 04.01.2016г.)
9. Большая Энциклопедия Нефти Газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id006762p1.html/> (дата обращения: 04.01.2016г.)
10. Дициклогексиламин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mash-xxl.info/info/160822/> (дата обращения: 04.01.2016г.)
11. *Панчехин В.А.* // Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Волгоградский гос. технический ун-т. Волгоград, 2011. 24 с.
12. *Bastidas J.M., Mora E.M.* // Canadian Metallurgical Quarterly: The Canadian J. of Metallurgy and Materials Science. 1998. V. 37. Issue 1. P. 57.
13. Федеративные природоохранные нормативные документы, ФПНД (16.2.2:2.3:3.33-02 Методика выполнения измерений значения водородного показателя pH твердых и жидких отходов производства и потребления, осадков, шламов, активного ила, донных отложений потенциометрическим методом. М.: ФГУ ФЦАО, 2005. С. 12.
14. Методические указания по испытанию ингибиторов коррозии для газовой промышленности. М.: ВНИИГАЗ, 1996. С. 9.
15. *Есина М.Н., Цыганкова Л.Е., Плотникова С.В., Кудрявцева Н.М.* // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19. № 1. С. 161.
16. *Kung-Chin Changa, Min-Hsiang Hsua, Hsin-I Lub* // Carbon. 2014. V. 66, P. 144.
17. *Chen Hui Zhang, Chen Hui Zhang, Ying Chun Zhao, Marcus Björling, Yan Wang, Jiцan Bin Luo, Braham Prakash* // Tribology Letters. 2012. V. 45. Issue 3, P. 379.
18. Ингибиторы коррозии нефтяных труб и оборудования. Часть 9. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://metallcheckiy-portal.ru/articles/zashita_ot_korrozii_metalla/ingibitori_korrozii/ingibitori_korrozii_neftanix_trub_i_oborudovania/9/ (дата обращения: 04.01.2016г.)
19. *Гаврилов Н.Б.* // Пат. 2254399 РФ. Заявл. 16.06.2004; опубл. 20.06.2005.
20. *Виноградов С.Н., Волчихин В.И., Ширина Е.В., Мещерская А.С.* // Технические науки. Машиностроение и машиноведение. 2008. № 4. С. 139.