




# ТОЛЩИНОМЕТРИЯ МОРСКИХ ПОКРЫТИЙ:

ДЬЯВОЛ КРОЕТСЯ  
В ДЕТАЛЯХ



**В БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ КЛЮЧЕВЫМ ФАКТОРОМ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОКРЫТИЯ, ЯВЛЯЕТСЯ ТОЛЩИНА ЕГО СУХОЙ ПЛЕНКИ. НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАННОГО ПАРАМЕТРА ПРИМЕНЯЕТСЯ МНОЖЕСТВО РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ. В ЧЕМ ИХ ОТЛИЧИЯ, СПОСОБНЫ ОБЪЯСНИТЬ ТОЛЬКО ЭКСПЕРТЫ В ОБЛАСТИ ТОЛЩИНОМЕТРИИ.**

**МАЙК ГАРСИД**

По материалам журнала **Protective Coatings Europe**

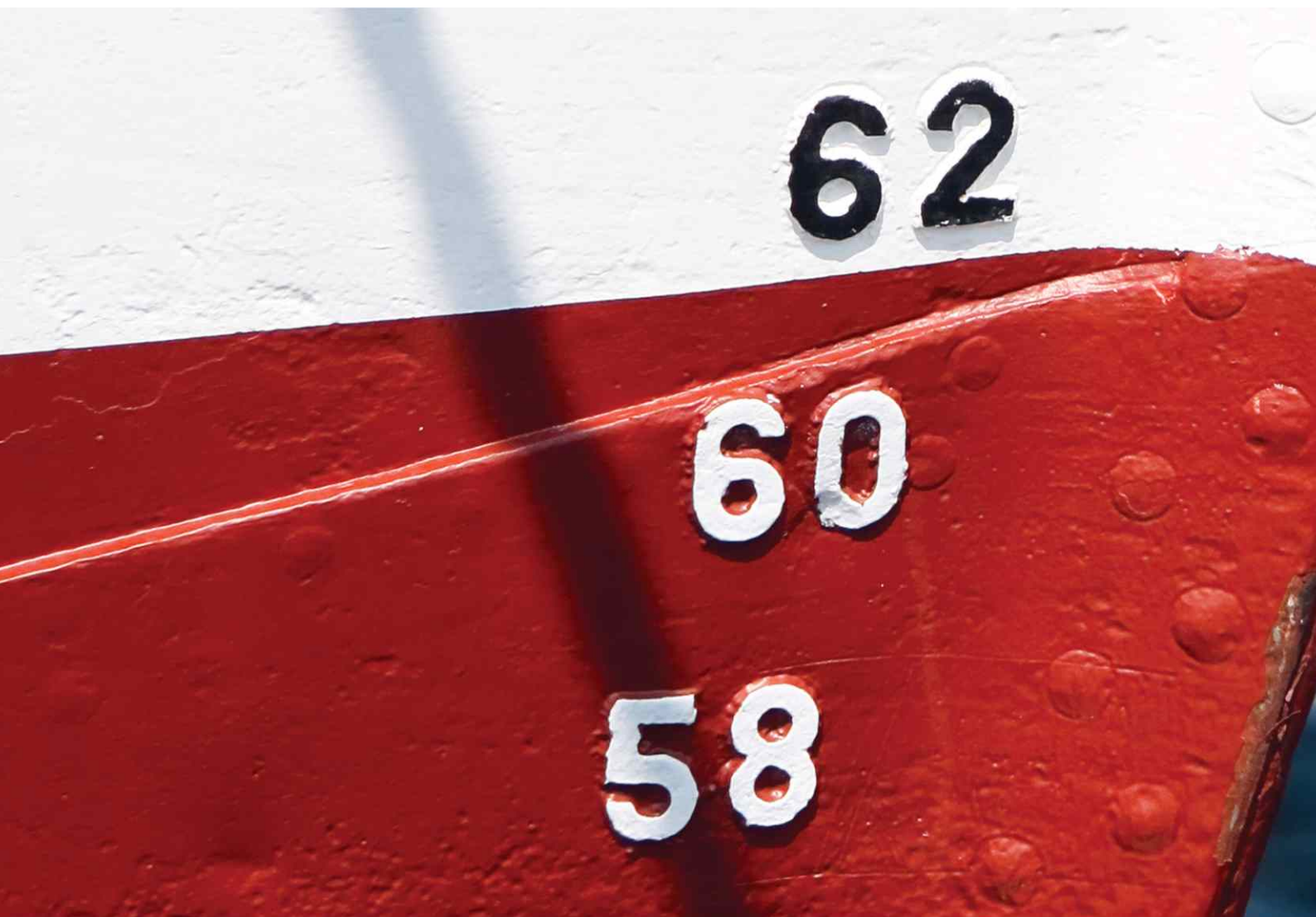
**В** ноябре круизный лайнер причалил в британский город Саутгемптон. Перечень требований включал замену покрытий на балластной цистерне и на корпусе судна, а условия были весьма далеки от воображаемого производителями лакокрасочных материалов (ЛКМ) идеала. Из-за цейтнота и давления со стороны инженеров, требовавших немедленного возвращения судна на маршрут специалисты по окраске были вынуждены ускорить проведение работ, а инспектора – пойти им навстречу. Как выяснилось, качество восстановительных операций в дальнейшем оказало основное воздействие на стойкость нанесенных покрытий.

Один из важнейших контрольных этапов – измерение толщины сухой пленки. Данный процесс, так же как и способ очистки поверхности, во многом определяет стойкость покрытия. Разработчики спецификаций, специалисты в области нанесения ЛКМ и инспекторы в той или иной степени вынуждены соприкасаться с толщинометрией. Однако метод, использованный для измерений, имеет повышенную значимость, поэтому делать свой

выбор стоит, основываясь на знаниях всех нюансов.

Балластная цистерна площадью в 300 000 м<sup>2</sup> после окраски должна быть обследована специалистом по неразрушающему контролю. Различия в технологиях толщинометрии обуславливают серьезные различия во времени, стоимости работ, а также степени антикоррозионной защиты. Инспектирование – это комплексный процесс: время, затраченное проверяющим на определение качества покрытия на цистерне указанной площади, может, согласно общепринятым стандартам, занимать от 8 до 83 ч.

Измерение толщины сухой пленки считается процедурой настолько важной, что она прописывается в техническом паспорте на морские покрытия. Согласно Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС), данные требования распространяются на любые суда, длина которых превышает 150 м. Техническая документация содержит спецификации ЛКМ, применяемых для защиты балластных цистерн, которые подвержены воздействию морской воды,



записи хода окрасочных работ и детальные указания по нанесению, инспекции, использованию и восстановлению покрытий.

В международной практике принято придерживаться нескольких стандартов: сборника резолюций Международной морской организации (IMO), стандартов ISO, регламентов Общества специалистов по защитным покрытиям (SSPC). Каждый из них преследует сходные цели, но, как известно, дьявол кроется в деталях. В стандартах по толщиномерии содержатся разнородные предписания, которые отличаются своими сильными и слабыми сторонами. Понимание этого позволяет ощутить разницу между правильным и провальным инспектированием. Однако приоритетная задача – установить, какая из окрасочных систем способна показывать наилучшие результаты, отличаясь при этом простотой в нанесении.

#### Ключевые измерения

Роб Френсис, специалист в области защитных ЛКМ с более чем 35-летним стажем, недавно обнаружил данные проведенного им анализа текущего состояния международных стандартов, регулирующих отрасль морских покрытий. Его

доклад начинается со слов: «Измерение толщины сухой пленки – одно из наиболее важных контрольных мероприятий, проводимых в процессе проверки качества покрытий или степени антикоррозионной стойкости, тем более что большинство спецификаций на базовые защитные ЛКМ обязательно должны включать результаты подобных замеров». Резолюция IMO № MCS 215 (88) «Стандарт производительности защитных покрытий» подчеркивает необходимость работ по измерению толщины сухой пленки для достижения желаемой стойкости и защитной эффективности морских покрытий. Данный документ наряду со стандартами по толщиномерии (от европейского ISO до североамериканского SSPC) обеспечивает составителей спецификаций, специалистов по окраске и инспекторов информацией по технологиям измерения, в соответствии с показаниями приборов, планами по проверке и другими значимыми аспектами данной процедуры.

Толщина покрытия должна быть определена и задокументирована, чтобы в дальнейшем была возможность обосновать эффективность использованных ЛКМ. Как правило, международные стандарты устанавливают минимальную толщину

пленки, и только в особых случаях могут указываться максимально допустимые значения толщин.

#### Контрольно-измерительные приборы

На сегодняшний день специалист по проверке покрытий не выйдет из дома без электронного толщиномера – карманного прибора, который до неузнаваемости изменился по сравнению с устаревшими моделями оборудования. Современные толщиномеры за считанные секунды измеряют толщину покрытия с погрешностью в 2–3 микрона. Практически 60 лет назад был применен первый механический толщиномер, работающий на постоянных магнитах.

Благодаря непрекращающемуся технологическому прогрессу приборы полностью вытеснили визуальную инспекцию.

По словам Роба Френсиса, у производителей появилось немало требований к доступным в настоящее время моделям:

- выполнение более 60 измерений в минуту;
- погрешность не должна превышать 3%;
- возможность измерять среднюю толщину, делать определенное количество замеров, отслеживать отклонение от стандартов, устанавливать



Рис. 1. Принцип действия современного толщиномера



**НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ СПЕЦИАЛИСТ ПО ПРОВЕРКЕ ПОКРЫТИЙ НЕ ВЫЙДЕТ ИЗ ДОМА БЕЗ ЭЛЕКТРОННОГО ТОЛЩИНОМЕРА – КАРМАННОГО ПРИБОРА, КОТОРЫЙ ДО НЕУЗНАВАЕМОСТИ ИЗМЕНИЛСЯ ПО СРАВНЕНИЮ С УСТАРЕВШИМИ МОДЕЛЯМИ ОБОРУДОВАНИЯ.**

коэффициент изменений между минимальными и максимальными показателями;

- проведение калибровки на основе одной-двух точек на гладких, шероховатых и специальных поверхностях;
- способность к предварительно заданной калибровке в режиме, регулируемом ISO, SSPC и другими стандартами;
- хранение в памяти более 40 000 измерений, сделанных в 999 точках.

Основы современного подхода к измерению толщин, по мнению Френсиса, заключаются в следующем: «Измерительный прибор, действующий по принципу электромагнитной индукции,

наделен двумя маленькими кольцами на специальном датчике. Низкое напряжение переменного тока подается на одно кольцо, которое, в свою очередь, воздействует на второе. Как показывает практический опыт, величина напряжения зависит от расстояния датчика от металлической подложки. Она увеличивается и проявляется в зависимости от участка определяемой толщины» (рис. 1).

Как ни странно, ключевые стандарты и процедуры, которые до сих пор применяются в толщинометрии, были разработаны еще во времена первых моделей оборудования. В настоящее время существует несколько спосо-

бов для регулировки приборов, известны различные методы для инспектирования и подходы к обработке результатов. При этом каждый из общепринятых стандартов предлагает свои решения для данных задач.

**Три стандарта**

Основные стандарты, используемые при измерении толщины сухой пленки:

- US SSOC-PA 2 «Измерение толщины сухой пленки покрытия магнитным толщиномером»;
- ISO 19840 «Краски и лаки. Антикоррозионная защита металлоконструкций защитными системами покрытий, измерение и технические условия, толщина сухой пленки на шероховатой поверхности»;
- и несмотря на то что это не стандарт в общепринятом виде, резолюция IMO по производительности защитных покрытий (PSPC), которая позволяет определять качество покрытий для судов, в особенности для балластных цистерн.

К сожалению, терминология, применяемая в различных документах, заметно отличается. Даже простое понятие «точечный контакт» имеет вариации.

**Ежедневная калибровка**

Инспектору, как правило, приходится обновлять настройки прибора перед началом работ. Для этого применяются специальные устройства, позволяющие узнавать толщину, чтобы варьировать верхние и нижние значения после первого правильного «ноля», установленного на очищенном металле. Однако Роб Френсис обращает внимание на то, что требования от стандарта к стандарту значительно разнятся. «Точечный контакт», согласно SSPC, предполагает три замера в круге диаметром 40 мм, а ISO указывает только на один замер для такого же участка. IMO ссылается на SSPC, который также устанавливает три замера, при этом на практике допускается делать по одному. Корректная установка толщиномеров подробно расписана в ISO-стандартах, тогда как SSPC только указывает на следование «инструкциям производителей».

Со слов Роба Френсиса: «Предписание делать по три замера, согласно SSPC, осталось со времен устаревшего оборудования, базировавшегося на постоянных магнитах, когда сила тяжести могла негативно сказываться на точности проведенных измерений. С новейшими электронными приборами требуется только один подход, поэтому данное указание можно считать необязательным к исполнению. Более того, оно подразумевает то, что необходимое количество измерений (от одного до трех), которое инспектор способен провести в обозначенные сроки, может быть получено при использовании методик, обозначенных в других стандартах, где все показания имеют такую же значимость».

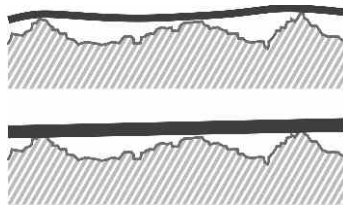
**Измерения на магнитной основе**

Следующий шаг после калибровки обычно требуется для определения измерений на магнитной основе. ISO 19840 предполагает 10 замеров толщины сухой пленки, сделанных на очищенной поверхности и усредненных для того, чтобы получить измерения на магнитной основе. Данные показатели отнимают от измерений толщины сухой пленки, в результате чего возможно установить реальную толщину сухой пленки покрытия. Кроме простой ссылки на «инструкции производителей» регламент SSPC (также отправляющий к резолюции IMO) позволяет проводить контрольно-измерительные работы с помощью тонкой прокладки. Она помещается поверх очищенной поверхности, что дает возможность настраивать прибор так, чтобы он показывал толщину только самой прокладки. В целом, несмотря на кажущуюся привлекательность, данный метод имеет свои слабые стороны, которые обусловлены ложными показаниями толщины из-за искажения прокладки, изогнутой между верхушками профиля поверхности, и невозможности получения аналогичных показаний от других «намеченных точек» (рис. 2). Данный метод также не подходит для работы с более чем одним покрытием, вследствие толщины нанесенного слоя ЛКМ и необходимости настройки толщиномеров под определенный профиль.

По словам Роба Френсиса, несмотря на то что данная методика все еще числится в программе

Рисунок 2.

**Схематичное изображение прокладки на поверхности**  
Первый шаг: измерения проведены  
Проблемы: прокладка повреждается или деформируется



по контролю за покрытиями NACE, по сути она представляет собой ошибку, присутствующую в системе как минимум с 1984 года. Тогда как метод, предусмотренный ISO 19840, позволяет избежать подобных погрешностей, что делает его приоритетным для инспекторов и составителей спецификаций.



## В ТЕОРИИ ИНСПЕКТОРУ СЛЕДУЕТ ПРОКОНТРОЛИРОВАТЬ ПОЛНОТУ ОКРАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ И ОТМЕТИТЬ ВОЗМОЖНЫЕ УЧАСТКИ, ТРЕБУЮЩИЕ ПОВТОРНОЙ ОБРАБОТКИ. ВПОСЛЕДСТВИИ ОН ДОЛЖЕН «УСИЛИТЬ» ДАННЫЕ ОБЛАСТИ И ПРОДОЛЖИТЬ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ.

**Работа с минимальными толщинами**

С тех пор как толщинометрия стала полноценной частью лакокрасочной индустрии, в спецификации на покрытия стали вноситься минимальные толщины сухой пленки. «Чтобы отвечать данным требованиям, – дополняет Френсис, – в теории инспектору следует проконтролировать полноту окрашивания поверхности и отметить возможные участки, требующие повторной обработки. Впоследствии он должен «усилить» данные области и продолжить контрольно-измерительные процедуры до тех пор, пока все показания не превысят указанный минимум для толщины сухой пленки. На практике же это оказывается слабо реалистичным». Причин тому несколько:

- Данный подход не объясняет того, как сильно могут выходить измерения за рамки спецификации. К примеру, толщины, которые на 50 мкм меньше требуемого уровня, учитываются чаще, нежели толщины, отличающиеся на 5 мкм от заданных параметров.
- Большие площади меньших толщин фиксируются чаще, нежели малые площади.
- Как близко друг к другу должны быть показания, чтобы свидетельствовать обо всей покрытой площади? Должны ли они совпадать на каждом сантиметре, на каждой 0,01 квадратного метра, на каждой 0,1 квадратного метра?
- Может ли время, затраченное на измерения больших участков, превышать лимит, установленный для повторного нанесения покрытия?

Повлечет ли данный процесс обязательную задержку сдачи проекта?

Безусловно, в стандартах учитывается количество измерений, которое должно понадобиться для конкретного участка, так же как и процент, разрешенный для превышения указанного минимума. Тем не менее в каждом из документов встречаются разночтения.

**Контрольные участки**

Процедура для отбора контрольных участков и определения количества измерений в первую очередь зависит от используемых стандартов.

Согласно SSPC, контрольные участки устанавливаются площадью в 10 квадратных метров. На каждом из них выставляются пять отдельных точек для последующего проведения замеров. Для объектов, превышающих по своей площади 100 квадратных метров, определяется всего три

контрольных участка, дополнительно – по одному участку на каждые последующие 100 метров. Среднее арифметическое из полученных показаний для каждого контрольного участка должно превышать установленный минимум для толщины покрытия.

Стандарт ISO 19840 содержит более цельные рекомендации относительно контрольных участков и количества требуемых замеров. Так, предполагается выполнять около двух измерений на каждый участок, при этом для труб и балок предъявляются специальные требования. Кроме того, в документе указывается на то, что не должно быть показаний, толщина которых ниже 80% от установленного минимума, тогда как для всех дополнительных замеров – не ниже 20% (правило 80/20).

PSPC предписывает выполнять по одному измерению на каждые пять квадратных метров для участков плоских поверхностей, независимо от общей площади объекта. Однако поскольку данный регламент был разработан для балластных цистерн и сухогрузов с двойной обшивкой, маловероятно, что данные требования будут исполняться повсеместно. Они подразумевают отсутствие точечных измерений ниже 90% от установленного показателя для толщины сухой пленки, и не более 10% от всех измерений, которые могут быть ниже минимума толщины сухой пленки (правило 90/10).

В связи с этим количество обязательных измерений для балластной цистерны площадью

в 300 000 квадратных метров в большей степени будет зависеть от использованного стандарта. Согласно SSPC, потребуется 15 000 точек, при этом каждая из них должна будет иметь по три результата измерений, в итоге может получиться около 45 тысяч показателей. При норме – одно измерение в секунду, процесс может растянуться на 12 человеко-часов. Согласно ISO, придется сделать 30 000 измерений, но только по одному показанию для каждой точки, т. е. 8 человеко-часов. PSPC, предполагающий по одному замеру на каждый квадратный метр, может обязать сделать 300 000 показаний, т. е. 83 человеко-часа.

**Меньше может означать больше**

Роб Френсис доступно объясняет различия при применении стандартов на практике: «Некоторые идеи проблематично выполнимы, и их

Многие производители окрасочных работ, должны быть готовы к существенным различиям в показателях на неровных поверхностях. Тем не менее окраска корпуса судна должна проходить относительно просто, так как покрытие наносится на большой плоский участок, вследствие чего не должно быть явного разброса в результатах толщин покрытия. Кроме того, стоит помнить, что пятислойная система ЛКМ будет менее однородной, нежели двухслойное или трехслойное антикоррозионное покрытие».

Вероятнее всего, несхожесть результатов при измерении толщины сухой пленки на практике будет очевиднее, нежели способны представить себе составители стандартов. Тем не менее специалисты, привыкшие к очень жестким требованиям для допуска объектов, навряд ли смогут допустить большую разницу в толщинах нанесенного покрытия. Даже если большинство

небольшого количества измерений достаточно точно определяет вариацию значений толщин покрытия. Более важны (при условии соответствия измерений сухой пленки на плоской поверхности спецификации) участки, на которые проблематично наносить покрытия: края и сварные швы. Роб Френсис заключает: «План, предполагающий тысячу измерений толщин сухой пленки, не способен гарантировать того, что окрасочная система проявит желаемую стойкость. По факту владельцы судов могут быть удовлетворены кажущейся гарантией качества, веря, что столь тщательная инспекция, предполагающая использование последних моделей компьютеризированного оборудования, сумеет обследовать все окрашенные области. Однако фактически «опасные» зоны не могут быть проинспектированы, по крайней мере, на предмет толщины сухой пленки».



приемлемость может быть установлена только на основе опыта и знаний. К примеру, можно рассмотреть многослойную систему ЛКМ для подводной части корпуса. Измерения толщины сухой пленки были сделаны после замены покрытия на подводной части корпуса двух авианосцев. Оба из них были покрыты двумя слоями антикоррозионных ЛКМ и тремя слоями антифоулинга, общая толщина сухой пленки в итоге составила 0,675 мм. В результате пришлось сделать более двух тысяч замеров для каждого корпуса».

«Анализ полученных данных выявил большой разброс среди измерений толщины сухой пленки, чего вполне можно ожидать от «реальности».

опытных работников будут окрашивать большие плоские поверхности с применением легко наносимых составов, проблемы с однородностью толщины пленки все равно будут возникать. У менее опытных громоздкие формы и труднонаносимые ЛКМ будут вызывать больше сложностей, как следствие, толщины готового покрытия будут варьироваться сильнее».

**Необязательная работа?**

Анализируя примеры из мировой практики, Роб Френсис отмечает, что существенные колебания показателей, закладываемые всеми тремя системами стандартизации, во многом «убийственны». Построение схемы из относительно

Стоит признать, что PSPC не опирается только на измерение толщины сухой пленки покрытия для того, чтобы подтвердить или опровергнуть его стойкость, а такие факторы, как отбор качественных систем, шлифование краев, высокие стандарты подготовки поверхности, являются обязательными составляющими новых требований IMO. Результатом подобных инициатив должно стать заметное улучшение стойкости покрытий. При этом напрашивается простой вывод: большое количество измерений, которое приводит к значительным затратам и усилиям, вовсе не обеспечивает долговечность покрытия, по крайней мере, в настоящем. ■