

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.3.13

УДК 661.185.6

**А.Г. Старостин, В.З. Пойлов, С.В. Карманова,
А.А. Котенко, Е.В. Лыткин**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ АВИАЦИОННОГО СПЛАВА ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Рассмотрены вопросы оценки эффективности моющих составов для очистки авиационных деталей от технологических загрязнений различного вида. Представлены результаты очистки деталей моющими средствами торговой марки Ardrex при различных параметрах процесса. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективным моющим средством для очистки сплава марки 12Х2Н4А-Ш от таких загрязнителей, как паста полировальная, консервационное масло К-17, масло Mobil Mobilmet 423, закалочное масло Vasiqueuch B244, СОЖ-073 и эмульсия для проведения магнитно-люминесцентного контроля, является моющее средство Ardrex 6378А. При этом хуже всего очистка протекает от консервационного масла К-17 и полировальной пасты. Также установлено, что при температуре 25 °С растворы Ardrex 6378А не способны отмыть образец сплава ни от масла К-17, ни от пасты во всех интервалах времени операции отмытки. Отмытка образцов, загрязненных консервационным маслом К-17 и полировальной пастой, происходит только при повышенных температурах и высокой длительности процесса.

Использование ультразвуковой обработки в процессе очистки позволяет повысить эффективность очистки, снизить температуру и длительность процесса. Получены уравнения регрессии, описывающие влияние температуры, концентрации моющего средства и длительности процесса на степень очистки поверхности образцов сплава, контролируемую с помощью ИК-фурье-спектрофотометра.

Результаты представленных исследований показывают высокую эффективность удаления загрязнителей моющим средством Ardrex 6378А на водной основе, что позволит промышленным предприятиям отказаться от использования пожароопасных растворителей (нефрасов, бензина) и тем самым повысить безопасность труда.

Ключевые слова: *очистка, моющие средства, загрязнение, очистка металлической поверхности, удаление масел, паст.*

**A.G. Starostin, V.Z. Poilov, S.V. Karmanova,
A.A. Kotenko, E.V. Lytkin**

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

CLEANING THE SURFACE OF AN AIRCRAFT ALLOY FROM TECHNOLOGICAL CONTAMINATION

This paper describes the issues of assessing the effectiveness of detergent compositions for cleaning aircraft parts from technological contaminants of various types. The article presents the results of cleaning parts with detergents of the "Ardrox" trademark at various process parameters. As a result of the studies, it was found that the most effective detergent for cleaning the alloy grade 12X2H4A-Sh from such contaminants as polishing paste, conservation oil K-17, Mobil Mobilmet 423 oil, quenching oil Vacuquench B244, SOZH-073 and emulsion for carrying out magnetic-luminescent control – the detergent Ardrox6378A is used. In this case, the worst cleaning proceeds from the K-17 conservation oil and polishing paste. It was also found that at a temperature of 25 °C solutions Ardrox6378A are not able to wash the alloy sample neither from K-17 oil, nor from the paste in all intervals of the washing operation time. Washing of samples contaminated with K-17 conservation oil and polishing paste occurs only at elevated temperatures and a long process duration.

The use of ultrasonic treatment in the cleaning process improves the cleaning efficiency, reduces the temperature and duration of the process. Regression equations are obtained that describe the effect of temperature, concentration of detergent and duration of the process on the degree of cleaning of the surface of alloy samples, which is controlled using an IR Fourier spectrophotometer.

The results of presented studies show a high efficiency of removing pollutants with a water-based detergent Ardrox6378A, which will allow industrial enterprises to abandon the use of flammable solvents (petroleum oils, gasoline) and thereby increase labor safety.

Keywords: *cleaning, detergent solution, contamination, cleaning of the metal surface.*

Введение. В технологии машиностроения при обработке, хранении и транспортировке металлических деталей применяются различные масла, смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), эмульсии и алмазные пасты, которые остаются на поверхностях деталей и препятствуют их дальнейшей эксплуатации и обработке, например, при создании электрохимических покрытий. В связи с этим в промышленности широко используются моющие составы на основе бензина (нефраса). Несмотря на обеспечение качественной отмывки, этот состав является высокотоксичным и взрывопожароопасным. В связи с этим представляют интерес исследования по поиску и оценке эффективности моющих средств, лишенных этих недостатков.

Моющие составы, используемые в авиационной промышленности, должны хорошо и быстро растворять поверхностные пленки загрязнений, по возможности при низких температурах, иметь высокую способность проникновения в микротрещины и дефекты поверхностей деталей, не образовывать пены, не образовывать на поверхности осадков нерастворимых веществ, т.е. полностью испаряться после обработки, не должны вызывать коррозию металлов и компонентов сплавов. Или должны образовывать тонкие защитные от коррозии пленки на поверхности деталей, не меняющие механические характеристики деталей. Кроме того, моющие составы должны быть нелетучи, нетоксичны, пожаровзрывобезопасны при хранении и эксплуатации, не вызывать химических ожогов, устойчивы в течение длительных сроков хранения к химической и биологической деградации, расслоению.

Обзор литературы. Эффективность очистки поверхностей сплавов зависит от химической активности применяемых средств очистки, параметров процесса очистки и оборудования, которые подбираются в зависимости от типа загрязнений и конструктивных особенностей изделий [1]. Зачастую решающую роль в процессе отмытки играет выбор и применение промывочной жидкости. Анализ патентов по моющим составам показал, что многочисленные составы и композиции можно разделить на синтетические органические составы [2], водорастворимые неорганические [3–6] и водорастворимые соединения, содержащие как неорганические, так и органические компоненты [7, 8]. Кроме того, моющие составы могут содержать природные соединения [9].

Примером органических моющих средств является состав [2] для очистки металлических и других поверхностей от технологических смазок и микрочастиц металла, масел, смазок, битума, консервационных составов, следов смазочно-охлаждающей жидкости и других загрязнений. В нем используют неионогенное поверхностно-активное вещество (НПАВ) на основе тримеров пропилена с концентрацией водородных ионов рН не менее 6,0–8,0, водно-спиртовую эмульсию концентрацией 10 г/дм³ и нефтяной растворитель парафиновой фракции С₇–С₁₈. В качестве НПАВ моющее средство содержит Неонол 9-(4-12) или Неонол 9-6, а в качестве нефтяного растворителя – парафин нефтяной жидкий широкой фракции. Также в моющее средство добавляют 0,3–7,0 мас.% анионоактивного ПАВ, состоящего из смеси натриевых солей алкилсульфоновых кислот. Органические составы, как правило, горючи, имеют более высокую токсичность.

К водорастворимому составу относится моющее средство для очистки нефтеналивного оборудования от загрязнений органической и неорганической природы, имеющее в своем составе, мас. %: силикат натрия – 0,70–0,75; карбонат натрия – 3,5–3,75; смачиватель ОП-10 – 0,23–0,25; производное 2-гидрокси-3-фенилэтинилтио(селено)-1,4-хинонов – 0,23–0,25; вода – остальное [3]. В заявке на изобретение США [4] предложен водный моющий состав для удаления керосина, асфальтенов и внутренних загрязнений или отложений углеводорода. Моющий состав содержит 21–33 % силиката; 20–35 % перексигена; 3–15 % фосфата; 15–40 % карбоната или бикарбоната; 1–10 % хелатирующего агента; 1–5,5 % комбинации сурфактанта. Комбинация сурфактанта включает в себя смесь полимера сурфактанта, содержащую блоксополимер и обратный полимер и вещество смачиватель, содержащее сульфированный материал или этоксиэтилированный спирт. В заявке на изобретение США [5] приведен водный моющий состав, содержащий фториды 1–35 %, амины 20–60 %, азотный компонент 0,1–40 %, например, содержащую азоткарбоксылную кислоту или имин, воду 20–50 % и антикоррозионный ингибитор 0–21 % металлхелатирующий агент. В источнике [6] предложен водный моющий состав, включающий кислотную соль фторида, отобранную из бифторида аммония, бифторида натрия, калия бифторида, фторфосфатов кальция, фторсиликатов натрия и комбинаций их двух или более; минеральный кислотный аддукт мочевины; сурфактант; органический растворитель. Моющий состав эффективен при удалении продуктов коррозии на металлической поверхности, особенно алюминиевых и алюминиевых поверхностях сплава.

Примером моющих средств третьей группы, содержащих как органические, так и неорганические соединения, является состав [7] включающий хелатирующий компонент из группы метилглициндиуксусная кислота (MGDA), N,N-бис(карбоксиметил)глутамат (GLDA), нитрилтриуксусная кислота (NTA), гидроксиэтилендиаминтриуксусная кислота (HEDTA), этилендиаминтетрауксусная кислота (EDTA), диэтилентриаминпентауксусная кислота (DTPA) и их смеси. Также включает силикат и/или карбонат металла, растворяющий компонент, алконоламин, полиакриловую кислоту (PAA) и/или акрилово-малеиновый сополимер и сурфактант. В заявке на изобретение США [8] водное моющее средство содержит соль по крайней мере одной из следующих карбоновых кислот: алифатическая одноосновная карбоновая кислота, имеющая полное углеродное число 9–10, включая разветвленную ал-

килированную группу; декандиовая кислота; ароматическая моноосновная карбоновая кислота, имеющая общее углеродное число 11–13.

Состав, содержащий природные соединения [9], включает 2,4–3,6 части амина полиэфира, 1,5–2,0 сурфактанта, 2,6–4,2 эфира монометила гликоля пропилен, 3,6–5,8 алкиламида, 2–6,2 бориды oleylamine, 2,3–4,6 щавелевой кислоты, 6–12 разлагаемого неионогенного сурфактанта, 5–10 природного экстракта извлечения osmanthus fragrans, 4–7 натурального воска, 12–24 дипропилен гликоля, 3–7 метисиликоновой нефти, 6–12 калия дифосфата, 4–5 адипиновой кислоты и 4–8 сульфата магния. Моющее средство формирует защитную пленку, предотвращающую коррозию.

По результатам анализа патентных источников установлено, что преимущественным направлением создания моющих безопасных составов является синтез водорастворимых малотоксичных композиций, имеющих антикоррозионные и другие добавки, улучшающие функциональные свойства моющих средств [4–16]. Большой ассортимент такой продукции для аэрокосмической промышленности на основе водорастворимых очистительных средств предлагает компания Chemmetall Ardrex [17]. Однако эффективность моющих составов этой фирмы для очистки авиационного сплава марки 12Х2Н4А-Ш от таких загрязнителей, как паста полировальная, консервационное масло К-17, масло Mobil Mobilmet 423, закалочное масло Vacuquench B244, СОЖ-073, эмульсия для проведения магнитно-люминесцентного контроля, пока не установлена.

Цель работы – исследования эффективности моющих составов Ardrex для очистки сплава марки 12Х2Н4А-Ш от загрязнителей типа паста полировальная, консервационное масло К-17, масло Mobil Mobilmet 423, закалочное масло Vacuquench B244, СОЖ-073, эмульсия для проведения магнитно-люминесцентного контроля.

Экспериментальная часть. В качестве моющих средств исследовали составы немецкой фирмы Chemmetall: Ardrex 6333В и Ardrex 6378А. Моющее средство Ardrex 6333В имеет в составе калий углекислый, силикат калия, гидроксид калия, а средство Ardrex 6378А содержит те же компоненты с добавкой сурфактанта – натрий-N-(2-карбоксиил)-N-(2-этилгексил)-бета-аланината.

Для исследований эффективности моющих составов приготовлены образцы размером 30×40×2 из авиационного сплава марки 12Х2Н4А-Ш с шероховатостью $R_a = 1,25$. На предварительно очищенную и обезжиренную поверхность пластин наносили образцы испытуемых загрязнителей:

- паста полировальная;
- консервационное масло К-17;
- масло Mobil Mobilmet 423;
- закалочное масло Vacuquench B244;
- СОЖ-073;
- эмульсия для проведения магнитно-люминесцентного контроля.

Загрязнитель – консервационное масло К-17 (или смазка К-17) производится по ГОСТ 10877–76 путем смешивания масла МС-20 (авиационное) и Т-1500У (трансформаторное) с добавками целого ряда присадок, а также каучука СКБ-45 и петролатума окисленного. Содержит примеси механического происхождения – 0,07 %, имеет зольность 1,35–2,40 %. Загрязнитель – полировальная паста – имеет сложный состав и содержит абразивы на основе кубического нитрида бора или алмазов. В неабразивную часть пасты входят олеиновая и стеариновая кислоты, парафин, костное, машинное и вазелиновое масла, скипидар, канифоль, бензин. В состав паст входят также поверхностно-активные вещества.

Тестовые эксперименты по выбору моющего средства проводили следующим образом. Загрязненные пластины опускали в нагретый до 50 °С моющий агент. По истечении 10 мин моющий агент удаляли, образец промывали дистиллированной водой, нагретой до 60 °С, сушили на воздухе при комнатной температуре. Эксперименты проводили в статическом режиме (без перемешивания). В результате тестовых экспериментов установлено, что наиболее эффективным моющим средством является Ardrox 6378A25L, причем из указанных загрязнителей хуже всего очистка протекает от консервационного масла К-17 и полировальной пасты.

С учетом результатов тестовых экспериментов, дальнейшие эксперименты по исследованию влияния концентрации моющего средства и температуры проводили с использованием загрязнителей консервационного масла К-17 и пасты полировальной, а в качестве моющего средства использовали Ardrox 6378A25L с концентрациями 5, 10, 15 об.% при продолжительности процесса очистки 5, 10, 40 мин и температурах 25, 37, 50, 65 °С. Методика проведения эксперимента была аналогичной ранее изложенной.

В результате проведенных экспериментов установлено, что при температуре 25 °С растворы Ardrox 6378A25L не способны отмыть образец сплава ни от масла К-17, ни от пасты во всех интервалах времени

операции отмывки. Отмывка пластины, загрязненной консервационным маслом К-17, при температуре 37 °С и длительности обработки 40 мин происходит не полностью: остаются масляные пятна, следы коррозии. Паста притирочная также отмывается частично: не отмытые участки загрязнены остатками абразивной основы пасты, частицы которой в статическом режиме не отмываются.

С целью повышения эффективности очистки, снижения температуры и времени процесса на следующем этапе исследования проводили с использованием метода ультразвуковой обработки. Для очистки в реактор с исследуемым образцом опускали погружной излучатель ультразвука и проводили УЗ обработку с частотой 22 кГц и продолжительностью обработки 5 или 10 мин. После обработки образец сплава промывали дистиллированной водой (50 мл), нагретой до 60 °С, сушили на воздухе при комнатной температуре. После чего проводили анализ остаточного загрязнения на ИК-фурье-спектрометре и сравнение с исходным чистым образцом. ИК-фурье-анализ позволяет с высокой чувствительностью определять содержание загрязняющих веществ.

В качестве примера на рисунке приведены ИК-спектрограммы поверхности чистой и загрязненной полировальной пастой образцов.

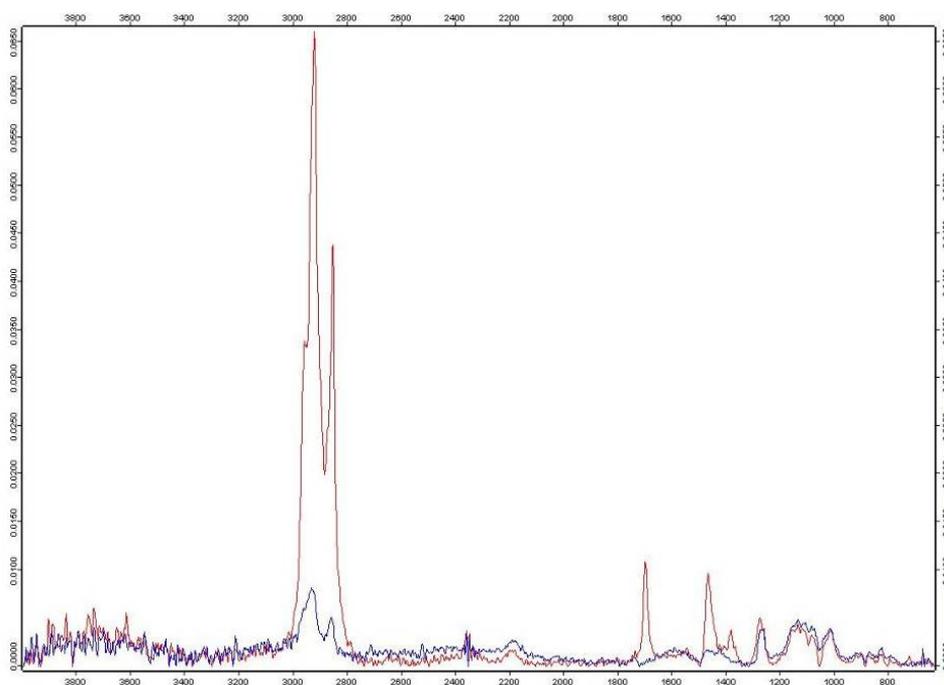


Рис. ИК-спектрограмма поверхности образцов: нижняя кривая – чистая поверхность; верхняя кривая – поверхность, загрязненная полировальной пастой

На ИК-спектрограммах выявлены пики, присущие маслам с длинной световой волны 2800–3000 нм и поверхностно-активным веществам с длиной волны 800–1300 нм. Определение остаточного количества загрязнений методом ИК-спектрометрии позволили численно оценить эффективность ультразвуковой отмывки. Результаты исследований очистки образцов от консервационного масла и полировальной пасты приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты очистки загрязненных образцов от консервационного масла К-17 моющим средством Ardrex 6378A25L

№ п/п	Условия очистки			Степень очистки, %
	T, °C	C, об.%	τ, мин	
1	25	5	5	90,47
2	25	5	10	95,24
3	25	10	5	92,86
4	25	10	10	95,24
5	25	15	5	96,66
6	25	15	10	97,62
7	37	5	5	95,24
8	37	5	10	96,19
9	37	10	5	95,24
10	37	10	10	96,66
11	37	15	5	97,61
12	37	15	10	98,57
13	50	5	5	99,05
14	50	5	10	99,05
15	50	10	5	99,05
16	50	10	10	99,05
17	50	15	5	100
18	50	15	10	100

Регрессионный анализ данных табл. 1 позволил получить адекватное уравнение регрессии с множественным коэффициентом корреляции $R = 0,914$ для степени очистки X :

$$X = 85,424 + 0,187T + 0,253C + 0,254 \tau, \quad (1)$$

где T – температура процесса, °C; C – концентрация моющего средства, %; τ – длительность процесса, мин.

Из анализа уравнения (1) следует, что степень очистки образцов от консервационного масла возрастает с увеличением температуры,

длительности ультразвуковой обработки и концентрации моющего средства.

Таблица 2

Результаты очистки загрязненных образцов от полировальной пасты моющим средством Ardrox 6378A25L

№ п/п	Условия очистки			Степень очистки, %
	T , °C	C , об.%	τ , мин	
1	25	5	5	54,54
2	25	5	10	62,12
3	25	10	5	62,12
4	25	10	10	65,15
5	25	15	5	69,69
6	25	15	10	84,85
7	37	5	5	87,88
8	37	5	10	92,42
9	37	10	5	93,94
10	37	10	10	96,97
11	37	15	5	87,88
12	37	15	10	100
13	50	5	5	100
14	50	5	10	100
15	50	10	5	100
16	50	10	10	100
17	50	15	5	100
18	50	15	10	100

В результате регрессионного анализа данных табл. 2 получено адекватное уравнение регрессии с множественным коэффициентом корреляции $R = 0,903$ для степени очистки X от полировальной пасты:

$$X = 21,64299 + 1,332182 T. \quad (2)$$

Из анализа уравнения (2) следует, что степень очистки образцов сплава от полировальной пасты существенно зависит от температуры процесса.

Выводы:

1. В результате исследований установлено, что наиболее эффективным моющим средством для очистки сплава марки 12Х2Н4А-Ш от загрязнителей является Ardrox 6378A25L: паста полировальная; кон-

сервационное масло К-17; масло Mobil Mobilmet 423; закалочное масло Vasuquench B244; СОЖ-073; эмульсия для проведения магнитно-люминесцентного контроля. При этом хуже всего очистка протекает от консервационного масла К-17 и полировальной пасты.

2. Установлено, что при температуре 25 °С растворы Ardrox 6378A25L не способны отмыть образец сплава ни от масла К-17, ни от пасты во всех интервалах времени операции отмывки. Отмывка образцов, загрязненных консервационным маслом К-17 и полировальной пастой, происходит только при повышенных температурах и высокой длительности процесса.

3. Использование ультразвуковой обработки в процессе очистки позволяет повысить эффективность очистки и снизить температуру и длительность процесса. Получены уравнения регрессии, описывающие влияние температуры, концентрации моющего средства и длительности процесса на степень очистки поверхности образцов сплава, контролируемую с помощью ИК-фурье-спектрофотометра.

Список литературы

1. Савельев А.В., Кустов А.Е., Чернов О.И. Технологии промышленной очистки. Техническое пособие. – М.: Солтек, 2014. – 75 с.
2. Моющее средство техносол: пат. 2439205 Рос. Федерация / Трифонов В.В., Трифонов Я.В. – №2010112465/02; заявл. 01.04.2010; опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1. – 10 с.
3. Пат. 2547823 Рос. Федерация. Производные 2-гидрокси-3-фенилэтилнило(селено)-1,4-хинонов в качестве поверхностно-активных веществ и моющее средство их содержащее: / Зачиняев Я.В., Харитоненко А.Л., Сергиенко Ю.В., Титова Т.С. – № 2013152521/04; заявл. 26.11.2013; опубл. 10.04.2015. Бюл. № 10. – 8 с.
4. Charles Bullick Talley, Aurora, CO. Aqueous cleaning composition and method. Patent U.S. 20170088767. – 2017.
5. Wojtczak W.A., Fatima Seijo Ma., Bernhard D., Nguyen L. Patent U.S. 2015344826. – 2015.
6. Hawes C.L. Patent application publication U.S. 20150315712. – 2015.
7. Gutowski K.E., Harris P. Patent U.S. 20130210692. – 2013.
8. Kawasaki H. Patent U.S. 2013196889. – 2013.
9. Syuy Maokhan. Patent CN 104,818,495. – 2015.
10. Ma Di, Li Shubai, Xu Longgui, Geng Changjin. Patent CN 104,818,490. – 2018.
11. Michio Kaneko, Kiyonori Tokuno, Hiroshi Shimizu, Takateru Dekura. Patent U.S. 7,547,671. – 2005.
12. Magdalena Christiana Cornelia Stols. Patent U.S. 6,200,942. – 2001.

13. Qi Xiansen. Patent CN 104,862,718. – 2015.
14. Tian Jingqiang. Patent CN 104,789,980. – 2015.
15. Zhang Chunhua. Patent CN 106,591,855. – 2017.
16. Jin Baoquan. Patent CN 106,283,081. – 2017.
17. OpenMP: сайт. – URL: <http://trast-aero.com/ru/catalog/Masla-i-smazki/Chemetall-Ardrox.html>. (дата обращения: 21.08.2020).

References

1. Savelev A.V., Kustov A.E., Chernov O.I. Tekhnologii promyshlennoi ochistki. Tekhnicheskoe posobie [Industrial cleaning technologies. Technical manual]. Moscow, Nauchno-tekhnicheskaja kompanija Soltek, 2014, 75 p.
2. Trifonov V. V., Trifonov Ia.V. Moiushchee sredstvo tekhnosol [Detergent technosol]. Patent Rossijskaja Federatsija no. 2010112465/02 (2012).
3. Zachiniaev Ia.V., Kharitonenko A.L., Sergienko Iu. V., Titova T.S. Proizvodnye 2-gidroksi-3-feniletinitio(seleno)-1,4-khinonov v kachestve poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i moiushchee sredstvo ikh sodержashchee [Derivatives of 2-hydroxy-3-phenylethynylthio (selenium) -1,4-quinones as surfactants and a detergent containing them]. Patent Rossijskaja Federatsija no. 2013152521/04 (2013).
4. Charles Bullick Talley, Aurora, CO. Aqueous cleaning composition and method. Patent application publication U.S. 20170088767 (2017).
5. Wojtczak W.A., Fatima Seijo Ma., Bernhard D., Nguyen L. Patent application publication U.S. 2015344826 (2015).
6. Hawes C.L. Patent application publication U.S. 20150315712. – 2015.
7. Gutowski K.E., Harris P. Patent application publication U.S. 20130210692 (2013).
8. Kawasaki H. Patent application publication U.S. 2013196889 (2013).
9. Maohang Xu. Patent application publication CN 104818495 (2015).
10. Ma Di, Li Shubai, Xu Longgui, Geng Changjin. Patent CN 104,818,490 (2018).
11. Michio Kaneko, Kiyonori Tokuno, Hiroshi Shimizu, Takateru Dekura. Patent U.S. 7,547,671 (2005).
12. Magdalena Christiana Cornelia Stols. Patent U.S. 6,200,942 (2001).
13. Qi Xiansen. Patent CN 104,862,718 (2015).
14. Tian Jingqiang. Patent CN 104,789,980 (2015).
15. Zhang Chunhua. Patent CN 106,591,855 (2017).
16. Jin Baoquan. Patent CN 106,283,081 (2017).
17. OpenMP: available at: <http://trast-aero.com/ru/catalog/Masla-i-smazki/Chemetall-Ardrox.html>. (accessed at 21 august 2020).

Получено 01.08.2020

Об авторах

Старостин Андрей Георгиевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: starostin26@yandex.ru).

Пойлов Владимир Зотович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Vladimirpoilov@mail.ru).

Карманова Светлана Валериевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Karmanovs@yandex.ru).

Котенко Анна Александровна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: anna.kotenko.95@mail.ru).

Лыткин Евгений Владиславович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: lytkine@mail.ru).

About the authors

Andrey G. Starostin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: starostin26@yandex.ru).

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

Svetlana V. Karmanova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: Karmanovs@yandex.ru).

Anna A. Kotenko (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: anna.kotenko.95@mail.ru).

Evgenii V. Lytkin (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: lytkine@mail.ru).