

УДК 620.179.143.5 : 629.5.015.4

ПРИМЕНЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ КОРПУСОВ

О. П. ЗАВАЛЬНЮК, В. Б. НЕСТЕРЕНКО

Херсонская государственная морская академия
Херсон, Украина

UDC 620.179.143.5 : 629.5.015.4

APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING IN MARINE TRANSPORT TECHNOLOGIES AT OPERATION OF SHIP'S HULLS

O. P. ZAVALNIUK, V. B. NESTERENKO

Аннотация

Авторами отмечена актуальность контроля механических напряжений, действующих в несущих судовых конструкциях в режиме реального времени. Рассмотрены существующие средства контроля прочности судна в процессе его эксплуатации. Обосновано, исходя из собственных экспериментальных разработок, применение современных магнитных методов неразрушающего контроля в морских транспортных технологиях.

Ключевые слова:

неразрушающий контроль, судовой корпус, техническое состояние, остаточный ресурс.

Abstract

The monitoring topicality of mechanical stresses acting in bearing ship structures in real time is noted by the authors. Existing means of ship's hull strength control during its operation are considered. Based on its own experimental developments, the use of modern magnetic methods of non-destructive testing in marine transport technologies is substantiated.

Key words:

non-destructive testing, ship's hull, technical condition, residual life.

Введение

Основной целью существующих требований к технической эксплуатации судовых корпусов является безопасность мореплавания и сохранность перевозимых грузов [1, 2], т. е. корпус судна, его элементы, а также закрытия отверстий необходимо содержать в состоянии, которое обеспечивало бы их прочность и непроницаемость. Судовые корпусные конструкции, к которым относят [1]: набор, обшивку, настилы судовых перекрытий, надстройки и др., представляют собой элементы, обеспечивающие прочность, устойчивость и непотопляемость судна. Таким образом, приоритетной обязанностью экипажа является ежедневное техническое обслу-

живание корпусных конструкций и своевременное устранение обнаруженных дефектов.

Актуальность исследований

Несмотря на выше сказанное, в мировом морском флоте достаточно часты аварии, связанные с потерей общей продольной и (или) местной прочности [3, 4]. За последние несколько лет среди наиболее тяжелых катастроф судов необходимо отметить: т/х «ВАСИЛИЙ» (2010 г.), т/х «MOL COMFORT» (2013 г.), т/х «STELLAR DAISY» (2017 г.), т/х «ГЕРОИ АРСЕНАЛА» (2017 г.). Одной из причин таких аварий является то, что в процессе эксплуатации судна отсутствовал контроль величины и распределения механических напряжений, действующих в несущих судовых конструкциях в режиме реального времени.

Анализ предыдущих исследований

В первую очередь, согласно Правилам Класса [2, 5] к средствам контроля прочности при эксплуатации судна относятся «Инструкция по загрузке и прибор контроля загрузки», с помощью которых можно определить, что изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде, а также скручивающие и поперечные нагрузки при любом состоянии загрузки судна не превышают допускаемых значений [6].

Инструкция по загрузке представляет собой одобренный Классом документ, содержащий [2]: «варианты загрузки; допускаемые значения изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде и, если требуется, ограничения, связанные со скручивающими и поперечными нагрузками; результаты расчетов изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде для вариантов загрузки; допускаемые местные нагрузки на отдельные конструкции (люковые крышки, палубы, двойное дно и т. п.)».

Прибор контроля загрузки [2] представляет собой одобренное Классом устройство аналогового или цифрового типа, позволяющее контролировать в заданных поперечных сечениях по длине судна изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде, а также, если требуется, крутящие моменты и поперечные нагрузки при любом состоянии загрузки судна. Согласно [2] прибор контроля загрузки представляет собой систему, основанную на применении компьютера, состоящую из программы расчета загрузки судна [7] и аппаратного обеспечения для ее реализации (компьютера). Программа должна обеспечивать расчет сил и моментов в корпусе судна в соответствии с требованиями части II «Корпус» [5].

Наряду с использованием «Инструкция по загрузке и прибора контроля загрузки судна» были попытки внедрить на суда и ряд других методов контроля прочности [8], основанных на различных физических принципах действия: тензометрический, оптический, магнитоупругий и т.п.

При тензометрическом методе контроля механических напряжений конструкций применялись тензорезисторы, действие которых основано на явлении тензоэффекта [8, 9]. В оптическом методе, как правило, применялись волоконно-оптические тензометры, которые по сравнению с провод-

никовыми тензорезисторами имели следующие преимущества [8, 10]: высокое быстродействие и чувствительность, невосприимчивость к коррозии и воздействию электромагнитных полей, устойчивость к радиопомехам, водонепроницаемость, небольшие размеры и малый вес.

Применяя магнитоупругий метод контроля, проводились измерения механических напряжений, которые возникали в судовых корпусных конструкциях, с помощью трансформаторных магнитоупругих преобразователей (МУП) [11]. Здесь чувствительным элементом являлся непосредственно участок корпуса судна. В процессе эксплуатации морского судна МУП включались в стационарную многоканальную систему контроля. Система выполняла автоматические измерения механических напряжений судового корпуса, а также сбор сигналов с датчиков, установленных непосредственно на корпусе навалочного судна.

Описанные выше методы контроля прочности корпуса, по ряду причин [8], не нашли широкого применения на морских судах.

Методы неразрушающего контроля (НК) в судоремонте стали применяться еще в 70-х годах прошлого столетия [12, 13], среди которых широко распространенными являлись: капиллярные, магнитопорошковые, вихре-токовые, ультразвуковые, рентгеновские и гаммаизотопные. Существенным недостатком указанных методов является невозможность их применения на судне без вывода его из эксплуатации. Такая дефектоскопия требовала особенной и тщательной подготовки контролируемых поверхностей, использования специальных материалов, определенной квалификации персонала. К тому же перечисленные методы НК обладали неодинаковой чувствительностью к выявляемым дефектам.

Целью настоящего исследования является обоснование применения современных методов неразрушающего контроля в морских транспортных технологиях в процессе эксплуатации судовых корпусов.

Результаты исследований. Анализ существующих методов НК [13, 14] показал, что для контроля судовых конструкций эффективными могут быть те методы НК, которые успешно используются на береговых объектах и надежно зарекомендовали себя. В то же время было установлено, что современные средства контроля механических напряжений ферромагнитных стальных конструкций очень часто базируются на магнитных методах НК [13]. Это связано с тем, что при воздействии на ферромагнетики больших растягивающих или сжимающих упругих напряжений могут существенно изменяться значения некоторых магнитных характеристик ферромагнитных материалов.

Исходя из этого, авторами были детально изучены теоретические основы магнитных методов НК, особенно коэрцитиметрического метода контроля и метода остаточной намагниченности [8]. В течение 7 лет, применяя данные методы, было исследовано 13 морских судов на тихой воде, в условиях волнения и в ходе грузовых и балластных операций, проведены экспериментальные измерения, разработаны методики контроля.



Так в ходе мониторинга технического состояния несущих элементов конструкции судна на них размещаются датчики, с помощью которых измеряется магнитная характеристика материала (коэрцитивная сила), значение которой используется для оценки технического состояния несущих элементов судна. В качестве датчиков магнитной характеристики применяются датчики коэрцитивной силы. При этом, предварительно измеряется значение коэрцитивной силы материала несущих элементов, расположенных вдоль судна. Далее определяется распределение коэрцитивной силы материала несущего элемента вдоль судна в условиях эксплуатационных нагрузок, по которому устанавливаются критические зоны с максимальным значением коэрцитивной силы. Теперь при проведении мониторинга датчики магнитной характеристики материала размещаются в этих, предварительно установленных критических зонах. В процессе мониторинга грузовых судов в качестве несущего элемента при установлении распределения коэрцитивной силы материала используются комингсы трюмов.

Критические зоны максимальных значений магнитной характеристики и зоны размещения датчиков могут определяться предварительно в процессе опытной эксплуатации судна в штормовых условиях. Кроме того, такие зоны заранее могут устанавливаться и в процессе проведения грузовых или балластных операций, либо в порожнем и загруженном состоянии судна.

На рис. 1 представлен график распределения коэрцитивной силы вдоль комингсов трюмов грузового судна от шпангоута №50 – в кормовой части до шпангоута № 210 – в носовой части (номера шпангоутов не указаны).

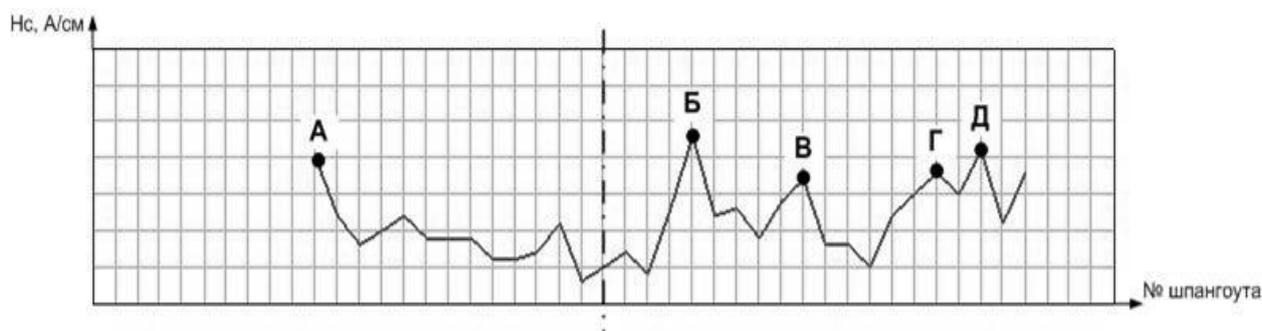


Рис. 1. График распределения коэрцитивной силы вдоль комингсов трюмов грузового судна: А, Б, В, Г, Д – критические зоны несущих судовых конструкций

Схема расположения датчиков коэрцитивной силы вдоль комингсов трюмов грузового судна изображена на рис. 2.

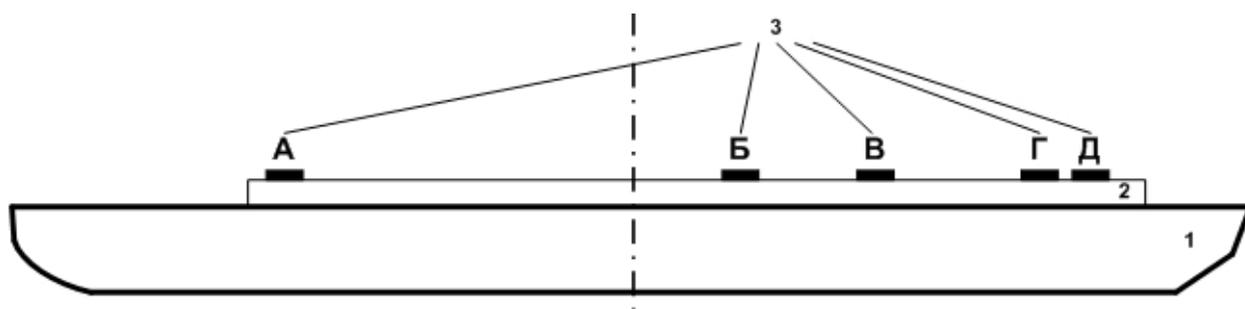


Рис. 2. Схема расположения датчиков коэрцитивной силы вдоль комингсов трюмов грузового судна: 1 – корпус судна; 2 – комингс трюмов; 3 – датчики коэрцитивной силы

Одним из методов, не требующим предварительного воздействия на металл корпуса судна каким-либо видом физического поля, является магнитометрический метод, позволяющий использовать магнитное поле Земли, в котором находится судно. Установлено, что величина остаточной намагниченности в определенной степени зависит от величины механических напряжений в металле. Контроль остаточной намагниченности корпуса судна, находящегося в эксплуатации, потребовал создания специального магнитоизмерительного комплекса [8]. Для измерения величины остаточной намагниченности на поверхности судна наиболее перспективными являются магнитомодуляционные преобразователи – феррозонды [13, 14].

Авторы для решения задач контроля технического состояния несущих элементов конструкции судна также имели опыт применения сравнительно нового метода диагностики оборудования и конструкций, основанный на использовании магнитной памяти металла с использованием, так называемого, измерителя концентрации напряжений.

Выводы

Таким образом, наиболее перспективными методами НК в морских транспортных технологиях, авторы считают магнитные методы.

В дальнейшем разработку и развитие данного направления необходимо проводить так, чтобы перейти от контроля величины механических напряжений к определению остаточного ресурса работы контролируемого объекта – корпуса судна. При этом результаты обследования корпусных конструкций не должны зависеть от квалификации специалиста, который проводит контроль.

Полезными последующими методическими и техническими наработками на основе приобретенного практического опыта является обеспечение объективности контроля, разработка средств диагностики и прогнозирования технического состояния судовых корпусов, возможность создания паспортов технического состояния морских транспортных судов.

Авторы настоящего исследования открыты к новым предложениям и техническим решениям ведущих специалистов неразрушающего контроля, направленные на повышение эффективности контроля прочности морских судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководящий технический материал. РТМ 31.2003-77 «Корпус, помещения, устройство и системы судна. Правила технической эксплуатации». ЦРИА «Морфлот». Министерство морского флота СССР, 1988. – 97 с.
2. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. НД N 2-020101-044. Т. 4. Часть XVIII. «Общие правила по конструкции и прочности навалочных судов». – СПб. : Российский морской регистр судоходства, 2006. – 475 с.
3. Casualty Report [Электронный ресурс] / The International Association of Dry Cargo Shipowners. INTERCARGO. – Режим доступа к сайту: <http://www.intercargo.org/>. – Название с экрана.
4. Ship Structure Committee Case Study [Электронный ресурс] / Ship Structure Committee. – Режим доступа к сайту: <http://www.shipstructure.org/>. – Название с экрана.
5. Правила классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства. НД № 2-020101-082. Т. 1. – СПб. : Российский морской регистр судоходства, 2015. – 505 с.
6. **Максимаджи, А. И.** Капитану о прочности корпуса судна : справочник / А. И. Максимаджи. – Л. : Судостроение, 1988. – 224 с.
7. K-LOAD. Loading with strength and stability [Электронный ресурс] / KONGSBERG MARITIME. – Режим доступа к сайту: <http://www.km.kongsberg.com/>. – Название с экрана.
8. **Мирошников, В. В.** Контроль прочности корпуса судна : моногр. / В. В. Мирошников, О. П. Завальнюк, В. Б. Нестеренко. – Херсон : Гринь Д. С., 2015. – 108 с.
9. **Денисенко, В. В.** Датчики на основе тензорезисторов и принципы их применения в измерениях / В. В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. – М. : СТА, 2013. – № 4. – С. 88–92.
10. Strain Sensor Equipment [Электронный ресурс] / Roctest Ltd (Canada). – Режим доступа к сайту: <http://www.roctest.com/Products/Strain/>. – Название с экрана.
11. **Королев, В. В.** Система измерений и контроля напряжений в корпусе судна с магнитоупругими преобразователями : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб. : 2010. – 24 с.
12. Машиностроение. Энциклопедия. Расчет и конструирование машин. Раздел IV. Корабли и суда. Т. IV-20. Проектирование и строительство кораблей, судов и средств океанотехники. Кн. 2 / В. Т. Томашевский [и др.]; под ред. В. Т. Томашевского, В.М. Пашина. – СПб. : Политехника, 2004. – 882 с.
13. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В. В. Клюев [и др.] / Под ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. – 656 с.
14. Механіка руйнування і міцність матеріалів : довідн. посібник / Під загальною ред. В. В. Панасюка. – Київ : Наук. думка, 1988. Т. 5. Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З. Т. Назарчука. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2001. – 1134 с.

E-mail: olgazavalnjuk82@gmail.com
nesterenko_mast@mail.ru