

# 50

## Высокоэффективные комплексные системы топливо- и химстойких покрытий для защиты трубопроводов и оборудования нефтяной и газовой промышленности

Одной из важнейших проблем в области эксплуатации трубопроводов, резервуаров, запорной арматуры и других конструкций нефтяной и газовой промышленности, эксплуатирующихся в районах Сибири, Дальнего Востока, Европейской части России, а также в морских и тропических условиях, является обеспечение надежной антикоррозийной защиты конструкций из углеродистой стали.

Опыт эксплуатации конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, предназначенных для изготовления нефтяного и газового оборудования трубопроводов, резервуаров, запорной арматуры и других конструкций нефтяной и газовой промышленности показал, что ресурс такого оборудования определяется, в основном, скоростью коррозии внутренней поверхности, т. к. скорость коррозии внутренней поверхности значительно выше, чем внешней. Природный газ и нефть не вызывают коррозии, но являются носителями коррозионных агентов (вода и кислород), а также различных примесей (сернистых и кислородосодержащих соединений). Степень агрессивности сернистых соединений зависит от их химического строения. Наиболее активными являются элементарная

**Таблица 1. Физико-механические, адгезионные и защитные свойства покрытий на основе грунтовок ВГ-33**

Система покрытия	Физико-механические свойства покрытий		Адгезия ГОСТ15140	Балл
3 слоя грунтовки ВГ-33, толщина покрытия 90–100 мкм	Эластичность приборе «Эриксен» ГОСТ6-10-411-77, мм	Прочность пленки при ударе ГОСТ 4765, дж	Исходная 1	После 5 суток в дист. воде 1
	Защитные свойства Испытание в камере солевого тумана* в течении 12 месяцев		Испытания По циклу ЛИ-14** 20 циклов. Эластичность, Удар, мм дж	
	Без изменения		5,5	5

\* Режим работы камеры солевого тумана, распыление 5% раствора через равные интервалы времени 3 раза по 3,5 минуты в течение часа, 10 часов в сутки, влажность 98–100%, температура (35+5)°С.

\*\* Искусственное старение покрытий проводили по циклу ЛИ-14 при перепаде температуры: 1 цикл – это термостарение при 30°С в течение 3 ч, затем охлаждение при 60°С – 1ч, камера влажности 98% – 16ч.

сера, сероводород, меркаптаны, которые не только усиливают коррозионную активность нефти и природного газа, но и вызывают охрупчивание стали, снижают ее служебные характеристики (вязкость, пластичность). Поэтому срок службы нефтяного и газового оборудования в значительной мере определяется эффективностью его антикоррозийной защиты. Следует особенно подчеркнуть необходимость комплексного подхода в решении данной проблемы, а именно: наличие сварных швов, болтовых соединений, зон подключения электрохимической защиты и т.п. Для обеспечения надежности антикоррозийной защиты данных участков необходимо применение ингибированных составов, позволяющих формировать покрытия с толщиной одного сформированного слоя 0,8–1,0 мм.

Одним из наиболее важных требованиях к покрытиям, работающими при контакте с агрессивными жидкостями на основе нефтепродуктов и агрессивных химических жидкостей является водо- и топливостойкость, также устойчивость к воздействию агрессивных сред.

При взаимодействии полимерного покрытия с агрессивными средами может протекать ряд физических и химических процессов, из которых наиболее важными являются:

- адсорбция компонентов агрессивной среды на поверхности полимерного покрытия,
- диффузия агрессивной среды в объеме полимера,
- химическая реакция агрессивной

среды с химически нестойкими связями полимера,

- диффузия продуктов деструкции с поверхностью полимерного покрытия,

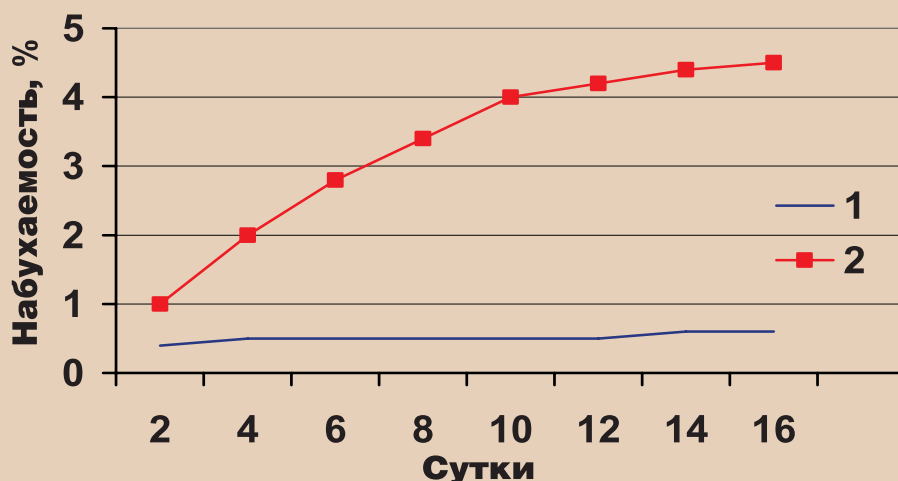
- десорбция продуктов деструкции с поверхности полимерного покрытия.

Результатом протекания указанных процессов является набухание покрытия, снижение адгезионных и физико-механических свойств, разрушения покрытия и снижение защитных функций лакокрасочного покрытия.

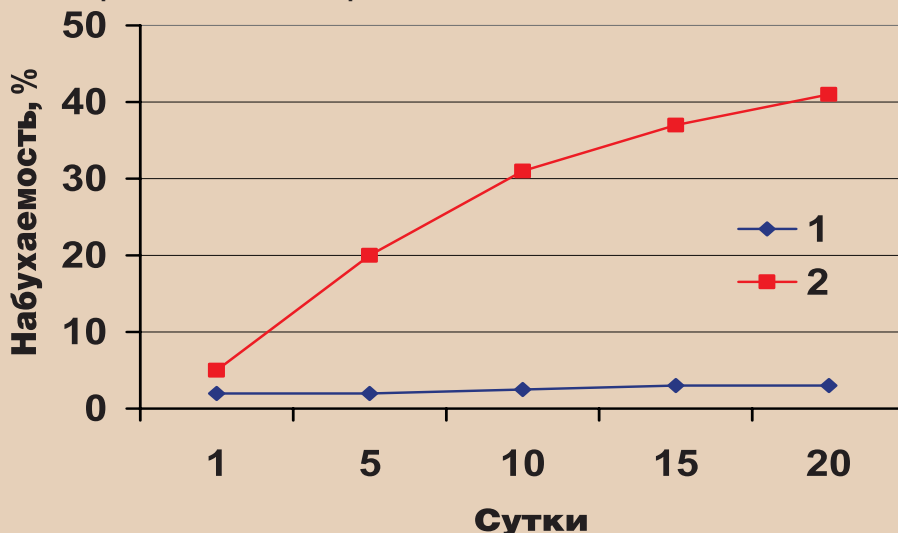
Учитывая вышеизложенное, в качестве полимерной матрицы топливостойкого покрытия была выбрана композиция на основе эпоксидной смолы Э-41, отвердителем АСОТ-2, представляющим собой продукт гидролиза и последующей конденсации гамма-аминопропилтриэтоксисилана.

Известно, что для обеспечения необходимых защитных свойств в грунтовочные покрытия в качестве ингибиторов коррозии вводят хроматы, а так же фосфаты, однако указанные ингибиторы коррозии не всегда приемлемы по соображениям экологии.

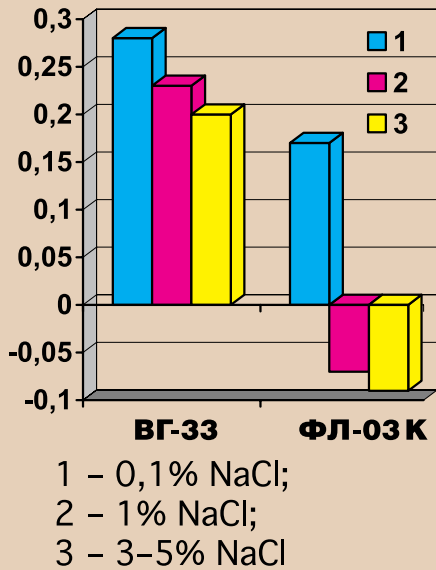
Учитывая вышеизложенное ЗАО «Новые Технологии» перед разработчиками была поставлена задача разработки и исследования новой водо- и



Продолжительность выдержки в топливе, сутки (температура 20°С)  
1 – покрытие ВГ-33 2 – покрытие ФЛ-03К



Продолжительность выдержки в воде, сутки (температура 50°С)  
1 – покрытие ВГ-33 2 – покрытие ФЛ-03К



**Рис. 3 Значение электродных потенциалов после 7 суток испытаний**  
 1- 0,1% NaCl 2- 1% NaCl 3- 5% NaCl

химстойкой грунтовки, содержащей в качестве ингибитора коррозии природный железоокисный неорганический пигмент «Спекулярит», представляющий собой железную слюду (альфа-оксид Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Предложенный ингибитор выгодно отличается формой частиц, имеющих пластинчатую структуру, что способствует резкому снижению влагопроницаемости покрытия.

Вышеизложенные предпосылки легли в основу разработки топливо-химстойкой грунтовки, получившей марку «Грунтовка ВГ-33»(ТУ2312-004-23727639-97).

В таблице 1 приведены данные, характеризующие основные свойства покрытия на основе грунтовки ВГ-33 на подложке из углеродной стали СТ-3.

**Таблица 2**

Адгезия к стали, балл, после выдержки в воде 1000 ч, при 20°C	не более 1	1	1	ГОСТ 15140
	не более 1	1	1	ГОСТ 15140
Площадь отслаивания при катодной поляризации, см <sup>2</sup>	не более 5,0	отсутствует	отсутствует	ASTM G-8 ASTM G-42
	не более 5,0	отсутствует	отсутствует	
Переходное электросопротивление Ом·м <sup>2</sup> , 3% растворе NaCl при 20°C	исходное			
	100 суток выдержки	не менее 10 <sup>8</sup> не менее 10 <sup>7</sup>	6 × 10 <sup>9</sup> 12 × 10 <sup>8</sup>	2,0 × 10 <sup>9</sup> 2,0 × 10 <sup>8</sup>

На графиках 1, 2 приведены данные, характеризующие кинетику набухания покрытия на основе грунтовки ВГ-33 в сравнении с покрытием на основе грунтовки ФЛ-03 в топливе и воде.

Из представленных данных видно, что покрытие на основе грунтовки ВГ-33 обладает исключительно высокими водо и топливостойкостью, что особенно заметно при сравнении с аналогичными параметрами серийной грунтовки ФЛ-03К.

Для экспресс оценки коррозионно-защитных свойств грунтовки ВГ-33 были проведены тестирования электродного потенциала стальных окрашенных образцов в растворе хлористого натрия.

Измерения электродного потенциала окрашенного образца проводят в растворах хлористого натрия концентраций 0,1%; 1%; 5% последовательно по 7 суток в каждом растворе, по отношению к стандартному каломеновому электроду, имеющий электродный потенциал в насыщенном растворе KCl, равный +0,241 вольт.

На рис. 3 представлены данные, характеризующие значение электродных потенциалов, окрашенных грунтовками ВГ-33 и ФЛ-03К после 7 суток испытаний.

Из представленных данных следует, что электродный потенциал образцов, окрашенных грунтовкой ВГ-33, находится в положительной области значений, тогда как у образцов с грунтовкой ФЛ-03К при концентрациях NaCl от 1% потенциал смещается в область отрицательных значений, что свидетельствует о высоких коррозионных защитных свойствах покрытия ВГ-33.

Для окончательного заключения о возможности использования покрытия на основе грунтовки ВГ-33 Научно-исследовательский институт по строительству и эксплуатации объектов ТЭК» (ООО «Институт ВНИИСТ») были проведены комплексные исследования данного покрытия. В том числе были исследованы адгезионные характеристики, а также переходные электросоприкосновения и площадь катодного отслаиваний приведены в таблице 2.

Значение прочности при ударе пересчитывалось на нормативную толщину покрытия 0,35 мм, так как толщина покрытия на образцах была нормативной.

Полученные результаты свидетельствуют, что оба варианта покрытия имеют близкие значения показателей по основным свойствам. Хорошая адгезия к стали в исходном состоянии сохраняется после выдержки в течении 1000 часов в воде при температуре 20°C и 60°C. Оба варианта покрытия устойчивы к действию катодного тока: после 30 дней выдержки в условиях катодной поляризации в 3% растворе NaCl отслоений от металла вообще нет.

Опыт применения топливохимстойкого покрытия на основе грунтовки ВГ-33 показал, что для обеспечения формирования покрытия с толщиной одного слоя 80–100 мкм необходима доработка рецептуры грунтовки и отвердителя АСОТ-2 с целью их «загущения», а так же разработка топливохимстойкого консистентного состава.

Для повышения вязкости грунтовки ВГ-33 в качестве наполнителя вводили в рецептуру микротальк в количестве (5–10%) и аэросил А-175 в количестве (3–5%). Указанные наполнители вводили в грунтовки при диспергировании на шаровой мельнице. При исследовании технологических свойств было установлено, что покрытия ВГ-33, содержащие в качестве наполнителя микротальк по внешнему виду и технологическим свойствам уступают аналогичным покрытиям, содержащим аэросил. Грунтовки, содержащие микротальк имеют очень высокую вязкость, затрудняющую диспергирование. Грунтовки, содержащие аэросил А-175 в количестве 2,5–3,0% наиболее технологичны, имеют достаточно высокую вязкость и хороший перетир по «клину». Однако, при введении в грунтовки отверди-

**Таблица 3. Изменение твердости загущенных грунтовок ЭП-0215 и ВГ-33, отвержденных загущенным отвердителем АСОТ-2**

Покрытие	Твердость покрытия после холодной сушки, час				
	3	7	24	48	72
ЭП-0215+АСОТ-2	0,16	0,29	0,42	0,49	0,53
ЭП-0215В+АСОТ-2 загущенный	0,07	0,14	0,23	0,34	0,47
ВГ-33+АСОТ-2	0,0,15	0,21	0,41	0,5	0,51
ВГ-33В+АСОТ-0215 загущенный	0,07	0,15	0,22	0,33	0,49

теля АСОТ-2 происходит снижение вязкости загущенной грунтовки ВГ-33 и при нанесении грунтовки на подложку получается покрытие с недостаточной толщиной. Для предотвращения снижения вязкости грунтовочных композиций с отвердителем АСОТ-2 в указанный отвердитель также вводится аэросил А-175 в количестве 5%.

### ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЗАГУЩЕННЫХ ГРУНТОВОК

Исследование кинетики отверждения загущенной грунтовки ВГ-33 проводили в сравнении с серийными грунтовками по изменению твердости покрытий при отверждении в естественных условиях. В таблицах 1 и 2 представлены результаты определения твердости загущенных грунтовок ЭП-0215В и ВГ-33В с повышенной вязкостью в сравнении с серийными грунтовками, а также грунтовок, отвержденных загущенными отвердителями АСОТ-2 при комнатной температуре. Толщина одного слоя серийных покрытий составляет 15-20 мкм, загущенных покрытий 80-100 мкм.

Из полученных результатов видно, что на основе загущенных грунтовок ЭП-0215 и ВГ-33 по степени отверждения незначительно уступают серийным грунтовкам при отверждении в естественных условиях. Это связано с тем, что при формировании и отверждении из пленки покрытия большей толщины удаление растворителя происходит значи-

тельно медленнее, чем у тонкослойных покрытий. Указанные недостатки может быть устранен при формировании толстослойных покрытий с применением «горячей» сушки.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАГУЩЕННЫХ ГРУНТОВОК

Важнейшими характеристиками, определяющими работоспособность покрытий в агрессивной среде, являются их топливо- и водостойкость при длительной эксплуатации в указанных средах. Испытания двухслойных покрытий на основе серийных и загущенных грунтовочных покрытий ЭП-0215 и ВГ-33 проводили при температуре 20° С в течении 30 суток. Результаты приведены на рис. 2 и рис. 3.

Из результатов, представленных на рис. 2 и рис. 3 следует, что по топливо- и водостойкости покрытия, полученные на основе загущенных грунтовок ВГ-33 незначительно уступают серийным (незагущенным) грунтовочным покрытиям.

На монтаже металлоконструкций, трубопроводов посредством сварки, клепки, резьбовых соединений элементов конструкций и т.д. в местах соединений создаются условия, благоприятные для возникновения и развития щелевой коррозии. Поэтому в целях предотвращения коррозионного поражения указанных зон необходима дополнительная защита, в частности, посредством при-

менения полимерных паст с ингибиторами коррозии.

В связи с указанным, была поставлена задача по разработке рецептуры и исследовании свойств неконсистентных составов на основе низкомолекулярного эпоксидного сополимера, содержащего в качестве ингибитора коррозии спекуларит (слюдки α-оксидов железа).

В качестве модификаторов консистентных составов использовались бутадиен-нитрильный карбоксилатный каучук, а также тиккол. Для отверждения составов использовался отвердитель АСОТ-2. Содержание нелетучей части указанных составов находилось в пределах 90–94%.

Исследование технологических свойств составов показали, что при нанесении краскораспылителем удалось сформировать покрытие с толщиной 85–95 мкм, а при нанесении кистью 800–900 мкм.

Разработанные покрытия были успешно внедрены для защиты следующих объектов: РВС-20000 куб. м. на НПС «Александровское» (12 резервуаров), РВС-20000 куб. м. на НПС «Раскино» (2 резервуара), РВС-20000 м<sup>3</sup>. на НПС «Парабель» (8 резервуаров). Мостовые переходы через реку Обь (г. Барнаул), р. Шуделька (автодорога Парабель-Могильный Мыс), р. Яя (автодорога Томск-Тегульдэт), р. Шегарка (у с. Тызырачево), р. Обь (автодорога Томск-Колпашево).

Новизна технических решений защищена патентами № 2174136 от 15.07.1999г., № 2283330 от 05.09.2006г., № 2283331 от 10.09.2006г., № 2284342 от 27.09.2006г.

**ЗАО «Новые технологии»**  
634029 г. Томск,  
ул. Советская, д. 45  
e-mail: mahrin@tomsk.ru  
Тел. /факс (3822) 532488, 275805

**Таблица 4. Свойства грунтовочных покрытий, отверждаемых при температуре 18–20° С**

Покрытие	Толщина	Адгезия, балл		Физико-механические свойства		
		Исходная	После 7 сут. увлажнения	Прочность к удару, кг.см	Эластичность, мм	Твердость
ЭП-0215+АСОТ-2	15	1	1-2	50	3,7	0,51
ЭП-0215В+АСОТ-2	150	2	2	45	3,2	0,49
ВГ-33+АСОТ-2	40	1	1-2	50	3,5	0,5
ВГ-33В+АСОТ-2	180	1	1-2	45	3,0	0,48