



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ВНУТРЕННЕГО ГЛАДКОСТНОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБОПРОВОДОВ К АСФАЛТОСМОЛОПАРАФИНИСТЫМ ОТЛОЖЕНИЯМ НЕФТЕЙ ЯРЕГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.В.Сальников^{*1}, Т.Ш.Салаватов², З.Х.Ягубов¹, Г.Р.Мустафаева²

¹Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия;

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

Experimental Evaluation of the Adhesion Properties of the Internal Smoothness Coating of Pipelines to the Asphalt-and-oil-paraffin Leposits of Oil from the Yarega Field

A.V.Salnikov¹, T.Sh.Salavatov², Z.H.Yagubov¹, G.R.Mustafayeva²

¹Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia;

²Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

Abstract

The article presents the results of an experimental study assessing the adhesion properties of in-tube smooth-bicke silicate-enamel and powder epoxy coatings to determine their effectiveness in preventing the precipitation of asphalt-resin-paraffin deposits from the oil transported on the Yarega-Ukhta pipeline.

The purpose of the research was to determine the strength of adhesion of asphalt-resin-paraffin deposits to the surface of silicate-enamel and powder epoxy coatings depending on the temperature of the samples and to compare the results with those obtained on the sample of the uncoated pipe.

Keywords:

Adhesion;
Asphalt-resin-paraffin deposits;
Oil Pipeline;
High-viscosity oil;
Smooth interior coating.

© 2020 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

Нефти Ярегского месторождения не только являются аномально вязкими нефтями, но и характеризуются большим содержанием пластовой воды, механических примесей и солей. Даже после глубокой очистки не удается полностью исключить их содержание. Это в значительной мере влияет на коррозионное воздействие перекачиваемого продукта на металл трубопровода и его эрозионный износ. Кроме того, при транспорте нефти Ярегского месторождения с целью снижения ее вязкости транспортируемый продукт подогревают до температуры 88...90 °С, что увеличивает коррозионную активность перекачиваемой среды.

В настоящее время для снижения гидравлических сопротивлений и защиты внутренней поверхности трубопровода все большее применение получают внутренние гладкостные покрытия из различных материалов. Для оценки эффективности силикатно-эмалевого и эпоксидного порошкового внутреннего гладкостного покры-

тия (ВГП) в условиях эксплуатации нефтепровода ППСН «Ярега» – ПСП «Ухта» в качестве оценочных критериев необходимо принять и исследовать: адгезию асфалто-смоло-парафиновых отложений (АСПО) к поверхности трубы, шероховатость, твердость, скорость истирания, относительный износ и относительную износостойкость.

В рамках данной работы проводилась оценка адгезионных свойств внутритрубного гладкостного силикатно-эмалевого и порошкового эпоксидного покрытия для определения их эффективности предупреждения выпадения АСПО из транспортируемой по нефтепроводу ППСН «Ярега» – ПСП «Ухта» нефти на внутреннюю поверхность трубопровода.

Целью исследований являлось определение силы адгезии АСПО к поверхности силикатно-эмалевого и порошкового эпоксидного покрытия в зависимости от температуры образцов и сравнение результатов с полученными на образце трубы без покрытия.

При моделировании условий эксплуатации нефтепровода ППСН «Ярега» – ПСП «Ухта» диапазон исследуемых температур составлял от

*E-mail: ugtusovet@yandex.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20200100423>

минус 30 °С (полная остановка и остывание трубопровода в зимний период) до плюс 70 °С (температура подогрева нефти на входе в трубопровод на ППСН «Ярега»).

Для расширения сравнительной базы данных по оценке эффективности внутренних гладкостных покрытий был так же проведен замер шероховатости образцов и исследование зависимости силы адгезии АСПО от температуры образцов на образцах трубопровода без внутреннего покрытия.

Выбор методики испытаний

Наиболее точная методика определения адгезионных свойств АСПО была разработана В.П. Троновым [1]. Однако данная методика испытаний сложна в воспроизводстве, так как оценивает силы адгезии в поверхностных слоях АСПО на макромолекулярном уровне и требует химического анализа состава АСПО.

Существует ряд методик по оценке адгезионных свойств лакокрасочных покрытий к поверхности защищаемых ими металлов [2-4]. Однако адаптировать эти методики для оценки адгезии АСПО к внутренним гладкостным покрытиям трубопроводов не представляется возможным [10-12].

Известна [5-7] методика испытаний наружных покрытий трубопроводов на адгезию отслаиванием полосы покрытия в соответствии с ГОСТ 51164-98.

При проведении испытаний по методике [5] необходимо последовательно провести следующие операции:

- маркировать образцы с покрытием;
- различить и прорезать в покрытии стальным ножом до металла три полосы длиной 200 мм и шириной от 10 до 50 мм на расстоянии друг от друга 50 мм;
- ножом приподнять конец вырезанной полосы покрытия и осторожно («подрезая» адгезив, если это необходимо) отслоить полосу от образца длиной 4-5 см и закрепить в захвате адгезиметра;
- подсоединить зажим к крюку адгезиметра;

- измерить температуру окружающего воздуха;
- включить адгезиметр, при этом прибор издает короткий звуковой сигнал и на табло появляется надпись «-Ad-» («Адгезиметр»);
- приложить к прибору тянущее усилие и начать отслаивать покрытие, в соответствии с рисунком 1.
- отслаивают покрытие равномерно, без рывков или остановок, с постоянной скоростью до полного отслоения иссеченного участка.
- провести отслаивания полосы со скоростью 10±20 мм/мин до момента прекращения подачи прибором звукового сигнала и появления на индикаторе среднеинтегрального значения усилия отслаивания. Время отслаивания фиксировать секундомером;
- определить значение величины адгезионной прочности покрытия F с учетом показаний прибора и ширины отслаиваемой полосы.

Скорость отслаивания V определяют как частное от деления длины отслоенного участка покрытия L на величину продолжительности отслаивания t :

$$V = L / t,$$

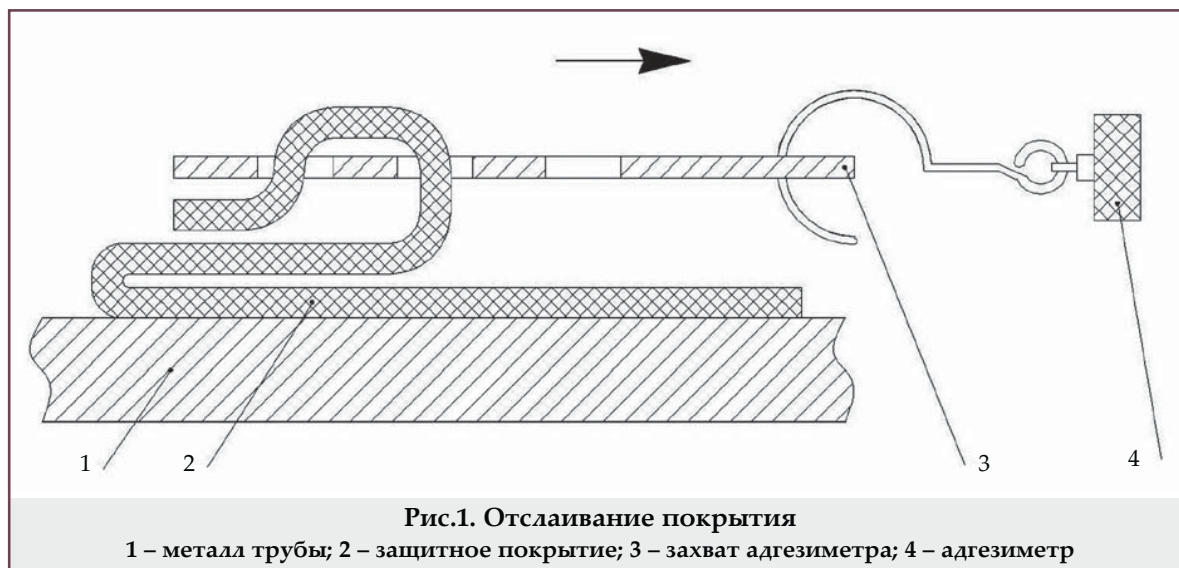
где L – длина отслоенного участка покрытия, мм;
 t – продолжительность отслаивания, мин.

Величина адгезионной прочности покрытия с учетом показаний прибора и ширины отслаиваемой полосы:

$$F = P / d,$$

где P – усилие отслаивания, Н;
 d – ширина полосы, см.

В рамках данной работы методика испытаний, описанная в [5-7], была адаптирована для ее применимости к оценке адгезионных свойств внутреннего гладкостного покрытия к АСПО нефтей Ярегского месторождения следующим образом. Испытания выполнялись на образцах размером



300x300 мм, изготовленных путем вырезки из труб изготовленных из стали 15ГС, с условным диаметром 400 мм:

- образец №1 – фрагмент трубы без внутреннего гладкостного покрытия;
- образец №2 – фрагмент трубы с силикатно-эмалевым покрытием;
- образец №3 – фрагмент трубы с эпоксидным порошковым покрытием.

Для каждого образца изготавливались дарнитовые пластины, размером 200x200 мм, имеющие выступ для крепления к крюку прибора для измерения адгезии.

Предварительно определялась шероховатость внутренней поверхности образцов (труб) без покрытия, с силикатно-эмалевым и эпоксидным порошковым внутренним гладкостным покрытием.

Измерение проводилось прибором с мерительным штифтом, радиус наконечника которого составлял 5 ± 1 мкм. Штифт должен проходить по длине оценки, равной 12.5 мм и соответствующая длина выборки должна составлять 2.5 мм. Скорость движения штифта не должна превышать 1.0 мм/с. Измерения производились на участке не менее 5 мм от края образца.

Перед началом измерения шероховатости поверхности очищались сухой щеткой с тонкой щетиной для удаления пыли и затем промывались бензином с последующим полным высыханием поверхностей.

Описанные выше процедуры повторялись для каждой поверхности исследуемых образцов – без внутреннего гладкостного покрытия, с силикатно-эмалевым гладкостным покрытием и эпоксидным порошковым гладкостным покрытием.

Перед началом эксперимента по определению адгезии на внутреннюю поверхность труб (образцов) с покрытием и без наносилось равное количество АСПО нефтей Ярегского месторождения. После чего при температуре поверхности образцов 30 °С на АСПО накладывались дарнитовые пластины и выдерживались под нагрузкой 98 кг·с (вес груза 10 кг) в течении одного часа. Далее нагрузку снимали, и образцы считались подготовленными к испытаниям.

В ходе исследований осуществлялось изменение температуры подготовленных образцов в диапазоне от -30 °С до +70 °С и при помощи адгезиметра осуществлялся отрыв дарнитовых пластин от поверхности трубных образцов с фиксацией силы адгезии.

Нагрев образцов осуществлялся строительным феном, а охлаждение образцов – в естественных условиях окружающей среды в зимний период. Температура поверхности образцов во время испытаний фиксировалась по бесконтактному термометру. Поскольку в ходе эксперимента необходимо произвести полное отслаивание от внутренней поверхности образца (трубы) дарнитовой пластины, пропитанной АСПО, время отслаивания в ходе эксперимента не фиксировалось.

Оборудование и приборы

При подготовке и проведении эксперимента по оценке адгезионных свойств внутреннего гладкостного покрытия к АСПО нефтей Ярегского месторождения использовались следующие приборы и оборудование:

- линейка измерительная металлическая, цена деления 1 мм, предел измерений 0÷500 мм;
- нож для вырезки дарнитовых пластин размером;
- прибор измерения геометрических параметров многофункциональный «Константа К5» с датчиком шероховатости ДШ1; [8]
- термометр контактный КД2, цена деления 10 °С, предел измерений от -40 до +900 °С, погрешность 0.5 °С;
- автоматический электронный адгезиметр.

В качестве прибора измерения силы адгезии принят автоматический электронный адгезиметр АМЦ 2-50. [9]

Проведение и результаты испытаний

Перед проведением испытаний была проведена калибровка прибора на эталонах шероховатости поверхности Elcometr 125.

Затем, в соответствии с методикой, изложенной выше, были произведены замеры шероховатости внутренней поверхности труб (образцов) с силикатно-эмалевым внутренним гладкостным покрытием, эпоксидным порошковым внутренним гладкостным покрытием, и образца трубы без покрытия путем определения среднего значения по десяти точкам, согласно паспорта и инструкции по эксплуатации прибора измерения геометрических параметров «Константа К5».

Количество блоков приведенных измерений было принято в работе равным 15.

На рисунке 2 представлен процесс замера температуры образцов, на рисунке 3 представлен процесс измерений силы адгезии АСПО к поверхности образцов.

После статистической обработки полученных в результате замеров средних значений измерений шероховатости испытуемых поверхностей образцов установлено, что:

- среднее значение шероховатости для трубы без покрытия (образец №1) составляет 0.153 мм, $R_z=153$ мкм;
- среднее значение шероховатости для трубы с силикатно-эмалевым покрытием (образец №2) составляет 0.037 мм, $R_z=37$ мкм;
- среднее значение шероховатости для трубы с эпоксидным порошковым покрытием (образец №3) составляет 0.047 мм, $R_z=47$ мкм.

Далее, в соответствии с методикой, изложенной ранее, были проведены измерения силы адгезии дарнитовых пластин, пропитанных АСПО нефтей Ярегского месторождения, к внутренней поверхности труб (образцов) с силикатно-эмалевым внутренним гладкостным покрытием, эпок-



Рис.2. Процесс замера температуры образцов



Рис.3. Процесс измерений силы адгезии АСПО к поверхности образцов

сидным порошковым внутренним гладкостным покрытием, и образца трубы без покрытия при различной температуре образцов.

Результаты испытаний представлены в таблицах 1 и 2.

Среднее значение измерений адгезиметром АМЦ-2-50 при различных температурах образцов при испытаниях Т, °С				Таблица 1
Температура образца при испытаниях Т, °С	Образец №1 (без покрытия), кг	Образец №2 (с силикатно-эмалевым покрытием), кг	Образец №3 (с эпоксидным порошковым покрытием), кг	
- 30	7.89	4.96	1.87	
- 20	6.13	3.35	1.49	
-10	4.57	2.1	1.23	
0	2.12	0.82	0.99	
2	1.68	0.52	0.67	
6	0.75	0.3	0.4	
10	0.5	0.21	0.31	
12	0.3	0.18	0.25	
18	0.21	0.12	0.14	
23	0.18	0.1	0.12	
35	0.13	0.09	0.1	
60	0.11	0.07	0.09	
70	0.09	0.04	0.06	

Таблица 2

Среднее значение адгезии $F_{A'}$, кН, при различных температурах образцов при испытаниях T , °С

Температура образца при испытаниях T , °С	Образец №1 (без покрытия) $F_{A'}$, кН	Образец №2 (с силикатно-эмалевым покрытием) $F_{A'}$, кН	Образец №3 (с эпоксидным порошковым покрытием) $F_{A'}$, кН
-30	8.054	5.063	1.906
-20	6.251	3.417	1.517
-10	4.482	2.059	1.252
0	2.079	0.804	0.971
2	1.648	0.509	0.657
6	0.736	0.294	0.393
10	0.491	0.203	0.304
12	0.294	0.177	0.245
18	0.206	0.118	0.137
23	0.17	0.098	0.118
35	0.128	0.088	0.098
60	0.108	0.0687	0.088
70	0.088	0.039	0.0588

Анализ полученных результатов испытания внутренних гладкостных покрытий на адгезию к АСПО

После статической обработки массива полученных в ходе эксперимента данных были установлены следующие зависимости адгезии АСПО нефтей Ярегского месторождения к различным видам поверхностей образцов (ось Y) от температуры образца (ось X), изменяющейся в диапазоне от -30 °С до $+70$ °С:

- для трубы без покрытия (образец №1) зависимость вида $y=0.0018x^2-0.146x+2.2275$;
- для трубы с силикатно-эмалевым покрытием (образец №2) зависимость вида $y=0.0011x^2-0.0869x+1.1322$;
- для трубы с эпоксидным порошковым покрытием (образец №3) зависимость

вида $y=0.0003x^2-0.0327x+0.7113$.

Полученные зависимости представлены на рисунках 4 – 6. Совмещенные характеристики представлены на рисунке 7.

В результате оценки адгезионных свойств внутренних гладкостных покрытий и анализа полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что шероховатость покрытия оказывает существенное влияние на адгезию АСПО нефтей Ярегского месторождения к поверхности покрытий только в зоне отрицательных температур [10].

Кроме того, установлено, что при температуре выше 17 °С адгезия АСПО к поверхности трубы является постоянной величиной, что связано с фазовым переходом АСПО из кристаллического состояния в жидкое и от типа внутреннего гладкостного покрытия практически не зависит.

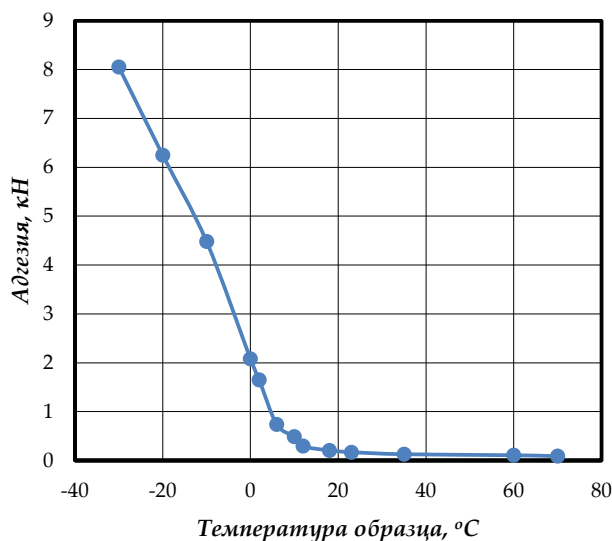


Рис.4. Зависимость адгезии АСПО от температуры образца для образца без внутреннего гладкостного покрытия

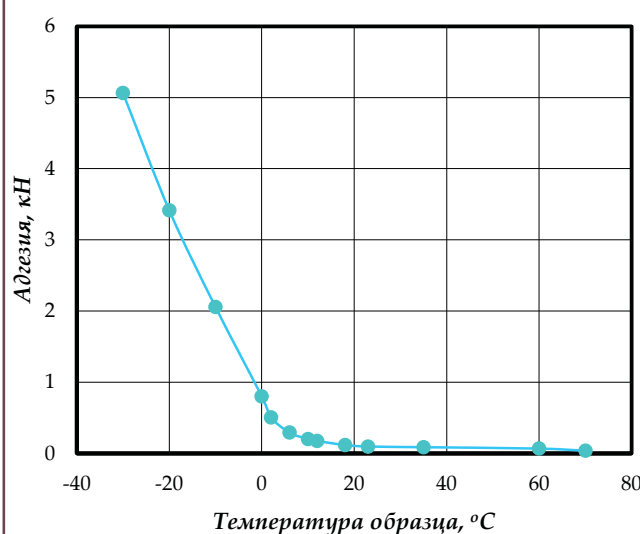
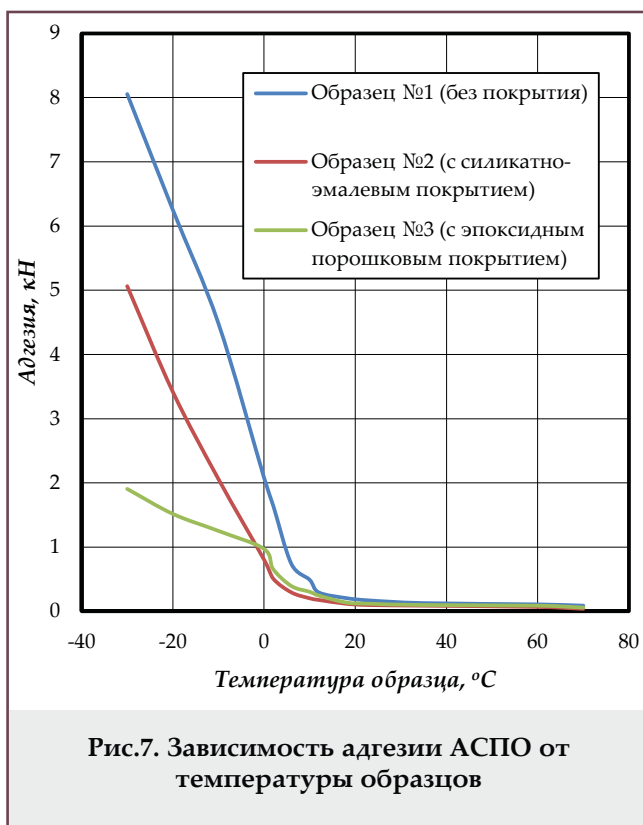
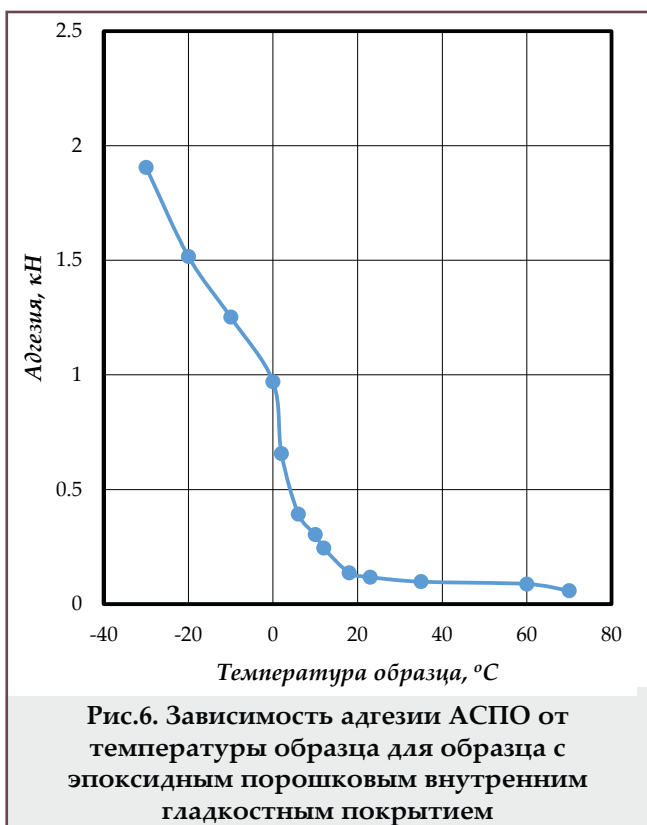


Рис.5. Зависимость адгезии АСПО от температуры образца для образца с силикатно-эмалевым внутренним гладкостным покрытием



Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- для снижения гидравлических сопротивлений и защиты внутренней поверхности трубопровода ППСН «Ярега» – ПСП «Ухта» от коррозии целесообразно применять силикатно-эмалевые и эпоксидные порошковые внутренние гладкостные покрытия, обладающие в то же время значительной прочностью сцепления с поверхностью металла труб, стойкостью к температурным воздействиям в широком диапазоне температур и низким значением шероховатости, что создает предпосылки к предупреждению образования АСПО на внутренней поверхности нефтепровода;
- для оценки эффективности силикатно-эмалевого и эпоксидного порошкового внутреннего гладкостного покрытия (ВГП) в условиях эксплуатации нефтепровода ППСН «Ярега» – ПСП «Ухта» в качестве оценочных критериев были приняты: адгезия АСПО к поверхности трубы, шероховатость, твердость, скорость истирания, относительный износ и относительная износостойкость;
- в результате оценки адгезионных свойств ВГП установлено, что шероховатость покрытия оказывает существенное влияние на адгезию АСПО нефтей Ярегского месторождения к поверхности покрытий только в зоне отрицательных температур;
- установлено, что при температуре выше 17 °С адгезия АСПО к поверхности трубы является постоянной величиной, что связано с фазовым переходом АСПО из кристаллического состояния в жидкое.

Литература

1. Тронов, В.П. (1969). Механизм образования смолопарафиновых отложений и борьба с ними. *Москва: Недра.*
2. ГОСТ 9.403-80 (СТ СЭВ 5260-85). (2002). Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрyтия лакокрасочные. Методы испытаний на стойкость к статическому воздействию жидкостей (с Изменением № 1). *Москва: ИПК Издательство стандартов.*
3. ГОСТ 15140-78. (1979). Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии. *Москва: ИПК Издательство стандартов.*
4. ISO 2409:2007. (2015). Лаки и краски. Испытание методом решетчатых надрезов. *Москва: Стандартиформ.*
5. ГОСТ 51164-98. (2001). Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. *Москва: Стандартиформ.*
6. Басин, В. Е. (1981). Адгезионная прочность. *Москва: Химия.*
7. Гриценко, А.И., Скубин, В.К. (1995). Сборник методик выполнения испытаний (измерений) при производстве наружного антикоррозионного полиэтиленового покрытия труб. *Москва: ВНИИГАЗ.*
8. Руководство по эксплуатации. (2013). Прибор измерения геометрических параметров многофункциональный Константа К5. *Санкт-Петербург: ЗАО «Константа».*
9. Паспорт и инструкция по эксплуатации. (2002). Адгезиметр электронный АМЦ 2-50. *Зеленоград: ЗАО «Инновационный центр новых технологий».*
10. Мирзаджанзаде, А.Х., Алиев, Н.А., Юсифзаде, Х.Б. и др. (1997). Фрагменты разработки морских нефтегазовых месторождений. *Баку: Элм.*
11. Мирзаджанзаде, А.Х. (1986). Повышение эффективности и качества бурения глубоких скважин. *Москва: Недра.*
12. Дмитриев, Н.М., Кадет, В.В. (2016). Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика. *Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований.*

References

1. Tronov, V.P. (1969). Mechanism of Formation of Resin-Paraffin Deposits and Their Control. *Moscow: Nedra.*
2. GOST 9.403-80 (ST SEV 5260-85). (2002). Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Test methods for resistance to liquid static effect (with Change No.1). *Moscow: IPK Standards Publishing.*
3. GOST 15140-78. (1979). Paintwork materials. Methods for determination of adhesion. *Moscow: IPK Standards Publishing.*
4. ISO 2409:2007. (2015). Paints and varnishes — Cross-cut test. *Moscow: Standardinform.*
5. GOST 51164-98. (2001). Steel pipe mains. General requirements for corrosion protection. *Moscow: Standardinform.*
6. Basin, V.E. (1981). Adhesive strength. *Moscow: Khimiya.*
7. Gricenko, A.I., Skubin, V.K. (1995). Sbornik metodik vypolneniya ispytaniy (izmereniy) pri proizvodstve naruzhnogo antikorrozionnogo polietilenovogo pokrytiya trub. *Moskva: VNIIGAZ.*
8. Rukovodstvo po ekspluatacii. (2013). Pribor izmereniya geometricheskih parametrov mnogofunkcional'nyj Konstanta K5. *Sankt-Peterburg: ZAO «Konstanta».*
9. Pasport i instrukciya po ekspluatacii. (2002). Adgezimetr elektronnyj AMC 2-50. *Zelenograd: ZAO «Innovacionnyj centr novyh tekhnologij».*
10. Mirzajanzadeh, A. Kh., Aliev, N. A., Yusifzade, K. B., et al. (1997). Fragments on development of offshore oil and gas fields. *Baku: Elm.*
11. Mirzajanzadeh, A.Kh. (1986). Improving the efficiency and quality of deep well drilling. *Moscow: Nedra.*
12. Dmitriev, N.M., Kadet, V.V. (2016). Gidravlika i neftegazovaya gidromekhanika. *Moskva-Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovaniy.*

Экспериментальная оценка адгезионных свойств внутреннего гладкостного покрытия трубопроводов к асфальто-смолопарафинистым отложениям нефтей Ярегского месторождения

А.В.Сальников¹, Т.Ш.Салаватов², З.Х.Язубов¹, Г.Р.Мустафаева²

¹Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия;

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

Реферат

В статье приведены результаты экспериментального исследования по оценке адгезионных свойств внутритрубного гладкостного силикатно-эмалевого и порошкового эпоксидного покрытия для определения их эффективности по предупреждению выпадения асфальтосмолопарафиновых отложений из транспортируемой по нефтепроводу ППСН «Ярега» – ПСП «Ухта» нефти. Целью исследований являлось определение силы адгезии асфальтосмолопарафиновых отложений к поверхности силикатно-эмалевого и порошкового эпоксидного покрытия в зависимости от температуры образцов и сравнение результатов с полученными на образце трубы без покрытия.

Ключевые слова: адгезия; асфальтосмолопарафиновые отложения; нефтепровод; высоковязкая нефть; внутреннее гладкостное покрытие.

«Yarega» yatağının neftindən əmələgələn asfalten-qətran-parafin çöküntülərinin borudaxili hamarlayıcı örtüklərinə qarşı adgeziya xüsusiyyətlərinin eksperimental qiymətləndirilməsi

A.V.Salnikov^{*1}, T.Ş.Salavatov², Z.X.Yaqubov¹, G.R.Mustafayeva²

¹Uxta Dövlət Texniki Universitet, Uxta, Rusiya;

²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Məqalədə neftin «Yarega - Uxta» boru kəməri ilə nəqli zamanı asfalten-qətran-parafin çöküntülərin qarşısının alınmasında silikat-minalı və tozlu epoksid borudaxili hamarlayıcı örtüklərin səmərəliliyinin müəyyən edilməsi məqsədilə örtüklərin adgeziya xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi üçün aparılan eksperimental tədqiqatların nəticələri təqdim edilir. Tədqiqatların məqsədi nümunələrin temperaturundan asılı olaraq asfalten-qətran-parafin çöküntülərinin silikat-minalı və tozlu epoksid hamarlayıcı örtüklərin səthinə adgeziya qüvvəsinin müəyyən edilməsi və örtüksüz boru nümunəsi üzərində alınan nəticələr ilə müqayisəsidir.

Açar sözlər: adgeziya; asfalten-qətran-parafin çöküntüləri; neft kəməri; yüksək özlüklü neft; borudaxili hamarlayıcı örtük.