

# О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МОРСКИХ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

УДК 627.221.1

**Ф.С. Исмаилов**, к.т.н., директор института; **Ф.К. Гасанов**, к.т.н., 1-й зам. директора, гл. инженер; **М.М. Кулиев**, зам. директора; **М.М. Курбанов**, к.х.н., начальник отдела «Защита от коррозии», Научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа (НИПИ «Нефтегаз») Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики (ГНКАР)

Статья посвящена новой технологии применения композитов для упрочнения и защиты морских нефтепромысловых гидротехнических сооружений (эстакад) от коррозии. Композитные материалы восстанавливают несущую способность и герметичность металлических конструкций, формируют защитное покрытие на их поверхности. Изготовленные трубы, швеллеры, угольники, квадратные профили, двухтавры из композитного материала вполне могут заменить металлические в коррозионно-агрессивных средах. Композиты не электропроводны, не требуют электрохимзащиты от воздействия блуждающих токов, обладают высокой коррозионной стойкостью и инертностью практически к любым агрессивным средам. Они совместимы с любыми конструкционными материалами, такими как металлы, пластики, древесина, бетон и др., обладают высокой адгезионной способностью, что позволяет восстановить механические повреждения из-за наружной коррозии – трещины, вмятины, дефекты сварных швов элементов, находящихся в эксплуатируемых морских нефтепромысловых объектах, платформах, эстакадах и причальных сооружениях.

**Ключевые слова:** композиты, фермы, ригели, сваи, защита от коррозии, эстакады, платформы, швеллеры, угольники, двухтавры, упрочнения, армированные материалы, наполнители, смолы, стеклопластики, волокно.

Бурное развитие нефтегазовой отрасли требует новых конструкционных материалов, превосходящих по своим прочностным, упругим, противокоррозионным и другим свойствам традиционные материалы. К числу наиболее перспективных относятся полимер-композитные материалы – стеклопластики, базальтопластики, углепластики, эластомеры, волокнистые материалы и компоненты, которые выполняют для них роль наполнителя. Производство изделий из композитов представляет собой комбинацию различных видов волокнистых материалов, наполнителей и основного связующего – смолы. Конструкционные композитные мате-

риалы все чаще применяют в современном машиностроении, причем их используют в тех случаях, когда ни один другой материал не отвечает все более возрастающим требованиям новой техники.

Современная техника предъявляет очень жесткие требования к композиционным материалам. Допустим, нужно повысить прочность, стойкость и жесткость композита, снизить его стоимость и уменьшить плотность. Каждая из этих задач успешно решается добавлением в состав различных наполнителей. Например, прочность материалов повышают введением высокопрочных волокон из стекла или угля и т.д.

Снижения стоимости добиваются добавлением в состав дешевых материалов, таких как речной песок, опилки, цементная пыль.

Отметим, что резины – вулканизированный каучук, наполненный сажей и другими веществами, пенопласты, бакелиты на основе фенолформальдегидных смол, наполненные текстильными волокнами, были известны людям много лет назад. Правда, в этих материалах закономерность распределения наполнителя наблюдается не всегда. Поэтому конструкторы современной техники называют полимерными композиционными материалами такие, в которых имеется полимерная матрица – непрерывная

**Таблица 1. Предел прочности пластмасс при сжатии и растяжении**

Показатели	Пластмассы			
	Полиэтилен высокой плотности	Полиэтилен низкой плотности	Полипропилен	Композит стеклопластик
Предел прочности, МПа:				
• при сжатии	20–22	10–12	25–26	200
• при растяжении	23	11	30	66–85

полимерная фаза, в объеме которой распределены частицы наполнителя, имеющие четко выраженную границу раздела с полимером и закономерное распределение упрочнителей – усиливающих наполнителей, чаще всего волокнистых.

Подбор композитов зависит от параметров эксплуатации сооружений – типа среды, ее химической агрессивности, типа дефектов, состояния ремонтируемой конструкции и т.д. Композиты из стеклопластика на основе полиэфирных и эпоксидных смол относятся к типу терморезистивных полимеров, т.е. при нагревании не размягчаются. Они обладают работоспособностью в широком интервале температур (от –50 до +125 °С). Стеклопластиковые композиты имеют значительное преимущество перед другими пластмассами по прочностным показателям (табл. 1). Так, предел прочности при сжатии у композита – 200 МПа, а у полиэтилена высокой плотности – 20–22, полиэтилена низкой плотности – 10–12, полипропилена – 25–26 МПа. Предел прочности при растяжении у композита – 66–85 МПа, а у полипропилена высокой плотности – 23, полиэтилена низкой плотности – 11 и полипропилена – 30 МПа.

В таблице 2 приводятся данные физических и механических сравнительных характеристик композиционных и стальных материалов. Как видно из таблицы, коэффициент линейного расширения композитов по сравнению с углеродистой сталью в 1,2–1,7 раза, предел прочности при растяжении в 1,3, а удельная проч-

ность в 6 раз больше стальных. Модуль упругости и теплопроводности ниже в 7 и 118 раз соответственно. Так, ударная нагрузка композитов составляет 120–125 кДж/м<sup>2</sup>.

Высокая коррозионная стойкость, способность к восприятию ударных нагрузок, высокая удельная прочность (более 3500 МПа), высокая жесткость (модуль упругости – 130–240 МПа), высокая износостойкость, высокая усталостная прочность, низкая теплопроводность, большая теплоемкость, легкость, возможность изготовления размеростабильных конструкций, а также ламинация (облицовка) металлических поверхностей – все это позволяет использовать композитные материалы на различных объектах нефтяной промышленности и ремонте гидротехнических сооружений, платформ, эстакад и причальных площадок.

Конструкционные материалы из углеродистой стали, которые традиционно используются в строительстве и ремонте морских нефтепромысловых гидротехнических сооружений, имеют непродолжительный срок эксплуатации вследствие процессов коррозии. Это приводит к тому, что по мере эксплуатации стальных конструкций межремонтные периоды уменьшаются, а расходы на борьбу с коррозией возрастают. По этой причине гидротехнические сооружения приходится защищать химическим и электрохимическим методами.

Представленная статья посвящена новой технологии применения композитов для упрочнения и защиты

морских нефтепромысловых гидротехнических сооружений (эстакад) от коррозии. Технологический процесс выполнялся в НГДУ им. Н. Нариманова ПО «Азнефть» Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики. Сначала определялось состояние несущих конструкций эстакад, трубчатых ферм марки ФТ-10, ригелей и свай, подлежащих ламинации (облицовке) композитами. Диагностические исследования показали, что потеря массы в верхних поясах ферм составляет 13,3%, а в нижних – 37,5–75,25%. В ригельных конструкциях эти цифры колеблются до 48,7%. Это означает, что фермы и ригели находятся в критическом состоянии и подлежат замене. Перед облицовкой поверхность металлоконструкций очищалась пескоструйным методом от продуктов коррозии, а затем по выбранной технологии облицовывалась композитами.

После отверждения композиционного материала десятиметровая ферма, проложенная на двух ригелях, испытывалась статистически на грузоподъемность путем загрузки 10-тонных бетонных плит, и груз весом 42 т оставляли на три дня. Диагностические измерения показали, что изгиб конструкций составил всего 1,23 мм. Дальнейшие испытания проводились на суше.

При проведении динамических испытаний 10-тонные бетонные плиты загрузили на верхний пояс фермы, увеличивая нагрузку каждые 10 минут. Загрузка продолжалась до максимального значения в 130 т. При этом непрерывно работала бетономешал-

**Таблица 2. Сравнительные характеристики композиционных и стальных материалов**

Показатели	Углеродистая сталь	Композит
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	7800	1800
Коэффициент линейного расширения	12	15–20
Предел прочности при растяжении, МПа	460	600
Модуль упругости, 2·10 <sup>5</sup> МПа	2,1	0,30–0,32
Коэффициент теплопроводности	0,47	0,004–0,005
Удельная прочность, кН	5,8	35

ка, создавая вибрацию. Десятидневное диагностическое исследование показало, что особых изменений в конструкциях не произошло, а изгиб составил всего 1,5 мм.

Для выявления химической стойкости и механической прочности были проведены длительные лабораторные и стендовые испытания образцов, изготовленных из чистых композитов, в 11 различных агрессивных средах: в морской воде, пластовых водах хлоркальциевого и гидрокарбонатно-натриевого типов с различной минерализацией, содержащих уголекислоты и сероводород в нефтегазоводных системах в широких диапазонах сочетания нефти и воды (табл. 3). В отдельных средах содержание сероводорода достигало 800 мг/л. Скорость коррозии Ст.45 в указанных средах колебалась в пределах 0,15–2,5 г/м<sup>2</sup>·час (кроме сред с чистой нефтью).

В результате проведенных лабораторных испытаний было установлено, что композиты на основе полиэфирных смол, в которых в качестве наполнителя используется стеклоткань, являются весьма стойкими во всех агрессивных средах нефтяных месторождений Азер-

байджана и в морской воде Каспия, а также в легких и тяжелых нефтях, в минерализованных пластовых водах и в смесях нефтей и вод. Изменение веса образцов составляло десятые и сотые доли процента при отсутствии изменения их геометрических размеров.

Для выявления механических свойств композитов в ООО «AZKOMPOZIT» (г. Сумгайт) проводились стендовые испытания. Испытанию подверглись квадратные профили, угольники, швеллеры и двутавры, изготовленные из композитного материала.

В таблице 4 приводятся сравнительные результаты испытаний стандартных стальных и композитных профилей. Как видно из таблицы, профили из композита по механическим свойствам не уступают стальным, а по некоторым показателям и превышают их. По весу композит в 4 раза легче стали.

Композитные профили в заводских условиях испытывались на твердость, проводилось гидростатическое тестирование, проверялись на жесткость кольцеобразными образцами, на прочность окружного растяжения тестированием гантелеобразных образцов, на усталость,

на сжатие, сдвиг одной плоскости, межслойный сдвиг, болтовое соединение, изгиб в 3 и 4 точках, удар падающего тела и т.д.

Композитный материал, состоящий из пропитанной специальным составом ткани и праймера, восстанавливал эксплуатационные свойства морских эстакад, защищая их от наружной коррозии, покрывая трещины, вмятины, гофры, выбоины, дефекты сварных швов, укрепляя несущие конструкции, ригели, балки, опоры свай и т.д. Исследования показали, что после отверждения связующего материала композит придавал металлической конструкции структурную целостность и механическую прочность, восстановив несущую способность и герметичность конструкции.

В коррозионном отношении наиболее уязвимым элементом морских нефтепромысловых гидротехнических сооружений являются трубчатые опоры-сваи, несущие волновую и ветровую нагрузки, и технологическое оборудование. В зоне периодического смачивания они подвергаются наибольшему коррозионному разрушению (0,3–0,8 мм в год). Для определения стойкости композитных



**КЗИТ**  
КОПЕЙСКИЙ ЗАВОД  
ИЗОЛЯЦИИ ТРУБ



## ООО «Копейский завод изоляции труб»

15 лет работы на рынке

**ООО «Копейский завод изоляции труб» осуществляет такие виды деятельности как**

- Нанесение антикоррозионных покрытий (двух- и трёхслойных) на основе экструдированного полиэтилена на наружную поверхность стальных труб диаметром 57-1420 мм.
- Нанесение любых лакокрасочных покрытий на внутреннюю поверхность стальных труб диаметром до 1420 мм. Для покрытия используется широкий ассортимент современных материалов на основе эпоксидных, полиуретановых и цинконаполненных композиций.
- Изготовление гнутых отводов методом холодного гнутья из стальных труб (в том числе из предварительно заизолированных с двух-, трёхслойным покрытием) диаметром от 219 до 1420 мм.
- Изготовление свай и опор из стальных бесшовных и электросварных переосвидетельствованных труб, диаметром до 1420 мм включительно из углеродистых и низколегированных сталей. Предназначаются для использования в строительстве в качестве свай фундаментов и крепления котлованов, опор освещения, подпорных стенок, рекламных стоек.
- Восстановление труб для повторного применения:
  - очистка от наружной изоляции труб б/у диаметром
  - внутренняя очистка труб б/у диаметром
  - механическая торцовка концов труб диаметром
  - ремонт коррозионных дефектов.
- Освидетельствование труб с проведением гидроиспытаний давлением до 100 атмосфер в собственной аттестованной лаборатории. Лаборатория оснащена современным оборудованием отечественного и импортного производства.

**Таблица 3. Результаты лабораторных и стендовых испытаний образцов из чистых композитов в различных агрессивных средах**

Агрессивная среда	Композитные материалы					
	стеклопластик (кольца)		базальтопластик		углепластик (кольца)	
	Время испытания, сут.	Изменение массы, %	Время испытания, сут.	Изменение массы, %	Время испытания, сут.	Изменение массы, %
Морская вода Каспийского моря	300	+0,15	300	+0,20	300	+0,001
Нефть: • легкая (840 кг/м <sup>3</sup> ) • тяжелая (950 кг/м <sup>3</sup> )	300	+0,01	300	+0,01	300	+0,002
	300	+0,01	300	+0,01	300	+0,002
Пластовая вода хлоркальциевого типа с минерализацией, г/л • 122 • 56	322	+0,02	322	+0,10	322	+0,002
	250	+0,01	250	+0,08	250	+0,003
Пластовая вода гидрокарбонатно-натриевого типа с минерализацией 25–32 г/л	300	+0,02	300	+0,10	300	+0,002
	250	+0,01	250	+0,08	250	+0,001
Пластовая вода хлоркальциевого типа с минерализацией, 132 г/л, содержащая 800 мг/л H <sub>2</sub> S	280	+0,13	280	+0,25	280	+0,010
	320	+0,14	320	+0,27	320	+0,015
Пластовая вода гидрокарбонатно-натриевого типа с минерализацией 32 г/л, содержащая 800 мг/л H <sub>2</sub> S	280	+0,14	280	+0,26	280	+0,07
	200	+0,10	200	+0,23	200	+0,09
Смесь легкой нефти и пластовой воды хлоркальциевого типа 1:1	200	+0,01	200	+0,01	200	+0,001
	250	+0,02	250	+0,02	250	+0,001
Смесь тяжелой нефти и пластовой воды гидрокарбонатно-натриевого типа 1:1	200	+0,01	200	+0,15	200	+0,002
	240	+0,02	240	+0,14	240	+0,003
Нефтепромысловая сточная вода с минерализацией 40 г/л	280	+0,15	280	+0,25	280	+0,010
	280	+0,16	280	+0,31	280	+0,015

материалов к коррозионному разрушению в зоне периодического смачивания наружную поверхность шести десятиметровых свай диаметром 426 мм облицевали композитами. Затем эти сваи путем забивки уста-

новили в северной части эстакады, где производились ремонтные работы. До забивки каждой сваи провели диагностические исследования. Исследования показали, что на поверхности композитных мате-

риалов не произошло ни отслоения, ни повреждения, ни охрупчивания, геометрические изменения также не наблюдались. Для продолжения испытаний на морских нефтепромысловых гидротехнических сооруже-

**Таблица 4. Сравнительные результаты испытаний стандартных стальных и композитных профилей**

Материалы	Сопротивление растяжению, кг/см <sup>2</sup>	Площадь сечения, F, см <sup>2</sup>	Момент инерции, I, см <sup>4</sup>	Момент изгиба, w, см <sup>3</sup>	Вес 1 м, P, кг
Квадратный профиль Композит 38,1x38,1x6,35 Сталь Ст-2040x40x3,4 Композит 50,8x50,8x6,35 Сталь Ст-2050x50x4,4	4400	8.00	14.15	7.38	1.52
	4200	5.00	14.50	7.25	5.69
	4400	11.23	37.88	14.90	2.14
	4200	8.00	36.70	14.70	6.30
Угольник Композит L50,8x50,8x6,35 Сталь Ст-20 L56x56x4 Композит L76,2x76,2x12,7 Сталь Ст-20 L90x90x7 Композит L152,4x152,4x12,7 Сталь Ст-20 L160x160x10	4400	5.94	14.14	3.93	1.13
	4200	4.38	13.10	3.21	3.44
	4400	17.70	95.70	17.40	3.36
	4200	12.30	94.30	14.45	9.46
	4400	36.90	806.65	73.00	7.00
	4200	31.40	774.24	66.19	24.70
Швеллер Композит 203x56x95 Сталь Ст-20 18а	4400	28.13	1488.00	146.50	5.35
	4200	22.20	1190.00	132.00	17.40
Двухтавр Композит 203x102x12,7 Сталь Ст-20 22а	4400	48.45	2939.40	289.20	9.20
	4200	32.80	2790.00	254.00	25.80

Примечание: данные, приведенные в таблице, могут изменяться в случае применения различных компонентов смол и наполнителей.

ях, в т.ч. на нефтяных платформах, причальных площадках, лестницах, настилах и др., стальные конструкции были заменены на композитные профили, изготовленные в заводских условиях. Девятимесячные визуальные наблюдения и диагностические исследования показали, что в композитных элементах коррозионное разрушение, отслоение, трещины и другие физико-химические изменения не наблюдались. Внедрение композитных профилей, швеллеров, угольников, двухтавров и квадратных профилей в условиях морских нефтепромысловых гидротехнических сооружениях, в т.ч. на платформах, эстакадах и других объектах, продолжается. Таким образом, установлено, что композитные материалы упроч-

няют и восстанавливают несущую способность и герметичность металлических конструкций морских нефтепромысловых гидротехнических сооружений, а также формируют защитное покрытие на их поверхности. Изготовленные из композитного материала трубы, швеллеры, угольники, квадратные профили, двухтавры вполне могут заменить металлические в коррозионно-агрессивных средах. Композиты не электропроводны, не требуют электрохимзащиты от воздействия блуждающих токов, обладают высокой коррозионной стойкостью и инертностью практически к любым агрессивным средам. Они совместимы с любыми конструкционными материалами, такими как металлы, пластики, древесина, бетон и др., обладают высокой адгезионной

способностью, что позволяет восстанавливать механические повреждения из-за наружной коррозии – трещины, вмятины, дефекты сварных швов элементов, находящихся в эксплуатируемых нефтепромысловых объектах, платформах, эстакадах и причальных сооружениях.

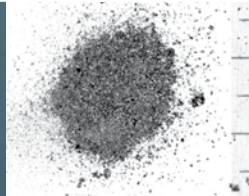
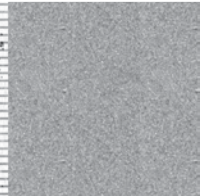

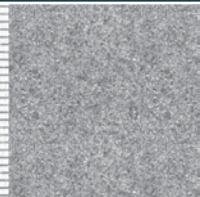
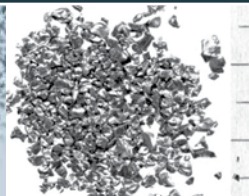
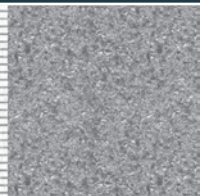
Вес композитных материалов в 4 раза легче стальных, что позволяет быстро и легко проводить многократный монтаж и демонтаж конструкционных элементов, не применяя в ходе работ тяжелые механизмы и специализированное оборудование. Температурный режим работы с композитными материалами возможен в пределах от  $-50$  до  $+70$  °С. Срок службы в зависимости от условий эксплуатации составляет от 40 до 50 лет.

#### Литература:

1. Барашков Н.Н. Полимерные композиты: получение, свойства, применение. – М.: Наука, 1984.
2. Кацнельсон М.Ю. и др. Пластические массы. – Л., 1978. – С. 142, 153.
3. Композитный мир. Авиация и космос. ЗАО «Препреч-СКМ».
4. Полиэфирные смолы: <http://www.poliyrus.by/poliester.htm>.
5. Azkompozit. Məhsul kataloqu.
6. Porcher composites selector guide Confidence Makes the Difference.
7. Рускомполит: [www.steklonit.com](http://www.steklonit.com).

# АБРАЗИВ ДЛЯ ПЕСКОСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ



Фракционный состав	Шероховатость по компаратору
	
0,125–0,63	Сектор 2
	
0,2–1,6	Сектор между 2 и 3
	
0,5–2,5	Сектор 3



Тел./факс:  
(34397) 6-21-86

[sele1@abraziv.info](mailto:sele1@abraziv.info)  
[www.abraziv.info](http://www.abraziv.info)