

## СЕКЦИЯ 5

### Прочность и надежность судовых конструкций

Анисимов А.В., Михайлова М.А., Уварова Е.А.

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург, Россия

## НЕОБРАСТАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ С НИЗКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИЕЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОГО ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕГО И КРЕМНИЙФТОРОРГАНИЧЕСКИХ МОДИФИКАТОРОВ

Целью работы стало создание отечественных безбицидных лакокрасочных покрытий с низкой поверхностной энергией. Разработанная технология изготовления необрастающей экологически чистой эмали отработана в условиях промышленного производства.

**Ключевые слова:** обрастание, покрытия с низкой поверхностной энергией, необрастающие покрытия, безбицидные покрытия, перфторполиэфирные жидкости, эпоксидные смолы.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Анисимов А.В., Михайлова М.А., Уварова Е.А. Необрастающее покрытие с низкой поверхностной энергией на основе эпоксидного пленкообразующего и кремнийфторорганических модификаторов. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; специальный выпуск 1: 114–120.

УДК 629.5.081.26

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-114-120

## SECTION 5

### Strength and reliability of ship structures

Anisimov A., Mikhailova M., Uvarova E.

NRC “Kurchatov Institute” – CRISM “Prometey”, St. Petersburg, Russia

## ANTIFOULING LSE COATING BASED ON EPOXY FILM-FORMING AND SILICON-FLUOROORGANIC MODIFIERS

This study is concerned with the development of non-biocidal paint systems with low surface energy. The suggested technology for production of green antifouling enamel has been proven for the industrial-scale production.

**Key words:** fouling, low surface energy coatings, anti-fouling coatings, non-biocidal coatings, perfluoropolyether liquids, epoxy resins.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Anisimov A.V., Mikhailova M.A., Uvarova E.A. Antifouling LSE coating based on epoxy film-forming and silicon-fluoroorganic modifiers. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; special issue 1: 114–120 (in Russian).

UDC 629.5.081.26

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-114-120

## Введение

### Introduction

В судостроительной и судоремонтной отрасли большие средства тратятся на борьбу с обрастанием подводной части корпуса судна. Даже не-

значительное обрастание увеличивает шероховатость поверхности, что приводит к возрастанию веса судна и сопротивления движению, ухудшению управляемости, снижению скорости хода и, как следствие, увеличению расхода топлива [1–2] (75–80 % текущих эксплуатационных затрат вла-

дельца обычного контейнерного судна приходится на топливо).

По данным Международной морской организации, ежегодно мировым флотом сжигается 300 млн т топлива, при этом в воздух выбрасывается 960 млн т CO<sub>2</sub> и 9 млн т SO<sub>2</sub>. Если не внедрять новые технологии, снижающие расход топлива, то с учетом постоянно увеличивающихся объемов перевозок количество выбросов в атмосферу к 2020 г. может увеличиться на 38–72 %. Одним из путей снижения расхода топлива является борьба с обрастанием.

Для защиты от обрастания различных объектов, эксплуатируемых в морской среде, используют разнообразные физические, химические или тепловые методы. Но в большинстве случаев это частные решения, которые используются преимущественно во время стоянки или докования судов [3–4].

Несмотря на большое разнообразие методов защиты от обрастания, наиболее используемым является применение биоцидных и безбиоцидных лакокрасочных материалов [5–6]. К недостаткам покрытий, содержащих биоциды, можно отнести: небольшой срок службы, необходимость нанесения множества слоев, необходимость увлажнения при хранении на воздухе для предотвращения растрескивания покрытия, наличие биоцидов, наносящих вред морским организмам.

Создание безбиоцидных покрытий стало радикальным решением задачи по поддержанию чистоты мирового океана, подводных поверхностей судов и морских сооружений [7–9]. Такие покрытия не попадают под действие федеральных законов по инсектицидам, фунгицидам и рентицидам, а также в полной мере соответствуют требованиям Международной конвенции о контроле за вредными противобрастающими системами на судах от 2002 г. [10].

В настоящее время заказчики ставят задачу создания необрастающего покрытия со сроком службы от 5 до 10 лет [11]. К сожалению, отечественная технология защиты от обрастания подводной части корпуса безнадежно устарела. Так, срок службы выпускающихся в настоящее время противобрастающих покрытий контактного типа (ХС-5226, ХВ-5268, ХВ-5286С, КЧ-5224) не превышает 1,5 лет, а в случае нанесения дополнительного слоя эмалей с растворимой матрицей (КФ-5225, КФ-5228) – 2 лет, после чего необходима постановка корабля в док для ремонта и обновления покрытия. В России необрастающее безбиоцидное покрытие на данный момент отсутствует. Поэтому целью настоящей работы стало создание отечественных безбиоцидных лакокрасочных покрытий с низкой поверхностной энергией. Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи.

1. Выбор и модификация пленкообразующего с целью создания лакового покрытия с высоким краевым углом смачивания.
2. Создание на основе модифицированного пленкообразующего эмали с заданными технологическими и физико-механическими свойствами.
3. Проведение испытаний для подтверждения сохранения поверхностных свойств в процессе эксплуатации
4. Подтверждение воспроизводимости технологии получения эмали в заводских условиях, выпуск опытно-промышленных партий пленкообразующего и необрастающей экологически чистой эмали с низкой поверхностной энергией.

## Материалы и методы решения

### Materials and solution methods

Передовые зарубежные фирмы с конца прошлого века ведут разработки по созданию самополирующихся покрытий с использованием гидролизующихся сополимеров, свободных от оловоорганических групп, а также механизма защиты от обрастания с помощью безбиоцидных покрытий. Важно отметить, что противобрастающие свойства безбиоцидных покрытий определяются физико-химическими характеристиками полимеров и свойствами структуры приповерхностного слоя толщиной в несколько нанометров.

Исследования показали [12], что обрастания не происходит, если краевой угол смачивания покрытия составляет более 98°, и покрытие обладает низкой поверхностной энергией ( $< 25$  мДж/м<sup>2</sup>). За счет малой поверхностной энергии и высокого краевого угла смачивания такие покрытия обладают скользкой поверхностью с низким коэффициентом трения. Вблизи таких поверхностей облегчено скольжение жидкого потока, что не дает обрастателям прочно прикрепиться к поверхности судна, и они легко удаляются потоком воды.

Создание таких покрытий возможно за счет использования пленкообразующих с низкой поверхностной энергией. Пленкообразующие, обладающие наименьшими из всех полимеров значениями удельной свободной поверхностной энергии, изготавливаются на основе кремнийфторорганических полимеров. Однако покрытия на их основе обладают плохой адгезией к защищаемым поверхностям, приводящей к их отслаиванию, особенно при ударных и изгибающих нагрузках.

Другим, наиболее перспективным, способом получения гидрофобных покрытий является модификация пленкообразователя кремнийфторорганическими добавками (28–46 и 24–42 эрг/см<sup>2</sup> соответственно), ко-



тору условно можно отнести к объемной гидрофобизации, поскольку гидрофобизатор вводят непосредственно в лакокрасочные материалы [13].

Принцип действия объемной гидрофобизации основан на том, что при введении гидрофобизаторов в состав гидрофобизируемого материала их полярные группы взаимодействуют, а неполярные группы разворачиваются и образуют неполярную оболочку, обладающую малой свободной поверхностной энергией. Количество вводимого гидрофобизатора зависит от природы и количества функциональных групп гидрофобизируемого материала, а также от длины полимерной цепи гидрофобизатора, плотности упаковки и длины неполярных групп, метода и температуры нанесения. Оптимальное количество гидрофобизатора определяется экспериментально.

При выборе пленкообразующих для гидрофобных покрытий необходимо также учитывать требования по коррозионной защите поверхностей, атмосферостойкости, эластичности, прочности при ударе и т.д. Эпоксидные смолы являются наиболее распространенными пленкообразующими для создания покрытий с высокими барьерными и защитными свойствами [14].

Среди эпоксидных смол присутствуют смолы на основе бисфенола А и F, новолачные. В последние годы появился класс эпоксидных смол, модифицированных ароматически сопряженным гидроксифениленом. Практика показала, что покрытия на основе модифицированного этим продуктом эпоксидного олигомера обладают высокой адгезией, превосходными барьерными, физико-механическими и электроизоляционными свойствами, низким внутренним напряжением.

К числу трудностей, которые встречаются при производстве данного типа покрытий, относится не только придание покрытию высоких показателей значения краевого угла, но и способность поверхности покрытия изменяться со временем. Это выражается в том, что поверхностное натяжение на только что смоченной водой поверхности может существенно отличаться от поверхностного натяжения на поверхности,

которая в течение нескольких дней была погружена в воду.

Как показывает практика, при воздействии на модифицированное покрытие 3 % водным раствором NaCl в течение 240 ч. покрытие теряет приобретенное низкое значение поверхностной энергии, и краевого угла смачивания возвращается к своему первоначальному значению до модификации. Такое изменение свойств поверхности выражается в снижении межфазового натяжения, что позволяет гидрофобизатору вымываться или мигрировать вглубь покрытия, что, в свою очередь, позволяет микроорганизмам легче прикрепляться к поверхности покрытия. Масштабы и скорость такого изменения зависят от состава покрытия, они ниже у твердых покрытий с высокой степенью сшивки.

В данной работе были рассмотрены три варианта эпоксидного пленкообразующего, созданного на основе ароматически сопряженных гидроксифениленов, синтезированных из двухатомных фенолов – алкилрезорцина, гидрохинона и пирокатехина.

Двухатомные фенолы, имея одинаковую молекулярную формулу, отличаются температурами плавления, что свидетельствует о разной химической структуре. Основным различием олигомеров, полученных из различных изомеров двухатомного фенола, является длина ароматически сопряженной связи, что, в свою очередь, влияет на такие свойства олигомера, как вязкость, эластичность, прочность, температура начала размягчения, реакционная способность. Известно, что ароматическое сопряжение обладает особо прочной химической связью [15]. Самую короткую и прочную ароматически сопряженную связь имеет олигомер, полученный с использованием гидрохинона, а самую гибкую связь – олигомер, полученный с использованием алкилрезорцина. Наиболее плотную упаковку имеет пленкообразующее на гидрохиноне.

Изначальный краевой угол смачивания пленок: на гидрохиноне – 700, на пирокатехине – 620, на алкилрезорцине – 560, но этот показатель меняется в

**Таблица 1.** Краевой угол смачивания модифицированных пленкообразующих

**Table 1.** Contact angle of wetting of film-forming modifiers

Пленкообразующее на основе ароматически сопряженного олигомера	Краевой угол смачивания							
	ПФП 2200	ПФП 2800	ПФП 3400	ПФП 4000	ПФП 2200С	ПФП 2800С	ПФП 3400С	ПФП 4000С
Алкилрезорцин	98–100	100–102	100–102		102–103			
Пирокатехин	100–102	103–105	104–106		108–109			
Гидрохинон	103–105	106–108	108–110		110–116			

зависимости от выбранного эпоксицированного олигомера, гидрофобизирующих добавок и отвердителя.

В качестве добавки для придания покрытию гидрофобных свойств использовали перфторполиэфирные жидкости с молекулярной массой 2200, 2800, 3400 и 4000 (ПФП 2200, ПФП 2800, ПФП 3400, ПФП 4000), а также перфторполиэфирные жидкости с триэтоксисилановыми группами (ПФП 2200С, ПФП 2800С, ПФП 3400С, ПФП 4000С). В качестве отвердителя использовали отвердитель АГМ-9 (гамма-аминопропилтриэтоксисилан).

## Результаты исследований и их обсуждение

### Study results and discussion

В табл. 1 представлены результаты полученных краевых углов смачивания модифицированных пленкообразующих.

В результате анализа полученных данных установлено, что при использовании перфторполиэфирных жидкостей без триэтоксисилановых групп краевой угол смачивания незначительно возрастает с увеличением молекулярной массы гидрофобизирующей добавки с 2200 до 3400, последующее увеличение молекулярной массы не влияет на значение краевого угла смачивания. Более высокие показатели получены при использовании перфторполиэфирных жидкостей с триэтоксисилановыми группами, при этом молекулярная масса не влияет на краевой угол смачивания.

В значительной степени на значении краевого угла смачивания сказывается выбор олигомера – чем прочнее и короче длина ароматически сопряженной связи, тем значение краевого угла выше. Это можно объяснить тем, что в олигомере с наиболее прочной ароматической связью при полимеризации гидрофобизатор более прочно закрепляется в покрытии.

Наиболее высокий краевой угол смачивания был получен путем введения перфторполиэфирной жидкости с триэтоксисилановыми группами в пленкообразующее на гидрохиноне, сформированное с использованием отвердителя АГМ-9.

Краевой угол смачивания разработанного покрытия на гидрохиноне составляет 116° (рис. 1).

Кроме того, противообрастающие эмали должны обладать высокими физико-механическими свойствами и удовлетворять следующим требованиям:

- адгезия к подложке не более балла 2;
- прочность пленки при ударе не менее 40 см;
- прочность пленки при изгибе не более 3 мм;
- износостойкость покрытия после 1000 циклов на приборе Taber Abraser (груз 1000 г, диски CS-17) не более 120 мг;

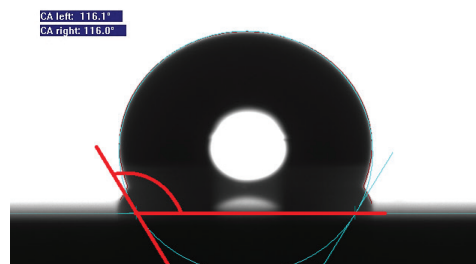


Рис. 1. Угол смачивания разработанного гидрофобного покрытия

Fig. 1. Contact angle of wetting of hydrophobic coating

- содержание нелетучих веществ не менее 65 %;
- покрытие должно обеспечивать защиту от обрастания не менее 5 лет;
- допускать нанесение любым способом в температурном интервале от 5 до 35 °С.

Сложность при создании эмали заключается в правильном выборе соотношения пигментов и наполнителей для получения заданных свойств, при этом пигменты и наполнители не должны мешать миграции модификаторов в приповерхностные слои покрытия. При производстве эмали используется только отечественное сырье.

При составлении рецептур пигментированных материалов главным условием является установление оптимального соотношения количества пленкообразователя и твердых компонентов. При этом необходимо установить качественное и количественное соответствие между функциональными группами пленкообразующих веществ и активными центрами поверхности пигментов и наполнителей.

Как было сказано выше, введение пигментов и наполнителей позволяет регулировать в широких пределах барьерные, физико-механические, защитные и поверхностные свойства эмалей. Для исследования влияния плотности упаковки олигомера на физико-механические свойства покрытия были изготовлены эмали на основе пленкообразующих, модифицированных перфторполиэфирной жидкостью с триэтоксисилановыми группами (ПФП 2200 С).

Установлено (табл. 2) что выбор олигомера не влияет на прочность при ударе, эластичность при изгибе, время высыхания и адгезию, но с увеличением плотности упаковки олигомера уменьшается водопоглощение лаковой пленки и шероховатость покрытия, а также значительно улучшается устойчивость к истиранию.

Для определения защитных свойств эмали и оценки стабильности гидрофобных свойств были

**Таблица 2.** Основные показатели разработанных эмалей

**Table 2.** Main parameters of developed enamels

Наименование показателей	Значения показателей, полученные при испытаниях эмалей с различной основой		
	Алкилрезорцин	Пирокатехин	Гидрохинон
1. Прочность при ударе, см	50	50	50
2. Эластичность пленки при изгибе, мм	3	3	3
3. Время высыхания до степени 3 при температуре $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , ч.	14	14	14
4. Адгезия, баллы	1	1	1
5. Водопоглощение пленки, %	0,1	0,008	0,005
7. Шероховатость покрытия, мкм	36–30	35–28	33–28
8. Устойчивость к истиранию, удельный износ по массе, $\text{г}/\text{м}^2$	28,0	19,0	12,0
9. Краевой угол смачивания, градусы	102–103	108–109	110–116

проведены испытания на стойкость к воздействию эксплуатационных факторов – морской воды и соляного тумана.

Стабильность гидрофобных свойств эмали оценивалась при проведении испытаний на стойкость к воздействию искусственной морской воды. Образцы были помещены в 5 % водный раствор NaCl при

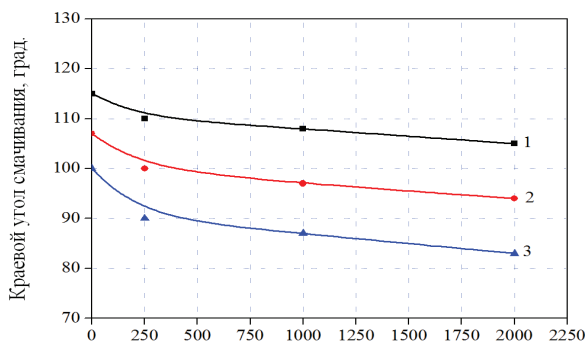
температуре  $(40 \pm 1)^{\circ}\text{C}$  и аэрации. Продолжительность испытаний составила 2000 ч., что соответствует 5 годам эксплуатации в морской воде в соответствии с ИСО12944-6.

Падение краевого угла смачивания (рис. 2) при использовании отвердителя АГМ-9 практически не происходит – оно составляет 9–13 %. Краевой угол смачивания покрытия на гидрохиноне после испытаний составляет 105 и, следовательно, сохраняет свои гидрофобные свойства.

Наилучший результат получен для пленкообразующего, созданного на гидрохиноне. Это можно объяснить тем, что данный олигомер обладает наиболее прочной ароматической связью, более плотной упаковкой и при полимеризации гидрофобизатор более прочно закрепляется в полученном покрытии, что мешает его вымыванию или миграции вглубь покрытия. Соответственно, самое сильное снижение краевого угла смачивания (рис. 2) наблюдается у пленкообразующего на алкилрезорцине.

На изобретение безбицидной необрастающей эмали получен патент № 2602553 «Необрастающая эмаль ПРОГИДРОФ» с приоритетом от 29 апреля 2015 г.

С целью отработки технологии в условиях промышленного производства на ОАО «Соликамский завод «Урал» была выпущена опытно-промышленная партия пленкообразующего на основе олигомера гидрохинона и необрастающая экологически чистая эмаль с низкой поверхностной энергией.



**Рис. 2.** Изменение краевого угла смачивания эмалевого покрытия во времени при испытаниях в искусственной морской воде: 1 – эмаль на основе гидрохинона с использованием отвердителя АГМ-9; 2 – эмаль на основе пирокатехина с использованием отвердителя АГМ-9; 3 – эмаль на основе алкилрезорцина с использованием отвердителя АГМ-9

**Fig. 2.** Time history of the enamel wetting angle variations in artificial seawater: 1 – hydroquinone-based enamel with AGM-9 hardener; 2 – pyrocatechin-based enamel with AGM-9 hardener; 3 – alkyl resorcinol-based enamel with AGM-9 hardener



**Таблица 3.** Защитные свойства разработанных эмалей

**Table 3.** Protective properties of developed enamels

Наименование показателей	Результаты, полученные при испытаниях эмалей с различной основой			Метод испытаний
	Алкилрезорцин	Пирокатехин	Гидрохинон	
1. Стойкость покрытия в морской воде: - до испытаний;	Ровная гладкая поверхность без механических включений Адгезия – 0 баллов	Ровная гладкая поверхность без механических включений Адгезия – 0 баллов	Ровная гладкая поверхность без механических включений Адгезия – 0 баллов	ИСО 2812-2:2007
- после 2000 ч. испытаний	Трещины – 0 Отслаивание – 0 Пузыри – 0 Степень коррозии – $Ri0$ Адгезия – 1 балл	Трещины – 0 Отслаивание – 0 Пузыри – 0 Степень коррозии – $Ri0$ Адгезия – 1 балл	Трещины – 0 Отслаивание – 0 Пузыри – 0 Степень коррозии – $Ri0$ Адгезия – 1 балл	
2. Стойкость покрытия к воздействию соляного тумана: - до испытаний;	Ровная гладкая поверхность без механических включений	Ровная гладкая поверхность без механических включений	Ровная гладкая поверхность без механических включений	ИСО 9227:2006
- после 720 ч испытаний	Трещины – 0 Отслаивание – 0 Пузыри – 0 Степень коррозии – $Ri0$ Распространение коррозии от надреза – 2 мм	Трещины – 0 Отслаивание – 0 Пузыри – 0 Степень коррозии – $Ri0$ Распространение коррозии от надреза – 2 мм	Трещины – 0 Отслаивание – 0 Пузыри – 0 Степень коррозии – $Ri0$ Распространение коррозии от надреза – 2 мм	

Разработанная технология получения эмали воспроизводима в заводских условиях. Технологические, физико-механические и защитные свойства выпущенной эмали соответствуют предъявленным требованиям.

## Выводы

### Conclusion

1. Установлено, что модифицируя фтор- и кремнийорганическими соединениями эпоксидные пленкообразователи, синтезированные с использованием ароматически сопряженных олигомеров, возможно создать гидрофобные покрытия со значением краевого угла смачивания не менее 1160, стойкие к воздействию эксплуатационных факторов со сроком службы не менее 5 лет.
2. Прочная ароматическая связь и плотная упаковка

ка пленкообразующего позволяют обеспечить стойкость к воздействию искусственной морской воды и сохранить значение краевого угла смачивания 1050 не менее 5 лет.

3. Разработанная технология изготовления не-обрастающей экологически чистой эмали с низкой поверхностной энергией отработана в условиях промышленного производства.

## Библиографический список

### References

1. Дринберг С.А., Калинин Т.В., Уденко И.А. Технология судовых покрытий. М.: «Издательство «ЛКМ-пресс», 2016. [Drinberg S.A., Kalinskaya T.V., Udenko I.A. Ship coating technology. M.: Izdatelstvo "LKM-press", 2016. (In Russian)].
2. Карпов В.А. Ковальчук Ю.Л., Полтаруха О.П., Ильин И.Н. Комплексный подход к защите от

- морского обрастания и коррозии. М.: Scientific Publications Society, 2007. [Karpov V.A., Kovalchuk Yu.L., Polutarukha O.P., Ilin I.N. Integrated approach to antifouling and anticorrosion measures. (In Russian)].
3. Christian M., Moeller P.D.R., Ballard T.E., Richards J.J., Huigens III R.W., Cavanagh J. Evaluation of dihydrouridine as an antifouling additive in marine paint // *Biodeterior Biodegradation*. 2009; 4(63): 529–32.
  4. Раилкин А.И. Процессы колонизации и защита от обрастания. СПб: Изд-во Санкт Петербургского университета, 1998. [Railkin A.I. Growth of aquatic organisms and antifouling. SPb.: Izd-vo St. Petersburg University, 1998. (In Russian)]
  5. Paintwork materials for painting ships and offshore structures // *Coatings World* 2010; May: 39–42.
  6. Новые лакокрасочные материалы для судостроения // *Лакокрасочная промышленность*. 2010. № 7. С. 20–23. [New paintwork materials for shipbuilding // *Lakokrasochnaya promyshlennost*. 2010; 7: 20–3. (In Russian)].
  7. Миронова Г.А., Ильдарханова Ф.И., Контева В.В., Богословский К.Г. Пути совершенствования противокоррозионно-противообрастающих покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2010. № 1–2. С. 84–86. [Mironova G.A., Ildarkhanova F.I., Kopteva V.V., Bogoslovskiy K.G. Ways for improving anticorrosion-antifouling coatings // *Paintwork materials and applications*. 2010; 1–2: 84–6. (In Russian)].
  8. Миронова Г.А., Ильдарханова Ф.И., Контева В.В., Богословский К.Г. Повышение гидрофобности противокоррозионно-противообрастающих лакокрасочных покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2010. № 7. С. 26–29. [Mironova G.A., Ildarkhanova F.I., Kopteva V.V., Bogoslovskiy K.G. Increasing hydrophobicity of anticorrosion-antifouling coatings // *Paintwork materials and applications*. 2010; 7: 26–9. (In Russian)].
  9. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение // *Успехи химии*. 2008. № 7(77). С. 619–638. [Boinovich L.B. Emelyanenko A.M. Hydrophobic materials and coatings: development principles, properties and applications // *Uspekhi khimii*. 2008; 7(77): 619–38. (In Russian)].
  10. Яковлев Д.А., Яковлев С.А. Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб.: Химиздат, 2016. [Yakovlev D.A., Yakovlev S.A. Paint systems for functional application. SPb.: Khimizdat, 2016. (In Russian)].
  11. Ильдарханова Ф.И., Миронова Г.А., Контева В.В., Богословский К.Г. Методология испытаний протвокоррозионно-противообрастающих покрытий с продолжительным сроком службы // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2010. № 3. С. 40–43. [Ildarkhanova F.I., Mironova G.A., Kopteva V.V., Bogoslovskiy K.G. Methods for testing anticorrosion-antifouling coatings designed for long service life // *Paintwork materials and applications*. 2010; 3: 40–43. (In Russian)].
  12. XainMing W., HuaJin W., DengLaing L. Non-toxic low surface energy // *Paint Coat Ind* (in Chinese). 2004; 1(34): 40–3.
  13. Квасников М.Ю., Крылова И.А., Пацино А.В. эпоксидные композиции, модифицированные перфторуглеродами // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2005. № 6. С. 12–16. [Kvasnikov M.Yu., Krylova I.A., Patsino A.V. Epoxide compositions modified by perfluorocarbon // *Paintwork materials and applications*. 2005; 6: 12–6. (In Russian)].
  14. Миронова Г.А., Ильдарханова Ф.И., Контева В.В., Богословский К.Г. Силикон-эпоксидные смолы – новые пленкообразователи в ЛКМ // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2009. № 12. С. 23–25. [Mironova G.A., Ildarkhanova F.I., Kopteva V.V., Bogoslovskiy K.G. Silicon-epoxy resins – new film-forming agents in paints // *Paintwork materials and applications*. 2009; 12: 23–5. (In Russian)].
  15. Чичибанин А.Е. Основные начала органической химии. М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1958. *Chichibabin A.E. Fundamentals of organic chemistry*. М.: State scientific & technical publishing house of chemistry literature. 1958. (In Russian)].
  16. Анисимов А.В., Михайлова М.А., Степанова И.П., Уварова Е.А. Необрастающая эмаль «Прогидроф». Патент 2602553 РФ, МПК51, C09D 163/00, C09D 5/16/. [Anisimov A.V., Mikhailova M.A., Stepanova I.P., Uvarova E.A. Antifouling enamel “Progidrof”. RF Patent, МПК51, C09D 163/00, C09D 5/16/. (In Russian)].

#### Сведения об авторах

Анисимов Андрей Валентинович, д.т.н., заместитель начальника НПК-11 НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей». Адрес: 191015, Россия, Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, д. 49. Тел.: 8 (812) 274-11-04; E-mail anisimov\_spb@mail.ru.

Михайлова Мария Андреевна, к.т.н., начальник 131 лаборатории НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей». Адрес: 191015, Россия, Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, д. 49. Тел.: 8 (812) 274-14-25.

Уварова Екатерина Андреевна, инженер 1 категории НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей». Адрес: 191015, Россия, Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, д. 49. Тел.: 8 (812) 274-17-29; E-mail anikichevakaterina@gmail.com.

#### About the authors

Anisimov A., D. Sc., Deputy Head of NPK-11, NRC Kurchatov Institute – CRISM Prometey, address: 49, Shpalernaya st., St. Petersburg Russia, 191015. Tel.: 8 (812) 274-11-04; E-mail: anisimov\_spb@mail.ru.

Mikhailova M., Cand. of Tech. Sc., Head of Laboratory, NRC Kurchatov Institute – CRISM Prometey, address: 49, Shpalernaya st., St. Petersburg Russia, 191015, tel.: 8 (812) 274-14-25.

Uvarova Ye., 1st Category engineer, NRC Kurchatov Institute – CRISM Prometey, address: 49, Shpalernaya st., St. Petersburg Russia, 191015. Tel.: 8 (812) 274-17-29; E-mail: anikichevakaterina@gmail.com.

Поступила / Received: 25.02.18

Принята в печать / Accepted: 18.04.18

© Коллектив авторов, 2018