

УДК 681.586.5

А.В. Иванов, В.Э. Королев

Крыловский государственный научный центр,
отделение Управления системной интеграцией в области кораблестроения,
Санкт-Петербург, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ СО ВСТРОЕННЫМИ ДАТЧИКАМИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОРАБЕЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассматриваются вопросы применения полимерных композитных материалов (ПКМ) в современном кораблестроении при создании корпусных конструкций кораблей и судов, а также вопрос необходимости создания автоматической системы контроля напряженности (АСКН) композиционного материала корпуса и обтекателей различного назначения, технологии производства ПКМ со встроенными волоконно-оптическими датчиками деформации.

Ключевые слова: полимерные композитные материалы, автоматические системы контроля напряженности композиционного материала, волоконно-оптические датчики деформации.

A.V. Ivanov, V.E. Korolev

The Naval Ship Systems Integration Division, Krylov State Research Center,
Saint Petersburg, Russian Federation

APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS WITH EMBEDDED CONDITION MONITORING SENSORS IN THE PRODUCTION OF SHIP HULL STRUCTURES

This paper addresses the issues of polymer-based composites application in the shipbuilding industry with respect to the naval ship hull structures production. The need for the development of an automatic stress control system for composites used in hull and fairings is discussed. Additionally, the development of manufacturing techniques for polymer-based composites with embedded optical fiber strain sensors is considered.

Key words: polymer composite materials, automatic systems for monitoring the strength of composite materials, fiber-optic strain gauges.

Перспективность применения полимерных композитных материалов (ПКМ) в современном кораблестроении обусловливается их широким распространением и ростом их доли в производстве состав-

ных частей кораблей и подводных лодок. Во всем мире происходит глобальное замещение металлов композитами во всех отраслях промышленности, особенно в сфере кораблестроения и судостроения. Применение инновационных полимерных композитных материалов обеспечит прорыв в отечественном кораблестроении, а их внедрение является основным приоритетом инновационного развития российского кораблестроения и судостроения. В настоящее время в производстве идет активное совершенствование входящих в состав композитов материалов, а также совершенствуются смолы, ткани с целью улучшения их эксплуатационных и технологических свойств.

Выбор композитных материалов для строительства корпусов и надстроек надводных кораблей из ПКМ обусловлен прежде всего строгими требованиями к их массе, прочности и негорючести [1]. Тяжелая стальная надстройка оказывает значительное влияние на устойчивость корабля. Композитный материал легче, что позволяет разместить на корабле больше оборудования и вооружения, он не горит, а только тлеет, не выделяя вредных газов. Безусловными плюсами композитных материалов в судостроении являются также их долговечность и отсутствие электрохимической коррозии, возможность выполнять одновременно операции по сборке корпуса и монтажу внутренних судовых элементов. Это гораздо выгоднее, чем применение металла. Надстройка корабля, изготовленная из композитных материалов с заданными свойствами, имеет значительно меньшую радиолокационную заметность, чем металлическая, что особенно важно в современных условиях.

Многослойные композитные покрытия корпуса и ограждения выдвижных устройств, носовые и кормовые обтекатели и рули, стабилизаторы, ограждение рубки, гребные винты и линии валов – все эти элементы 5-го поколения российских подводных лодок планируется изготавливать из композитных материалов (рис. 1). Все это для того, чтобы значительно уменьшить шумность лодки. Структура и состав таких материалов обеспечивают снижение отраженных гидролокационных сигналов от подводной лодки, препятствуют распространению вибрации от работающих механизмов и т.д., поскольку композит обладает высоким коэффициентом внутренних потерь, или звукопоглощением, может менять свойства при возникновении вибрации, полностью препятствуя распространению колебательной энергии.



Рис. 1. Примеры применения ПКМ в кораблестроении

В настоящее время полученные решения на основе композиционных материалов проходят стендовые испытания в Крыловском государственном научном центре (ГНЦ). Первый адаптивный композиционный гребной винт может быть представлен к натурным испытаниям уже в 2018 году.

Однако несмотря на множество положительных сторон, композиционные материалы имеют и крупные недостатки [2], которые сдерживают их широкое применение. Из основных недостатков можно выделить высокую стоимость производства, анизотропию свойств (непостоянство свойств композиционных материалов от образца к образцу), низкую ударную вязкость (обуславливает высокую повреждаемость изделий из композиционных материалов), высокий удельный объем, гигроскопичность к определенным типам жидкостей, выделение токсичных паров при эксплуатации, низкую эксплуатационную технологичность, низкую ремонтпригодность и довольно высокую стоимость эксплуатации. Часто объекты из композиционных материалов вообще не подлежат какой-либо доработке и ремонту.

Все вышеизложенное свидетельствует о необходимости тщательного контроля за деформационными нагрузками на конструктивные элементы кораблей и подводных лодок, выполненных из композитов, возникающими в процессе их эксплуатации как в различных условиях мирного времени, так и в военное время при получении боевых повреждений.

Для повышения безопасности и эффективности работы кораблей необходима объективная информация о механических нагрузках на корпус в любых эксплуатационных режимах. На основании этой информации появляется возможность управлять кораблем в штормовых и ледовых условиях, не допуская перегрузки корпуса; анализировать получаемые боевые повреждения и прогнозировать состояние боевой устойчивости корабля, в то же время работая на предельно безопасном уровне возникающих в нем напряжений.

Таким образом, автоматические системы контроля напряженности (АСКН) композиционного материала корпуса и обтекателей различного назначения позволяют значительно снизить расходы на ремонт повреждений корпуса кораблей и подводных лодок в результате аварий от неправильно выбранного режима его эксплуатации либо боевых повреждений. Кроме того, при правильном выборе значений предельных уровней нагрузок уменьшается износ корпуса корабля от малоциклового усталости, что увеличивает время между доковыми ремонтами и срок службы корабля в целом [3]. Автоматическая система контроля напряженности композиционных покрытий надстроек надводных кораблей позволит оперативно оценивать степень их повреждений в бою. Прототипом системы [4] может служить система мониторинга ледовой нагрузки (СМЛН) научно-экспедиционного судна «Академик Трёшников» (рис. 2).

Система должна состоять из аппаратной части, основная задача которой – измерение физических величин, и программной части, которая предназначена для обработки значений сигналов и генерации рекомендаций экипажу или операторам АСКН в случае превышения физическими величинами некоторых пороговых значений.

Неотъемлемой частью измерительных систем при оценке нагрузки являются тензометрические датчики. Тензометрический датчик – датчик, преобразующий величину деформации в удобный для измерения сигнал (обычно электрический). Существует множество видов тен-

зометрических датчиков: тензорезистивные, оптико-поляризационные, пьезорезистивные, волоконно-оптические и др.

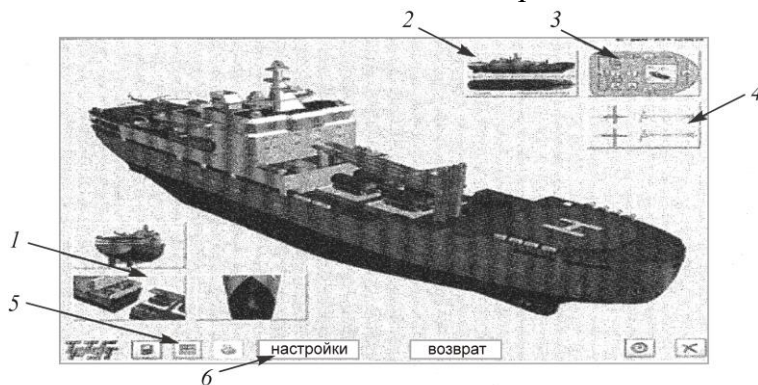


Рис. 2. Главный экран программы для управления СМЛН: 1 – экраны «Корма», «Мидель», «Нос»; 2 – экран «Проекция»; 3 – экран «Конфигурация»; 4 – экран «Винторулевая группа»; 5 – экран «Тенденции»; 6 – экран «Настройки»

Среди электронных тензодатчиков наибольшее распространение получили тензорезистивные датчики.

Другим видом тензодатчиков, используемых для мониторинга деформаций протяженных конструкций, являются волоконно-оптические датчики на основе решетки Брегга (FBG). Например, группа волоконно-оптических датчиков деформации (ВОДД), установленных в диаметральной плоскости судна, даст информацию об общем изгибе под воздействием внешних сил и т.п.

Перечень датчиков, которые могут использоваться в АСКН, не ограничивается перечисленными выше.

Однако применение ВОДД в судостроении и кораблестроении для создания АСКН корпуса и надстройки, с нашей точки зрения, имеет ряд преимуществ:

- взрыво- и пожаробезопасность, обусловленная отсутствием электрических компонентов и риска искрения;
- долговечность и водостойкость;
- нечувствительность к ЭМ-излучениям;
- измерение нагрузок непосредственно на сухой или погруженной в воду поверхности;
- возможность использования в контакте с «горючими» смесями;
- возможность интеграции датчиков внутрь композитных материалов.

Наиболее инновационной, по нашему мнению, технологией является технология создания корабельных конструкций из полимерных композитных материалов со встроенными АСКН и температуры в процессе эксплуатации корабля (рис. 3). Внедрение в процессе производства корабельных высоконагруженных конструкций из ПКМ встроенных ВОДД – это переход к новому качественному уровню обеспечения безопасности и надежности кораблей за счет создания встроенного в материал контроля за его состоянием.

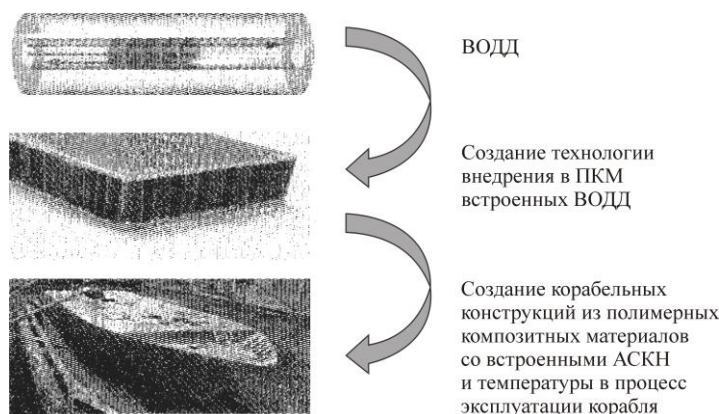


Рис. 3. Создание корпусных конструкций из ПКМ со встроенными ВОДД

Создание и внедрение в производство вышеуказанной технологии подразумевают органичный симбиоз конструкторских и проектных бюро, институтов и предприятий, разрабатывающих и производящих ПКМ, предприятий, производящих элементы АСКН, судостроительных компаний и предприятий, осуществляющих строительство высокотехнологичных кораблей.

Такая технология создания корабельных конструкций, по нашему мнению, позволит перейти от ограничений эксплуатации корабля по ресурсным показателям к его эксплуатации по фактическому состоянию в течение длительного времени [5]. Тем самым будет достигнут положительный экономический эффект от ее внедрения в производство.

Однако, как считают специалисты нашего института, широкому развитию и применению новых ПКМ препятствует хроническое отставание нормативной базы, регламентирующей производство и использование ПКМ в судостроении. Сегодня для получения Свидетельства о типовом одобрении ПКМ в Российском морском регистре необходи-

мо время от трех лет и более. Как отметил в ходе семинара по «Применению полимерных материалов в судостроении», проведенного 20 сентября 2017 года в СПб в рамках международной выставки «НЕВА-2017», директор Департамента государственной политики в области морского и речного транспорта Министерства транспорта РФ Виталий Владимирович Ключев, с существующими требованиями и правилами Морского регистра к изделиям из ПКМ российские ПКМ никогда не выйдут на рынок. Он также заявил, что Морскому регистру необходимо пересмотреть существующие требования. Специалисты нашего института совместно со специалистами Морского регистра уже активно работают над корректурой существующей нормативной базы, созданием единой системы приемки и постановки на производство новых ПКМ для судостроения и кораблестроения, над разработкой программы сертификационных испытаний новых ПКМ и выполненных из них типовых конструкций и узлов. Основные цели этой работы – это сокращение сроков, необходимых для внедрения в производство ПКМ от момента их создания, а также создание и внедрение технологии производства корабельных конструкций из полимерных композитных материалов с заданными свойствами, в том числе и встроенными средствами самоконтроля.

Список литературы

1. Ежелева Л. Легкие и неуловимые // Морской бизнес. – 2016. – № 44. – Август.
2. Жадобин Н.Е., Крылов А.П. Датчики систем контроля и измерения механических напряжений в судовых конструкциях [Электронный ресурс] / ЗАО АВТЭКС. – 2002. – URL: <http://www.autex.spb.ru>.
3. Системы мониторинга ледовых нагрузок для судов и инженерных сооружений / П.В. Максимова, Н.А. Крупина, В.А. Лихоманов, А.В. Чернов, И.А. Свистунов // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – № 2 (108). – С. 101–112.
4. Гуменюк Н.С., Грушин С.С. Применение композитных материалов в судостроении. – 2013. – URL: <http://www.scienceforum.ru/2013/216/4603>.
5. Анисимов А.В. Перспективы применения полимерных композитных материалов в судостроении: доклад. – URL: <http://www.hccomposite.com/upload/iblock/fbd/fbd012f6683d92bd2d1c233244cfa44f.pdf>

Получено 01.11.17