



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ СУДОВ

В. А. ТРОИЦКИЙ

*Своевременное обнаружение в металлоконструкциях морских кораблей опасных усталостных трещин и серьезных коррозионных поражений позволяет предотвратить катастрофы на море, большие финансовые и экологические потери. Решению этой проблемы посвящен один из проектов ЕС, в выполнении которого принимает участие Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины и Украинское общество НКТД.*

*Timely detection of hazardous fatigue cracks and serious corrosion damage in sea ship metal structures enables prevention of sea accidents, great financial losses and ecological disasters. One of EU projects with the participation of the E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine and Ukrainian Society for NDTT, is aimed at solution of this problem.*

Выполнение в последние десятилетия международных инновационных проектов привело к появлению большого количества специализированных судов различных типов (танкеров, сухогрузов, строительных платформ и т. п.) и соответственно возросло количество морских аварий. Морские катастрофы, связанные с разрушением нефтяных танкеров, потребовали разработки нового европейского проекта (7-я Рамочная Программа ЕС) «Ship-Inspector» (полное название проекта: «Определение критически опасных трещин и коррозий кораблей с применением новых сенсоров»).

Данная тема является развитием предыдущего проекта, который был в 6-й Рамочной Программе ЕС по низкочастотному УЗК, имевшего название LRUT. В новом проекте на период 2009–2012 гг. кроме идей по низкочастотному УЗК предполагается использовать технические средства для определения зон усталости и предразрушений, различные новые сенсоры, в том числе фазированные решетки. При этом количество исполнителей существенно сокращено, а возможных НК-технологий — расширено.

Структурные, усталостные разрушения — главная причина повреждений кораблей, загрязнения морей, прибрежных вод. Так, в 2004 г. общее количество транспортируемых по морю нефтепродуктов достигло 2 млрд т/год (чем было занято более 40 % всего морского транспорта). ЕС насчитывает 27 % мирового морского транспорта. Почти 90 % европейской нефти перевозят по морю. Во всем мире потребляется свыше 2,5 млрд т нефти, при этом приблизительно 3 млн т каждый год исчезают в результате разрушений танкеров. Крушения нефтяных танкеров составляют 12 % всех морских аварий. В результате крушения кораблей каждый год умирает около 1000 чел.

В Европе много верфей по производству судов различного назначения, поскольку морская про-

мышленность является рентабельным источником европейской экономики, где занято около 2 млн людей, которые работают как в кораблестроении, так и эксплуатации кораблей. На Европу приходится 38,5 % мирового флота, который обеспечивает 90 % оборота внешней торговли и 40 % внутренней торговли этой части света.

Назорные органы должны способствовать тому, чтобы владельцы кораблей применяли новые технологии НК своих судов. Поэтому в выполнении проекта Ship-Inspector принимают участие три крупные международные надзорные организации по сертификации: American Bureau of Shipping, Lloyds Register, Class NK.

Целью проекта является развитие новых технологий НК и систем для обнаружения дефектов и коррозий в критических зонах конструкций кораблей без перемещения их в сухой док. Проект «Ship-Inspector» поможет операторам, обществам и агентствам по диагностированию более эффективно предупреждать этот риск. Исполнители проекта «Ship-Inspector» будут разрабатывать, пропагандировать технологии и связанное с ними обучение персонала малых и средних предприятий (МСП), представленных обществами по НК, одним из которых является Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики. В мире около 12000 МСП, которые проводят мониторинг состояния морских сооружений и кораблей. Новые виды технологий, которые будут разработаны в процессе выполнения проекта «Ship-Inspector», сократят риск, которому подвергаются сейчас инспекторы, работающие на кораблях. Выполнение этого проекта поможет сократить травматизм среди рабочих, занятых ремонтом и контролем морских судов.

Участниками проекта являются: TWI (Англия), DGZfP (Германия), USNDT (Украина), BNDTS (Болгария), AIPND (Италия), SMART Group (Ан-

глия), I&T Nardoni (Италия), HSNT (Греция), Isotest (Италия), Tecnitest (Испания), Zenon (Греция), Cereteth (Греция), HSE (Англия), American Bureau of Shipping — Europe (Англия), Lloyds Register EMEA (Англия), Class NK (Англия). Таким образом, выполнением этого проекта заняты 16 организаций из 10 стран Европы.

Консорциум «Ship-Inspector» будет разрабатывать новые технологии и внедрять связанные с ними системы обучения среди МСП, представленных обществами по НК — участниками проекта. Известно, что в последние годы благодаря развитию цифровых методов обработки информации и достижениям в материаловедении появилось много принципиально новых возможностей в области дефектоскопии.

На основе последних достижений целями данного проекта являются разработки:

- правильного набора комплексных решений по НК и мониторингу;
- новых технологий УЗ испытаний;
- принципов построения мощных дефектоскопов для диагностики без сканирования больших площадей;
- систем управления сенсорами и распознавания информации;
- новых технологий для осуществления сухого контакта сенсора и объекта, основанных на макроволоконных композитах;
- методов применения продолжительного мониторинга состояний;
- сенсорных решеток, которые смогут расширить распознаваемость несплошностей, а также издание пособий по оборудованию и технологиям НК по применению и обучению операторов.

В этом перечне предлагаемых намерений под понятием «сенсор» имеются в виду акустические, электромагнитные и другие преобразователи.

Объективные данные для постановки данного проекта возникли в 2006 г., когда было выяснено, что каждый год свыше 400 кораблей тонут и многие из них — вследствие ослабления конструкций из-за коррозии, плохого качества сварки и плохого мониторинга их состояния. В данное время 89000 судов курсируют океанами и многие из них идут транзитом европейскими водами. Существует статистическая вероятность, что приблизительно один корабль из восьми затонет до истечения срока службы (30 лет) в связи с тем, что не было проведено надлежащего обслуживания и соответствующего мониторинга. Причем, это касается не только собственно металлоконструкций, но и силового оборудования на корабле.

Контроль корпуса корабля, в основном, проводится без перемещения его в сухой док. Часто корабли изготавливаются из секций, которые позже сваривают. Обычно большое судно или гражданский лайнер имеет порядка 120 опасных швов,

требующих детального регулярного циклического контроля, что определено такими Морскими регистрами, как Ллойд, ABS и NK. Все три надзорные организации являются участниками проекта «Ship-Inspector». По их мнению, большой корабль имеет порядка 600000 м<sup>2</sup> листовой стали разной толщины, которую периодически необходимо детально контролировать на наличие коррозии. Часто судно нужно доставить в сухой док для контроля швов обычно в средней части корпуса, где возможны трещины вследствие сильных динамических нагрузок. В этой же части корпуса располагаются и опасные зоны стресс-коррозионных поражений.

Существующие методы контроля таких швов на трещины и большие зоны коррозии имеют следующие недостатки:

- перед контролем необходимо разгрузить корабль и переместить его в сухие доки; нужна длительная просушка в течение двух недель. Каждый день простоя большого нефтяного танкера в доке стоит приблизительно до 50000 евро;
- тщательная очистка всей поверхности металла;
- сейчас проводится в основном визуальный контроль без записи результатов на жесткий носитель и соответствующей обработки информации;
- операторы вынуждены работать в плохих условиях;
- внутри отсеков могут быть токсические газы;
- работа в подвешенном на люльке положении или лесах (при контроле больших кораблей оператор взбирается на высоту до 100 м).

Задачей проекта является максимальное уменьшение роли описанных выше позиций риска для операторов НК.

На кораблестроительных заводах уровни опасности для персонала меньше. Особо высокая опасность для операторов в доках. Поэтому методики НК на судостроительных верфях также необходимо совершенствовать.

Контроль, проводимый на верфи и в доке, должен соответствовать правилам надзорных агентств. Особо ненадежен контроль, который выполняют водолазы. Они ищут обычно только коррозию днища или двойного дна топливных резервуаров. Пока при подводной дефектоскопии исследований на обнаружение усталостных и стресс-коррозионных трещин не проводят.

Большинство танкеров сегодня имеют двойной корпус и двойное дно. Это делает часть конструкций недоступной даже для водолазов с применением существующих методов ручного контроля. Конструкция кораблей с двойным дном приводит к развитию коррозии особого типа на внутренних поверхностях и дне.

Обычно каждую секцию корпуса корабля сва-



ривают в цеху, затем секции перемещают на сборку посредством одномодульной сварки. Здесь обычно выполняется выборочный НК только 10 % длины швов. Применяемый ручной контроль проводится очень медленно и ограничен в получаемой информации.

Предполагаемые технические решения включают разработки, выполненные в значительной степени по предыдущему проекту LRUT, посвященному применению управляемых УЗ волн в диапазоне 10 м и более (дальнодействующий УЗ контроль). До сих пор эта технология применялась преимущественно на трубах различного назначения. Дальнейшие исследования инновационного характера будут способствовать развитию этих технологий и с их помощью появится возможность решать трудные задачи диагностики крупных инженерных сооружений, таких как корпуса кораблей. Надо разработать новые технологии для больших плоскостей, в том числе используя УЗ линейные фазированные решетки (ЛФР). Решить эту проблему важно не только для кораблей, но и днищ нефтяных резервуаров.

Преимущество предлагаемой для внедрения технологии УЗ-линейной решетки заключается в том, что она распространяет низкочастотные колебания на всю область контроля и конструкции с одной точки. Эту технологию можно применять для осмотра недоступных частей конструкции. Это будет первая в мире технология контроля двойного корпуса кораблей без их установки в сухой док. Расположение потенциально дефектных областей будет точно рассчитываться, исходя из расстояния от УЗ преобразователей.

В настоящее время в мировой практике НК протяженных объектов применяют упрощенные решетки с пьезоэлектрическими или ЭМА-сенсорами. Ультразвук вдоль объекта передается на десятки метров и дефекты (преимущественно коррозионные) отражают его обратно на решетку. По времени пробега ультразвука определяют местонахождение дефекта в трубе. При наличии отраженного сигнала от дефекта это место детально обследуется другими стандартными технологиями контроля. Технология дальнодействующего УЗ контроля применяется для нефте- и газопроводов, пищевых трубопроводов, канатов, стояков, рельсовых путей, труб теплообменников, свай и столбов. До сих пор не было проведено ни одного исследования по осмотру таким образом плоских элементов корпуса кораблей. В данном проекте консорциум предлагает разработать инновационный метод технологии ЛФР для дальнодействующего контроля. Метод ЛФР также применим для контроля криволинейной поверхности корпуса корабля.

Новые технологии позволят контролировать корпус корабля как выше, так и ниже ватерлинии;

значительно увеличится диапазон разрешимых ситуаций, когда ультразвук существенно ослабляется слоем морских наслоений. Будут найдены решения распознавания между глубокими/узкими и широкими/мелкими дефектами, что пока не выполняется.

Специфическими целями проекта являются:

- изыскание принципов построения сенсоров и дефектоскопов, программного обеспечения, способных расширить диапазон диагностируемых плоскостных зон так, чтобы можно было контролировать с одной позиции зону до 400 м<sup>2</sup>;

- сейчас в дальнодействующем низкочастотном УЗ контроле труб используются три типа волн: сдвиговые горизонтальные, продольные и торсионные. Для контроля корпуса корабля видимо будут применяться только два типа волн: изгибные и продольные. Надлежащий выбор типов волн будет выполнен прежде всего по коэффициенту сигнал/шум отраженных сигналов;

- способность определять тип дефекта. Диапазон этих возможностей будет значительно увеличен за счет усовершенствования обработки сигнала;

- из-за сложной конфигурации корпуса больших размеров проблематичен контакт между преобразователями и поверхностью листа. Технология обработки сигналов, таких как вейвлет (малые волны), соответствующая фильтрация и расщепление спектра будут применены для восстановления слабых сигналов и улучшения коэффициента сигнал/шум;

- развитие методов фокусировки для распознавания мелких дефектов и глубоких узких дефектов;

- особым объектом являются двойные корпуса судов, которые будут контролироваться сенсорами, установленными постоянно. Такие системы мониторинга уже эксплуатируются для наблюдения за трубопроводами в энергетике.

Проблематичным является прикрепление сенсора. Когда пьезоэлектрические сенсоры, применяемые для проведения дальнодействующего УЗ контроля, прикрепляются всухую к поверхности, каждый элемент сенсора прижимают к трубе с нагрузкой 20 кг. Поскольку применяется большое количество элементов, такая нагрузка станет серьезным ограничением для применения этой технологии. Пока неясно, какое должно быть сопротивление прижиму, однако нужная нагрузка пока еще не исследована.

Должны быть найдены альтернативные приспособления для обеспечения контакта (присасывающиеся подушечки, магниты). В связи с этой проблемой пьезотехнологии возрастает роль ЭМА-техники [1].

Будут разработаны ЭМА-сенсоры с приспособлениями для контакта: ЭМА-технологии и реше-

ния на основе явлений магнитострикции должны быть также подробно изучены.

Оптимальное решение этих подходов позволит применять низкочастотную технологию в новых ситуациях, в частности, на конструкциях с плоской поверхностью.

Приобретенные новые знания должны обеспечить обучение, распространение и эксплуатацию усовершенствованной системы дальнедействующего УЗ контроля. В этом рабочем пакете результаты, полученные в ходе проекта, будут передаваться организациям, которые ответственны за обеспечение услуг по контролю кораблей; будут организованы местные семинары и конференции для внедрения разработок в промышленность, что собирается выполнять и УО НКТД. Отдел неразрушающих методов контроля качества сварных соединений Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины внедряет ЭМА-дефектоскопы и ЭМА-толщинометры для контроля сварных соединений и толщинометрии металлоконструкций без тщательной зачистки их поверхностей, для нахождения зон стресс-коррозионного растрескивания. В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины достигнуты определенные успехи [2, 5] по исследованию возможностей низкочастотного УЗК, которые будут использованы при выполнении проекта «Ship-Inspector».

Будут подготовлены руководства разных уров-

ней, чтобы обеспечить распространение новых технологий, их лучшее практическое применение [1, 6].

Общее руководство проектом «Ship-Inspector» будет выполняться Кембриджским институтом TWI (Англия). Он будет планировать, организовывать деятельность всего консорциума, собирать от исполнителей отчеты и пр. Реализация проекта «Ship-Inspector» будет способствовать развитию технологий НК ответственных металлоконструкций судостроения, сокращению катастроф на море.

1. *Неразрушающий контроль и диагностика* / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филимонов и др. — М.: Машиностроение, 1995. — 488 с.
2. *Троцкий В. А.* Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. — Киев: Феникс, 2006. — 320 с.
3. *Патон Б. Е., Троцкий В. А., Бондаренко А. И.* Метод низкочастотного УЗК протяженных объектов направленными волнами // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 2. — С. 20–31.
4. *Распространение нормальных волн в трубах, дисперсионные характеристики нормальных волн* / В. А. Троцкий, Г. Л. Комиссарова, В. П. Радько, Е. А. Давыдов // Там же. — 2008. — № 3. — С. 14–24.
5. *Троцкий В. А.* Альтернативные решения традиционным методам в неразрушающем контроле сварных соединений // Сб. докл. Шестой нац. конф. UkrNDT-2009. — Киев, 2009. — С. 22–32.
6. *Троцкий В. А.* Визуальный и измерительный контроль деталей машин, металлоконструкций, сварных соединений. — Киев, Феникс, 2009. — 275 с.

*Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,  
Киев*

*Поступила в редакцию  
14.09.2009*

### **Кайдалов А. А. Современные технологии очистки поверхностей конструкционных материалов.** — Киев: Изд-ние ун-та «Украина», 2009. — 540 с.

Изложены современные данные об основах физики и технологий очистки поверхностей конструкционных материалов с применением различных методов химической, механической и термической очистки. Описаны технические требования, принципы построения и характеристики современного отечественного и зарубежного оборудования для всех методов очистки. Даны сведения по охране труда и окружающей среды при наиболее распространенных методах очистки. Освещен опыт промышленного применения всех технологий очистки.

Рассмотрены требования к очистке поверхности материалов перед выполнением сварки и родственных процессов обработки, а также технологии очистки поверхностей основных конструкционных металлов и сварочной проволоки. Приведены сведения по стандартам в области очистки поверхностей конструкционных материалов.

Для научных и инженерно-технических работников, занятых в машиностроении, металлургии и других отраслях, связанных с изготовлением изделий, требующих очистки в процессе их производства и эксплуатации. Может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

