

КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Е. А. ЯЦЕНКО, В. А. СМОЛИЙ, Л. В. КЛИМОВА, Д. А. ГОЛОВКО*

Увеличение добычи нефти в Дальневосточном и Северном регионах Российской Федерации обусловило возникновение проблемы транспортирования углеводородного сырья на дальние расстояния. Это связано с увеличением вязкости нефти при пониженных температурах, в результате чего она загустевает и скорость потока внутри нефтепровода значительно снижается. Поэтому по всей его длине необходимо обеспечить теплоизоляцию для уменьшения теплопотерь. Для продления срока службы нефтепроводов и защиты внутренней поверхности от разрушающей коррозии наиболее эффективным является применение защитного стеклоэмалевого покрытия. Поэтому разработка комплексной задачи для исследователей и нефтехимической отрасли промышленности. В ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова в рамках реализации проекта РНФ разработаны технологии синтеза защитных эмалевых покрытий для внутренней поверхности нефтепровода и пеностекла для его теплоизоляции. В статье рассмотрены различные корректирующие добавки, позволяющие повысить эксплуатационные характеристики материалов для комплексной защиты трубопроводов. В результате исследований влияния корректирующих добавок на температурно-временной режим синтеза и свойства защитных силикатно-эмалевых покрытий для внутренней поверхности стальных нефтепроводов и пеностекла, используемого в качестве теплоизоляционного материала, защищающего нефтемагистрالی от негативного воздействия окружающей среды в жестких климатических условиях, разработаны модифицированные составы, позволяющие получать качественные эмалевые покрытия и пеностекляную защиту.

Ключевые слова: нефтепроводы, климатические условия, защитное эмалевое покрытие, пеностекло, корректирующие добавки, плавни, блеск, химическая стойкость, плотность.

Введение

Нефтяная промышленность сегодня является ключевой составляющей не только российской экономики, но и мирового хозяйства в целом. Ежегодно добываются миллионы тонн углеводородов. С 2015 г. добычу в основном ведут на территории восточной части России, на севере Западной Сибири и европейской части России [1, 2]. Транспортируют добываемую нефть по магистральным стальным нефтепроводам, при этом, поскольку большую часть времени в течение года температура окружающей среды на данных территориях ниже нуля, этот процесс затруднен из-за повышения вязкости нефти при пониженных температурах [3–6]. Чтобы справиться с данной проблемой, через определенные отрезки нефтепровода устанавливаются специальные пункты подогрева, а саму магистраль утепляют. Чаще всего в качестве утеплителя используют пенополиуретан, который подвержен разрушению из-за атмосферных

воздействий, поэтому его заключают в металлический кожух. Данная конструкция получается тяжелой и довольно дорогостоящей. Кроме того, с течением времени защитный стальной кожух также подвергается коррозии, что увеличивает риск повреждения трубопровода и нанесения экологического ущерба окружающей среде в случае его прорыва [7–9]. Еще одной проблемой при транспортировании нефти по стальным трубопроводам является их внутренняя коррозия ввиду агрессивности транспортируемого продукта [10–12]. Таким образом, необходима разработка комплексной технологии защиты стальных нефтепроводов, эксплуатируемых в неблагоприятных климатических условиях.

Комплексная защита стальных нефтепроводов должна обеспечить не только их коррозионную стойкость, но и теплоизоляцию. С проблемой внутренней защиты трубопроводов лучше всего справляются силикатные защитные покрытия, помимо этого, нанесение эмали на внутреннюю поверхность стальных труб позволит повысить пропускную способность нефтемагистралей из-за снижения их гидравлического сопротивления [13–17]. Современным долговечным, экологичным, прочным и легким теплоизоляционным материалом является пеностекло, поэтому его использование в качестве теплоизоляционно-защитного покрытия нефтепроводов в неблагоприятных климатических условиях логично и оправданно [18–21], особенно с учетом

*ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова», кафедра «Общая химия и технология силикатов», Новочеркасск, Россия; докт. техн. наук Е. А. Яценко, зав. кафедрой, профессор; канд. техн. наук В. А. Смолий, доцент; канд. техн. наук Л. В. Климова, доцент; Д. А. Головки, студент;

эл. почта: e_yatsenko@mail.ru; vikk-toria@yandex.ru; lyudmila.clim@yandex.ru; dima.golovko.9898@mail.ru

© Яценко Е. А., Смолий В. А., Климова Л. В., Головки Д. А., 2020

возможности его производства на основе местного сырья [22–24]. В Южно-Российском государственном политехническом университете (НПИ) имени М. И. Платова на кафедре общей химии и технологии силикатов разработаны технология антикоррозионных силикатно-эмалевых покрытий для стальных трубопроводов и технология синтеза теплоизоляционного пеностекла на основе сырьевых материалов Дальнего Востока [25–27]. Однако в целях усовершенствования составов и технологии разработанных материалов, а также повышения их технико-эксплуатационных свойств проведены исследования влияния корректирующих добавок на свойства эмалевых покрытий и пеностекла.

Методика проведения исследований

Эмалевое покрытие. Прочность сцепления эмалевого покрытия со сталью напрямую зависит от количества образовавшегося в результате окисления железа вюстита. Он образуется только в интервале температур 575–730 °С, при этом необходимо, чтобы кислород воздуха проникал к поверхности стали как можно дольше, поэтому нужно расширить интервал обжига синтезированной эмали в более высокотемпературную область – до 900 °С. Добавками, повышающими тугоплавкость расплава, его вязкость и поверхностное натяжение, а также водо- и кислотостойкость покрытия, являются кремнесодержащие вещества. Имеющееся на территории Дальнего Востока кремнесодержащее сырье, пригодное для синтеза эмалевых покрытий, представлено в **табл. 1**.

В разработанную ранее эмаль состава, % (мас.): 56,2 SiO₂; 11,2 B₂O₃; 4,1 Al₂O₃; 11,2 Na₂O; 3 K₂O; 5,1 TiO₂; 2,6 MnO; 1 CoO; 0,5 CuO; 5,1 CaF₂ в качестве добавок на помол вводят кварц в аморфном и кристаллическом состоянии с зернами размером 20–70 мкм в количестве 5, 10, 15 и 20 % (мас.) сверх 100 % (мас.) (**табл. 2**).

Исследование микроструктуры и элементного состава образцов эмалевого покрытия проводили с применением растрового электронного микроскопа VEGA II LMU (компании Tescan), оснащенной системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT (детектор Silicon Drift (ADD)). Рентгенофазовый анализ покрытий осуществляли с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA Thermo Fisher Scientific.

Пеностекло. От температурно-временного режима синтеза пеностекла зависят не только свойства синтезируемого материала, но и его себестоимость,

Материал	Содержание компонентов, % (мас.)								Потери при прокаливании
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	
Диатомит Черноярского месторождения	76,19	6,76	–	–	3,54	1,04	0,92	–	11,55
Опока Бодчиского месторождения	71,20	12,67	0,74	1,56	6,03	1,35	0,42	–	5,14
Кварцевый песок Чалганского месторождения	99,65	–	–	–	0,02	–	–	0,03	0,30
Маршалит месторождения «Гора Хрустальная»	98,40	0,9	–	–	0,28	0,08	0,2	–	0,14

Номер состава	Содержание добавок на помол, % (мас.)			
	Песок	Диатомит	Маршалит	Опока
0	–	–	–	–
1	5	–	–	–
2	10	–	–	–
3	15	–	–	–
4	20	–	–	–
5	–	5	–	–
6	–	10	–	–
7	–	15	–	–
8	–	20	–	–
9	–	–	5	–
10	–	–	10	–
11	–	–	15	–
12	–	–	20	–
13	–	–	–	5
14	–	–	–	10
15	–	–	–	15
16	–	–	–	20

поэтому при разработке технологии качественного теплоизоляционного материала необходимо стремиться к снижению температуры обжига. Опираясь на опыт и результаты прошлых исследований [26–29], в целях интенсификации процесса вспенивания в качестве корректирующих добавок в шихту выбраны материалы, снижающие температуру обжига и вязкость массы, – бура и фторид натрия. Добавки вводят в исходную шихту (диатомит : гидроксид натрия 80:20) в количестве 5 и 10 % (мас.) сверх 100 % (мас.).

Экспериментальные исследования

Эмалевое покрытие. Эмалированные образцы подвергают визуальному осмотру на предмет наличия дефектов покрытия, оценивают показатели блеска, химической стойкости экспресс-методом.

Минимальное количество дефектов в виде лопнувших и незаплавленных газовых пузырей

наблюдается у образцов с покрытием, содержащим в своем составе не более 10 % (мас.) корректирующих добавок: 5 и 10 % диатомита и 10 % маршалита и песка. Это объясняется оптимальными значениями вязкости и поверхностного натяжения стекловидного расплава в течение всего периода обжига. При увеличении количества корректирующих добавок свыше 10 % показатели блеска ухудшаются по сравнению с модельным составом исходной эмали (№ 0). Причиной является их неполное растворение и неравномерное распределение в объеме стеклоэмали, что отрицательно сказывается на коэффициенте зеркального отражения всего покрытия. Химическая стойкость эмалевого покрытия имеет такую же зависимость — с увеличением количества добавок свыше 10 % показатели качества синтезированных эмалей снижаются, и данные покрытия не смогут обеспечить надежную защиту металла. Таким образом, для дальнейших исследований выбраны образцы с добавкой песка 10 % (мас.) (состав 2), 5 % (мас.) диатомита (состав 5) и 10 % (мас.) маршалита (состав 10), обладающие оптимальным сочетанием химической стойкости, высоким качеством покрытия без поверхностных дефектов, показателем блеска и расширенным температурным интервалом обжига. Данные добавки позволяют расширить интервал обжига с 800–850 до 800–900 °С (состав 2), 800–890 °С (состав 5) и 750–900 °С (состав 10).

Исследование микроструктуры и элементного состава образцов № 5 с добавкой диатомита и № 10 с добавкой маршалита путем микроскопического анализа поперечного аншлифа покрытий позволило установить, что в толще эмали (250–300 мкм) имеются неравномерно распределенные газовые включения размером от 5 до 40 мкм, (рис. 1), они не контактируют с внешней поверхностью стеклоэмалевого покрытия и поэтому не снижают его качество. В структуре эмали № 10 наблюдается значительно большее количество включений, причем более половины включений имеют неправильную форму (см. рис. 1, б).

В результате энергодисперсионного анализа структурных неоднородностей в поперечном срезе эмалевого покрытия № 10 (рис. 2, табл. 3) установлено, что область 1 является основной стеклоэмалевой массой, включения 2 представляют собой нерасстворившиеся зерна маршалита — SiO_2 кристаллический, поэтому данный вид включений отсутствует в эмали состава № 5, где SiO_2 представлен аморфной фазой. Включения 3 представлены газовой фазой, о чем свидетельствует значительное количество CO_2 . Газовые включения всегда содержатся в эмалевом слое, и если они равномерно распределены по объему покрытия, то улучшают его эластичность. Зона 4 представлена значительным количеством Fe_2O_3 и SiO_2 и является переходным слоем

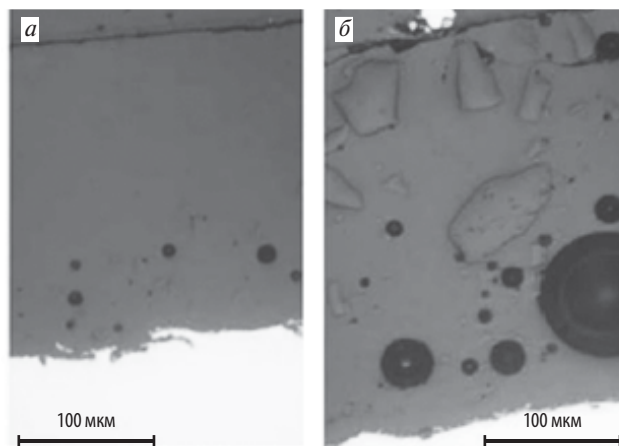


Рис. 1. Внешний вид поперечного среза эмали составов № 5 (а) и № 10 (б)

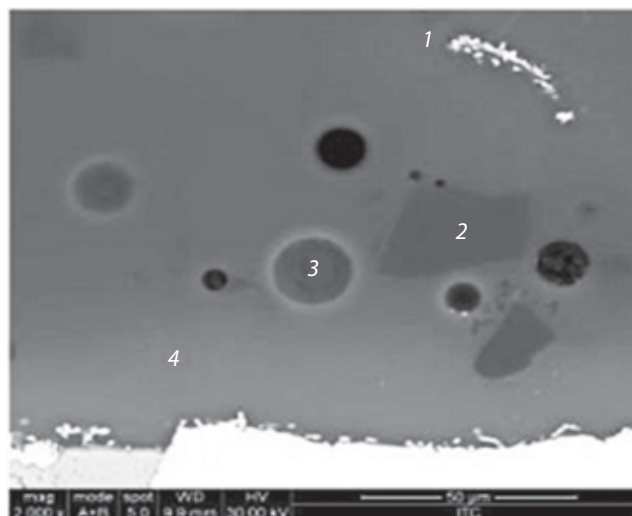


Рис. 2. Структурный состав покрытия № 10 по результатам энергодисперсионного анализа

в системе сталь — эмаль, обеспечивающим их прочное сцепление. Наличие данных неоднородностей в объеме эмали не снижает качественных характеристик самого покрытия.

Рентгенофазовый анализ покрытий состава № 5 (рис. 3, а) и состава № 10 (см. рис. 3, б) показал, что структура эмали с добавкой диатомита представлена полностью аморфной фазой без каких-либо кристаллических соединений. Эмалевое покрытие состава № 10 в основной массе характеризуется аморфным строением, но имеет кристаллическую фазу в виде α -кварца с межплоскостным расстоянием 3,34; 1,813; 1,539 Å, что обусловлено присутствием кристаллического кварца в основной массе маршалита — добавки на помол, который при термообработке лишь частично переходит в аморфное состояние.

Однако оба состава, несмотря на различия фазового состава, характеризуются свойствами,

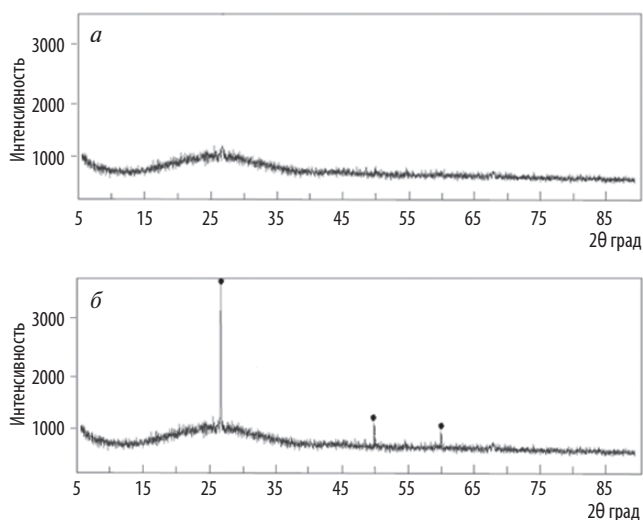


Рис. 3. Рентгенограмма эмаливого покрытия:
а — состав № 5; б — состав № 10

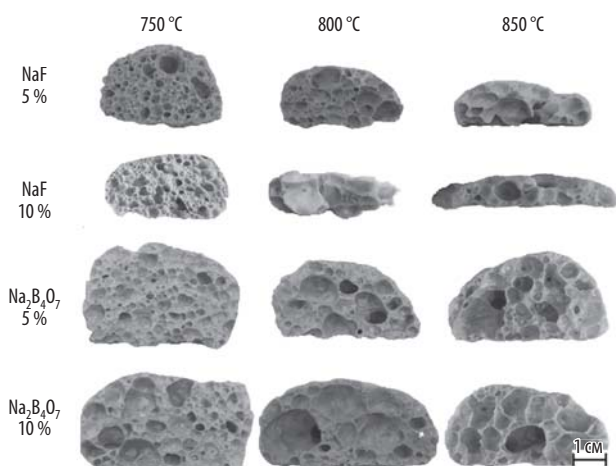


Рис. 4. Внутренняя структура синтезированных образцов

лежащими в требуемом диапазоне: химической стойкостью классов А и АА, отсутствием сквозных дефектов виде пузырей и прогаров, показателем блеска 73 %, расширенным интервалом обжига 800–900 и 750–870 °С соответственно.

Пеностекло. Для изучения влияния вида и количества плавней на процесс вспенивания в исходную шихту диатомит : NaOH = 80:20 [26–28] добавляли буру и фторид натрия в количестве 5 и 10 % (мас.) соответственно сверх 100 % (мас.). Обжиг и вспенивание осуществляли в интервале температур вспенивания 750–850 °С. Внутренняя структура материалов представлена на рис. 4, а их плотность — в табл. 4.

Сравнивая показатели плотности можно утверждать, что применение обоих видов плавней в количестве 5 и 10 % (мас.) позволяет снизить температуру вспенивания более чем на 100 °С. Применение NaF обеспечивает получение пористого материала плотностью 313 кг/м³ уже при 750 °С, повышение температуры до 800 °С способствует снижению плотности до

Таблица 3
Химический состав различных зон эмаливого покрытия состава № 10

Элемент	Химический состав области, % (мас.)			
	1	2	3	4
Si	24,87	38,99	24,87	24,24
O	48,98	49,36	44,99	42,53
C	–	11,65	18,76	–
Na	6,05	–	6,05	8,61
Al	1,30	–	1,30	0,98
Ca	3,52	–	3,52	3,01
K	1,60	–	1,60	0,62
Ti	4,41	–	4,41	1,90
Fe	9,26	–	9,26	17,99

Таблица 4
Плотность синтезированных образцов

Добавка, % (мас.)	Плотность, кг/м ³ , при температуре, °С		
	750	800	850
–	340	300	190
NaF, 5	313	296	301
NaF, 10	239	312	555
Na ₂ B ₄ O ₇ , 5	189	144	179
Na ₂ B ₄ O ₇ , 10	140	145	158

296 кг/м³ и значительному оплавлению образцов при дальнейшем увеличении температуры. Введение 10 % (мас.) NaF в состав шихты для синтеза пеностекла ведет к более интенсивному оплавлению образцов уже при 800 °С. Образцы, содержащие в своем составе 5 % (мас.) буры и обожженные при 750 °С, имеют плотность 190 кг/м³, которая уменьшается до 145 кг/м³ с повышением температуры до 800 °С. Дальнейшее повышение температуры ведет к снижению вязкости расплава настолько, что межпоровые перегородки деформируются и разрушаются под весом стекломассы, происходит слияние пор и увеличение плотности. Введение 10 % (мас.) буры позволяет уже при 750 °С получить материал плотностью 141 кг/м³, которая сохраняется до 800 °С и начинает возрастать при повышении температуры обжига. Однако из рис. 4 видно, что при равной плотности равномерность размера пор с повышением температуры уменьшается, что может негативно отражаться на эксплуатационных свойствах синтезируемых материалов. Таким образом, фторид натрия является активным плавнем, который сужает температурный диапазон вспенивания и усложняет технологию. Более перспективно применение буры: диапазон ее рабочих температур шире, кроме того, она снижает температуру вспенивания.

Заключение

В результате проведенных исследований разработаны модифицированные составы, позволяющие получать качественные эмаливые покрытия и пеностекляную защиту. Так, введение кварцсодержащих корректирующих добавок на помол шликерной

суспензии обеспечивает получение покрытий с химической стойкостью классов А и АА, отсутствием сквозных дефектов виде пузырей и прогаров, показателем блеска 73 %, расширенным интервалом обжига 800–900 и 750–870 °С соответственно. Добавка в шихту для синтеза пеностекла буры в качестве плавня позволяет снизить температуру вспенивания до 750 °С и получить материал с плотностью 141 кг/м³. Холдинговая компания «Пигмент» (Санкт-Петербург) производит различные краски и эмалевые покрытия для защиты от коррозии трубопроводов для нефтегазотранспортных систем [28], компания «СТЕС-ВЛАДИМИР» (г. Владимир) производит фасонные изделия из пеностекла, в том числе для утепления трубопроводов [29], что подтверждает актуальность и востребованность данных материалов, однако они не предназначены для суровых климатических условий и не производятся из сырья Дальнего Востока. При использовании разработанной комплексной защиты нефтепроводов, эксплуатируемых при низких температурах, можно получить значительный экономический эффект за счет сокращения точек подогрева нефтепроводов и снижения расхода топлива, уменьшения частоты и числа прорывов на линиях, а также увеличить скорость транспортирования за счет уменьшения зарастания труб. ■

Работа выполнена в ЮРГПУ (НПИ) при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках соглашения № 18-19-00455 «Разработка технологии комплексной защиты трубопроводов для нефти и газа, эксплуатируемых в условиях Дальнего Востока России» (руководитель — Е. А. Яценко).

Библиографический список

1. Россия нарастила добычу и экспорт нефти [Электронный ресурс] URL: <https://lenta.ru/news/2020/05/02/russianoil/> (дата обращения: 21.09.2020).
2. Эдер Л. В., Филимонова И. В., Проворная И. В., Мамахатов Т. М. Особенности развития нефтяной промышленности России на современном этапе // Бурение и нефть. 2016. № 12. С. 3–14.
3. Смирнов Л. А., Казак К. Эмаль и сталь. Как создать надежную защиту для труб и оборудования в нефтяной промышленности // Металлы Евразии. 2002. № 5. С. 38–39.
4. Koch G. H., Brongers M. P., Thompson N. G. Corrosion — A Natural But Controllable Process Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States. Publication No. FHWA-RD-01-156. 2010. P. 3–4.
5. Revie R. W., Uhlig H. H. Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering, Fourth Edition. — John Wiley & Sons, Inc., Hoboken New Jersey, 2008. — 495 p.
6. Основные требования к теплоизоляции трубопроводов нефтяной и газовой отрасли [Электронный ресурс] URL: <https://1cert.ru/stati/osnovnye-trebovaniya-k-teploizolyatsii-truboprovodov-neftnyanoy-i-gazovoy-otrasli> (дата обращения: 21.09.2020).
7. Изоляция труб нефтепроводов [Электронный ресурс] URL: https://www.kzit.ru/company/articles/izolyatsiya_trub_nefteprovodov/ (дата обращения: 21.09.2020).
8. Алиев Р. А., Белоусов В. Д., Немуров А. Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа : учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Недра, 1988. — 368 с.

9. Кудинов В. И. Основы нефтегазопромыслового дела. — Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. — 720 с.
10. Елагина О. Ю., Агеева В. Н., Буклаков А. Г. Некоторые аспекты применения теплоизоляционных материалов в системах паропроводов нефтяных месторождений // Нефтяное хозяйство. 2019. № 10. С. 87–89.
11. Dadashov I., Loboichenko V., Kireev A. Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products // Pollution Research. 2018. Vol. 37, Iss. 1. P. 63–77.
12. Zakharov L., Yunusov K., Levin S. Material for Protection of Oil Products Against Evaporation S // Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Vol. 52. No. 1. P. 69–70.
13. Tang F., Chen G., Brow R. K. Corrosion Resistance and Mechanism of Steel Rebar Coated with Three Types of Enamel // Corrosion Science. 2012. Vol. 59. P. 157–168.
14. Berdzenishvili I. G. Synthesis of Low-Melting Pipe Enamel Coatings and Their Chemical Durability // American Journal of Materials Science. 2016. Vol. 6, Iss. 2. P. 45–48.
15. Schweitzer P. A. Corrosion-Resistant Piping Systems // CRC Press, Boca Raton, 1994. — 193 p.
16. Rossi S., Parziani N., Zanella C. Abrasion Resistance of Vitreous Enamel Coatings in Function of Frit Composition and Particles Presence // Wear. 2015. Vol. 332-333. P. 702–709.
17. Lazutkina O. R., Kostenko M. G., Komarova S. A., Kazak A. K. Highly Reliable Energy-Efficient Glass Coatings for Pipes Transporting Energy Carriers, Liquids, and Gases // Glass and Ceramics. 2007. Vol. 64, Iss. 3-4. P. 93–95.
18. Sasmal N., Garai M., Karmakar B. Preparation and characterization of novel foamed porous glass-ceramics // Materials Characterization. 2015. Vol. 103. P. 90–100.
19. Vereshchagin V. I., Sokolova S. N. Effect of the technological parameters on the properties of granular porous crystal glass material based on zeolite-bearing rock // Glass and Ceramics. 2009. Vol. 66, Iss. 1-2. P. 46–49.
20. Bessmertny V. S., Min'ko N. I., Bondarenko N. I. et al. Evaluation of the competitiveness of wall building materials with glassy protective-decorative coatings obtained by plasma fusing // Glass and Ceramics. 2015. Vol. 72, Iss. 1-2. P. 41–46.
21. Brusatin G., Bernardo E., Scarinci G. Production of foam glass from glass waste // Proceedings of the International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste. 2004. P. 67–69.
22. Éidukyavichus K. K., Matselkene V. R., Balykavichus V. V. et al. Use of cullet of different chemical compositions in foam glass production // Glass and Ceramics. 2004. Vol. 61, Iss. 3-4. P. 77–80.
23. Liu Y., Chen W., Liu M. The effect of foaming temperature on the foam glass by using waste glass // Gongneng Cailiao/Journal of Functional Materials. 2016. Vol. 47. P. 135–141.
24. Ayadi A., Stiti N., Boumchedda K., Rennai H., Lerari Y. Elaboration and characterization of porous granules based on waste glass // Powder Technology. 2011. Vol. 208. P. 423–426.
25. Яценко Е. А., Рябова А. В., Гольцман В. М. Разработка стеклокompозиционных покрытий для защиты стальных нефтепроводов от внутренней и внешней коррозии // Черные металлы. 2019. № 12. P. 46–51.
26. Yatsenko E. A., Goltsman B. M., Ryabova A. V., Smolij V. A. Peculiarities of the use of siliceous raw materials of the Russian Far East in the integrated pipeline protection // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 242. № 01016.
27. Yatsenko E. A., Goltsman B. M., Ryabova A. V., Smolij V. A., Klimova L. V. Integrated protection of pipelines using silicate materials // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2019. Vol. 19. P. 507–514.
28. Схемы окраски для защиты от коррозии внутренней и наружной поверхности трубопроводов для нефте-газотранспортных систем [Электронный ресурс] URL: http://www.pigment.ru/shemy_okrasky/nefteprovod (дата обращения: 21.09.2020).
29. Фасонные изделия [Электронный ресурс] URL: <http://a-stess.com/product/shaped-articles/> (дата обращения: 21.09.2020).

COMPLEX PROTECTION OF STEEL OIL PIPELINES IN HARSH CLIMATIC CONDITIONS

E. A. Yatsenko¹, Dr. Eng., Prof., Head of "General Chemistry and Technology of Silicates" Dept.;
V. A. Smoliy¹, Cand. Eng., Associate Prof., "General Chemistry and Technology of Silicates" Dept.;
L. V. Klimova¹, Cand. Eng., Associate Prof., "General Chemistry and Technology of Silicates" Dept.;
D. A. Golovko¹, Student.

¹Platov South Russian State Polytechnic University (Novocherkassk, Russia)

E-mail: e_yatsenko@mail.ru; vikk-toria@yandex.ru; lyudmila.clim@yandex.ru; dima.golovko.9898@mail.ru

Abstract: In connection with the increase in oil production in the Far Eastern and Northern regions of the Russian Federation, there is the problem of transporting hydrocarbons over long distances. This is due to an increase in the viscosity of oil at lower temperatures, as a result of which it thickens and the flow rate inside the pipeline decreases significantly. Therefore, along its entire length it is necessary to provide thermal insulation to reduce heat loss. To extend the life of oil pipelines and protect the inner surface from destructive corrosion, the most effective is the use of a protective glass enamel coating. Therefore, the development of a comprehensive technology for the protection of steel oil pipelines in severe climatic conditions is an urgent task for researchers and the petrochemical industry. At the SRSPU (NPI) named after M. I. Platov, within the framework of the RNF project, developed technologies for the synthesis of protective enamel coatings for the inner surface of the oil pipeline and foam glass for its thermal insulation. The article discusses various corrective additives to improve the operational characteristics of materials for comprehensive protection of pipelines. As a result of studies of the effect of corrective additives on the temperature-time synthesis mode and the properties of protective slick coatings for the inner surface of steel oil pipelines and foam glass, used as a heat-insulating material that protects oil pipelines from the negative effects of the environment in harsh climatic conditions, modified compositions have been developed that allow obtaining high-quality enamel coatings and foam glass protection.

Keywords: oil pipelines, climatic conditions, protective enamel coating, foam glass, corrective additives, melt, gloss, chemical resistance, density.

The work was carried out at SRSPU (NPI) with the financial support of the Russian Science Foundation under agreement No. 18-19-00455 "Development of the technology for complex protection of oil and gas pipelines operating in the Russian Far East" (supervisor – E. A. Yatsenko).

References

- Russia has increased oil production and export [Electronic resource] Available at: <https://lenta.ru/news/2020/05/02/russianoil/> (accessed: 21.09.2020).
- Eder L. V., Filimonova I. V., Provornaya I. V., Mamakhmatov T. M. Features of the development of the Russian oil industry at the present stage. *Burenie i nef't*. 2016. No. 12. pp. 3–14.
- Smirnov L. A., Kazak K. Enamel and steel. How to provide reliable protection for pipes and equipment in the oil industry. *Metally Evrazii*. 2002. No. 5. pp. 38–39.
- Koch G. H., Brongers M. P., Thompson N. G. Corrosion — A Natural But Controllable Process Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States. Publication No. FHWA-RD-01-156. 2010. pp. 3–4.
- Revie R. W., Uhlig H. H. Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken New Jersey, 2008. 495 p.
- Basic requirements for thermal insulation of pipelines in the oil and gas industry. [Electronic resource] Available at: <https://1cert.ru/stati/osnovnye-trebovaniya-k-teploizolyatsii-truboprovodov-neftyanoy-i-gazovoy-otrasli> (accessed: 21.09.2020).
- Insulation of oil pipelines [Electronic resource] Available at: https://www.kzit.ru/company/articles/izolyatsiya_trub_nefteprovodov (accessed: 21.09.2020).

- Aliev R. A., Belousov V. D., Nemurov A. G. et al. Pipeline transport of oil and gas: tutorial for universities. 2nd edition, revised and additional. Moscow: Nedra, 1988. 368 p.
- Kudinov V. I. Fundamentals of oil and gas production. Izhevsk: Institut kompyuternykh issledovaniy, 2004. 720 p.
- Elagina O. Yu., Ageeva V. N., Buklakov A. G. Some aspects of the use of thermal insulation materials in steam line systems of oil fields. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2019. No. 10. pp. 87–89.
- Dadashov I., Loboichenko V., Kireev A. Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products. *Pollution Research*. 2018. Vol. 37, Iss. 1. pp. 63–77.
- Zakharov L., Yunusov K., Levin S. Material for Protection of Oil Products Against Evaporation S. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. Vol. 52. No. 1. pp. 69–70.
- Tang F., Chen G., Brow R. K. Corrosion Resistance and Mechanism of Steel Rebar Coated with Three Types of Enamel. *Corrosion Science*. 2012. Vol. 59. pp. 157–168.
- Berdzenishvili I. G. Synthesis of Low-Melting Pipe Enamel Coatings and Their Chemical Durability. *American Journal of Materials Science*. 2016. Vol. 6, Iss. 2. pp. 45–48.
- Schweitzer P. A. Corrosion-Resistant Piping Systems. CRC Press, Boca Raton, 1994. 193 p.
- Rossi S., Parziani N., Zanella C. Abrasion Resistance of Vitreous Enamel Coatings in Function of Frit Composition and Particles Presence. *Wear*. 2015. Vol. 332–333. pp. 702–709.
- Lazutkina O. R., Kostenko M. G., Komarova S. A., Kazak A. K. Highly Reliable Energy-Efficient Glass Coatings for Pipes Transporting Energy Carriers, Liquids, and Gases. *Glass and Ceramics*. 2007. Vol. 64, Iss. 3-4. pp. 93–95.
- Sasmal N., Garai M., Karmakar B. Preparation and characterization of novel foamed porous glass-ceramics. *Materials Characterization*. 2015. Vol. 103. pp. 90–100.
- Vereshchagin V. I., Sokolova S. N. Effect of the technological parameters on the properties of granular porous crystal glass material based on zeolite-bearing rock. *Glass and Ceramics*. 2009. Vol. 66, Iss. 1-2. pp. 46–49.
- Bessmertny V. S., Minko N. I., Bondarenko N. I. et al. Evaluation of the competitiveness of wall building materials with glassy protective-decorative coatings obtained by plasma fusing. *Glass and Ceramics*. 2015. Vol. 72, Iss. 1-2. pp. 41–46.
- Brusatin G., Bernardo E., Scarinci G. Production of foam glass from glass waste. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste*. 2004. pp. 67–69.
- Éidukyavichus K. K., Matselkene V. R., Ballyavichus V. V. et al. Use of cullet of different chemical compositions in foam glass production. *Glass and Ceramics*. 2004. Vol. 61, Iss. 3-4. pp. 77–80.
- Liu Y., Chen W., Liu M. The effect of foaming temperature on the foam glass by using waste glass. *Gongneng Cailiao. Journal of Functional Materials*. 2016. Vol. 47. pp. 135–141.
- Ayadi A., Stiti N., Boumchedda K., Rennai H., Lerari Y. Elaboration and characterization of porous granules based on waste glass. *Powder Technology*. 2011. Vol. 208. pp. 423–426.
- Yatsenko E. A., Ryabova A. V., Goltsman V. M. Development of fiber-glass composite coatings for protection of steel oil pipelines from internal and external corrosion. *Chernye Metally*. 2019. No. 12. pp. 46–51.
- Yatsenko E. A., Goltsman B. M., Ryabova A. V., Smoliy V. A. Peculiarities of the use of siliceous raw materials of the Russian Far East in the integrated pipeline protection. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 242. No. 01016.
- Yatsenko E. A., Goltsman B. M., Ryabova A. V., Smoliy V. A., Klimova L. V. Integrated protection of pipelines using silicate materials. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019. Vol. 19 (5.2). pp. 507–514.
- Paint schemes for corrosion protection of the inner and outer surfaces of pipelines for oil and gas transmission systems. [Electronic resource] Available at: http://www.pigment.ru/shemy_okrasky/nefteprovod (accessed: 21.09.2020).
- Shaped products [Electronic resource] Available at: <http://a-stess.com/product/shaped-articles/> (accessed: 21.09.2020).