

ДЕФЕКТОСКОПИЯ КОРПУСОВ СУДОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ, АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

М.Э. Францев

Рассмотрена методика проведения дефектоскопии корпусов судов из композиционных материалов в процессе эксплуатации. Для исследования применены импедансный метод и метод свободных колебаний с учетом особенностей конструкции объектов контроля и приведены полученные результаты.

Ключевые слова: дефектоскопия корпусов судов из композитов, импедансный метод неразрушающего контроля, метод свободных колебаний, внутренние дефекты типа расслоений.

Согласно практике, сложившейся в мировом судоходстве, одним из достоверных критериев оценки эксплуатационной прочности и долговечности корпуса судна является динамика развития в нем различных эксплуатационных дефектов и износов. Развитие дефектов в корпусной конструкции ведет к снижению ее прочностных качеств и способности противостоять неблагоприятным эксплуатационным воздействиям. При достижении дефекта или износа определенных размеров напряжения, действующие в конструкции в районе их расположения, превышают допустимые пределы прочности, установленные проектантом и изготовителем судна. Это может привести как к разрушению конструкции при расчетных режимах движения, так и к непропорциональному увеличению зоны аварийных разрушений при нештатных эксплуатационных ситуациях. И те и другие случаи на водных путях России в настоящее время встречаются достаточно часто [8, 10].

В отличие от других материалов, применяемых для изготовления корпусов судов, слоистые композиты (стеклопластика) в процессе старения практически не изменяют своего внешнего вида и размеров, но в них возникают внутренние дефекты типа расслоений. В ряде случаев состарившийся расслоившийся стеклопластик с восстановленным декоративным покрытием внешне мало отличается от нового материала, поэтому анализ изменения геометрических размеров сечения конструкции из композиционных материалов в процессе эксплуатации не имеет смысла.

Существующий способ определения технического состояния корпуса судна из композиционных материалов в процессе эксплуатации надзорными органами базируется только на визуальном внешнем осмотре. При этом в соответствии с Правилами Российского Речного Регистра техническое состояние пластмассового корпуса признается негодным в случаях расслоения обшивки и отслоения приформовок от обшивки и элементов набора, а также появления трещин по обшивке и набору [8, 10].

Судовые конструкции из композиционных материалов формируются из многослойных неметаллических материалов, включая легкие пенопласты. Модули упругости, плотности и волновые сопротивления этих материалов могут отличаться в десятки раз. Кроме того, полимерные композиционные материалы, создаваемые при изготовлении судовых корпусов, отличаются большим затуханием у. з. волн, неоднородностью структуры и значительной упругой анизотропией. Многослойные конструкции имеют несколько границ раздела материалов с различными акус-

тическими свойствами. При этом отдельные слои часто имеют очень небольшие толщины (0,2+0,1 мм). Наблюдение процессов развития внутренних дефектов в виде расслоений в ходе эксплуатации с помощью различных методов неразрушающего контроля дает возможность оценки изменения механических свойств композиционных материалов [2].

Разработка норм проектной годности конструкции с точки зрения существования в ней дефектов тесно переплетается с проблемой прогнозирования динамики их развития в процессе эксплуатации и параллельного изменения прочности конструкции в сторону ее снижения.

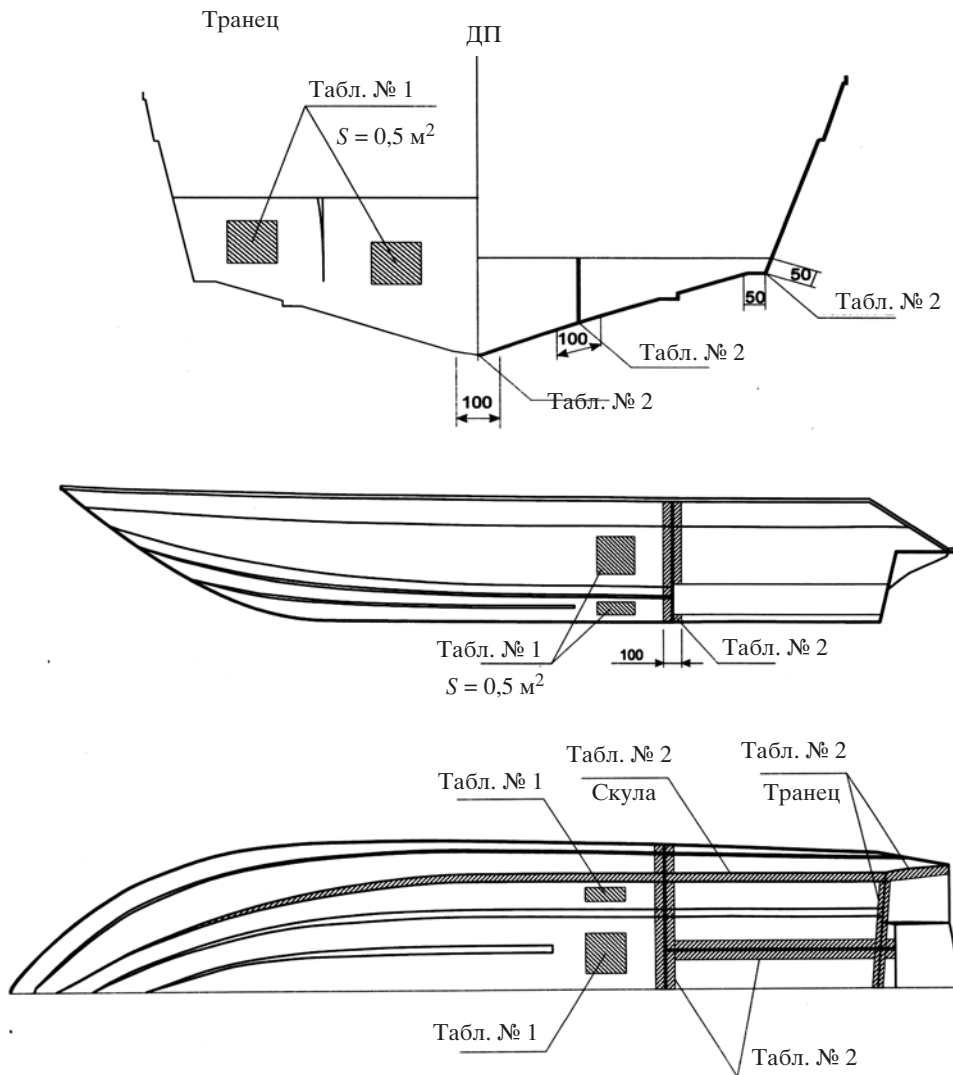


Рис. 1. Расположение участков 1-й и 2-й групп конструкций на корпусе судна из композитов.

Для проведения дефектоскопии все связи судового корпуса могут быть отнесены к двум основным группам конструкций (рис. 1): наружная обшивка, настилы палуб, платформ и полотнища переборок, продольный и поперечный набор (вертикальный киль, стрингеры, флоры, шпангоуты и бимсы).

Для каждой отдельной группы могут быть установлены свои нормы допускаемых дефектов. При этом допускаемыми следует считать дефекты, которые снижают физико-механические характеристики композита не более чем на 10—15 % [6].

В разработанной методике обследования корпусов судов из композиционных материалов акустическими методами неразрушающего контроля целью исследования является обнаружение следующих дефектов в различных элементах конструкций:

расслоения между слоями армирующего материала в виде заполненных газом пустот;

расслоения в виде участков с непропитанными или недостаточно пропитанными слоями армирующего материала;

расслоения между средними слоями и обшивками;

расслоения между декоративным слоем и собственно изделием;

расслоения в узлах соединений как по плоскости контакта между соединяемыми элементами и соединительными элементами (накладками, приформовочными угольниками), так и в самих соединительных элементах.

Все эти дефекты могут быть выявлены различными методами дефектоскопии, при этом предпочтение отдают акустическим методам неразрушающего контроля. Акустические методы считаются наиболее перспективной группой методов неразрушающего контроля. Их широкое распространение во всем мире обусловлено техническими, технологическими, экономическими, экологическими и другими соображениями.

В качестве исходных методов неразрушающего контроля для обнаружения дефектов типа расслоений в многослойных судовых корпусных конструкциях из композиционных материалов рассматривали применение эхометодов: эхотеневого и эхозеркального; зеркальнотеневого, импедансного; велосимметрического, а также локального метода свободных (собственных) колебаний. При этом использование эхометодов в условиях одностороннего доступа к поверхности корпуса (только с наружной стороны) возможно в виде реализации методов отражения: эхотеневого, эхозеркального и зеркальнотеневого [1].

При рассмотрении образцов объектов контроля в виде отдельных элементов судового корпуса из композитов (рис. 2) можно предположить вероятную глубину залегания выявляемых дефектов в диапазоне 0,75—15 мм.

Поскольку корпуса судов из композитов имеют гарантированные геометрические размеры только по одной поверхности (наружной), применение эхометодов, основанных на отражении сигнала от второй поверхности, без специальных исследований может привести к неадекватной трактовке результатов контроля и принятии на их основании ошибочных решений. Кроме того, эхометоды трудно реализуемы на объектах контроля с большим количеством криволинейных поверхностей, каким является корпус скоростного судна. Особенностью эхометодов является невозможность контроля на глубине 3—5 мм от поверхности (при общей толщине обшивки судового корпуса судов рассматриваемых типов местами не более 5—8 мм). Поэтому в качестве базовых методов неразрушающего контроля дефектов многослойных судовых корпусных конструкций из композиционных материалов, находящихся в эксплуатации, приняты импедансный метод и локальный метод свободных колебаний (см. таблицу, [5]). В качестве прибора, реализующего оба эти метода, используют дефектоскоп композиционных материалов ДАМИ-С [3, 4], рис. 3.

В многослойных судовых конструкциях, выполненных из композиционных материалов, обнаруживаются как внутренние дефекты типа расслоений, расположенные внутри элемента конструкции, так и зоны нару-

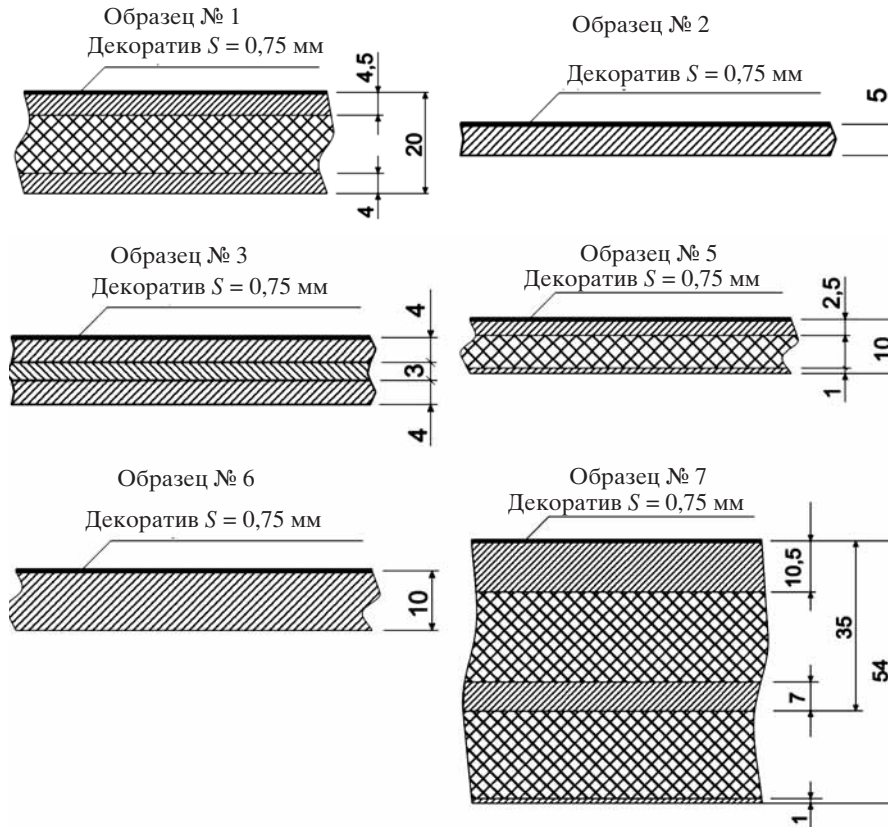


Рис. 2. Сечения различных участков корпуса судна из композитов.

шения соединений отдельных элементов с остальной конструкцией. Не разрушающий контроль судовой конструкции осуществляется со стороны слоя, обладающего меньшей жесткостью, то есть декоративного

Сравнительные характеристики акустических методов неразрушающего контроля

Метод	Выявляемые дефекты	S min, мм ²	h max, мм	h min, мм	Недостатки	Дополнительные сведения
Импедансный с раздельно-совмещенным преобразователем	Расслоения, непроклеи	4,0	15,0	0,2	Обратное направление изменения уровня сигнала при выявлении близких (0,2—0,5 мм) дефектов	
Свободных колебаний (локальный)	Расслоения, непроклеи	100—1500	30	0,5	Шум при контроле	Трудно применим на вертикальных поверхностях, неприменим на потолочных поверхностях

слоя. Обычно дефекты типа расслоений вызывают изменение сигнала, выходящее за пределы указанного разброса, и выявляются. Уровни сиг-

налов с движущегося и неподвижного преобразователя несколько отличаются вследствие фрикционных шумов, обусловленных взаимодействием излучателей преобразователя с неровностями поверхности контролируемого объекта.



Рис. 3. Портативный дефектоскоп ДАМИ-С.

С увеличением скорости сканирования и степени шероховатости поверхности это различие возрастает. При проведении дефектоскопии участков судового корпуса с гладкими поверхностями влияние фрикционных шумов невелико и скорость сканирования может быть увеличена. С ростом шероховатости фрикционные шумы усиливаются и скорость сканирования приходится снижать. Она определяется экспериментально так, чтобы различие в сигналах с неподвижного и движущегося преобразователей имело приемлемую для контроля величину. Как правило, судовой корпус имеет участки с часто изменяющейся шероховатостью. Для учета указанного различия приходится постоянно изменять скорость сканирования.

При неразрушающем контроле для выявления дефектов типа расслоений в многослойных судовых корпусных конструкциях из композиционных материалов применяют комбинацию из двух акустических методов: импедансного метода с отдельно-совмещенным преобразователем и локального метода свободных колебаний.

Локальный метод свободных колебаний используют для быстрой проверки обширных участков объекта контроля с разрешением в одно измерение на один см². При работе с дефектоскопом ДАМИ-С с использованием этого метода применяют преобразователь ИПУ-1, с помощью которого производят равномерные нормированные удары по поверхности контроля и снимают ответный сигнал, используют безэталонные настройки дефектоскопа.

При помощи локального метода свободных колебаний определяют расположение и примерную конфигурацию дефектов, в том числе глубоко залегающих (до 30 мм). Кроме того, данный способ позволяет осуществлять построчное сканирование больших площадей, выявляя при этом

дефекты размером от 1 см², затем путем интерполяции строить их изображение на экране прибора. Зоны расположения дефектов отображаются на дисплее прибора с привязкой к координатной сетке с размером ячейки 1×1 см.

Импедансный метод неразрушающего контроля с раздельно-совмещенным преобразователем (рис. 4) включает два режима: точечный контроль и пороговый контроль с использованием акустического сканера, применяют безэталонные настройки прибора.

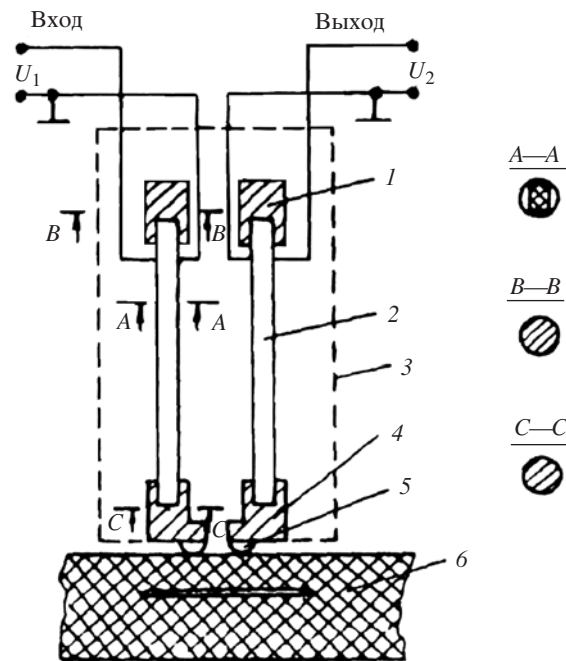


Рис. 4. Схема выявления внутреннего дефекта типа расслоения импедансным дефектоскопом с раздельно-совмещенным преобразователем.

На этапе точечного контроля в штатном режиме работы прибора ДАМИ-С обнаруживаются точные места расположения внутренних дефектов. На этапе порогового контроля в штатном режиме работы прибора ДАМИ-С получают С-изображения внутренних дефектов с помощью акустического сканера. Прибор ДАМИ-С позволяет определять размеры и измерять площадь дефекта. После фиксации изображения сохраняются в памяти прибора. В дальнейшем с помощью специализированного ПО “АРМ Дефектоскописта ДАМИ-С”7.0 осуществляется перенос накопленных данных, включая изображения дефектов, в компьютер для последующего анализа, хранения и формирования протокола контроля.

В режиме порогового контроля на дисплей выводится информация о слое, в котором обнаружен дефект, изображение сканируемого участка с координатными осями, градуированными в миллиметрах, и информация о положении текущей позиции преобразователя на сканируемом участке.

При обнаружении дефекта на дисплее “зачерняется” соответствующая элементарная площадка с размерами, равными шагу дискретизации по соответствующей оси. Траектория преобразователя отмечается ярко-

серым оттенком. Контроль проводили одновременно в трех слоях, на дисплей выводили последовательно информацию по каждому из исследуемых слоев. По завершении сканирования на дисплее отображаются все дефектные области, обнаруженные на сканируемом участке в данном слое.

В режиме порогового контроля с использованием акустического сканера получают полное изображение дефектного участка объекта для последующего измерения площадей дефектов и сравнения их с нормативами годности (см. рис. 5). Там же изображены траектории движения преобразователя и расположение выявленных дефектов, отображенные на дисплее прибора. Реализованные в дефектоскопе режимы позволяют определять размеры дефектов по их изображению.

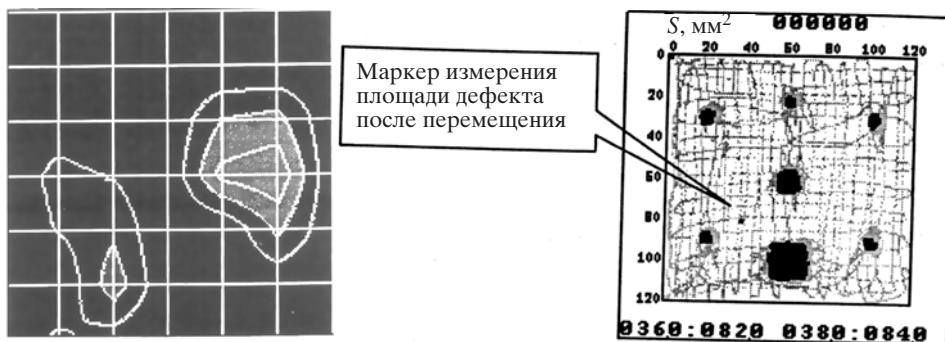


Рис. 5. Изображения дефектов, полученные методом свободных колебаний (слева) и импедансным методом порогового контроля (справа).

Разработан нормативный документ, регламентирующий процедуру обследования корпусов судов из композиционных материалов с целью выявления эксплуатационных дефектов. Этот документ носит название "Временная методика исследования корпусов судов с динамическим способом поддержания (гλισсирующих) методами неразрушающего контроля с целью выявления дефектов типа расслоение". Он утвержден для применения письмом ГУ Российского Речного Регистра № 07-01.9-153 от 24.01.07 г.

В настоящее время выполняются работы по определению дефектов корпусов судов из композиционных материалов возрастом старше пяти лет, находящихся в эксплуатации под техническим наблюдением Московского филиала Российского Речного Регистра. Обследованные корпуса судов из композитов имеют длину до 27 м и более. Эта работа сопровождается аналитической и методической обработкой полученных результатов. В период с 2007 по 2011 г. методами неразрушающего контроля было обследовано более 130 корпусов судов из композиционных материалов.

Перед началом комплекса операций проведения дефектоскопии объект контроля (корпус судна из композиционных материалов) располагается на ровной площадке на кильблоке или на транспортировочном трейлере в раскрепленном и неподвижном состоянии. При этом должен быть обеспечен доступ с любой стороны (в том числе и со стороны днища), к любым поверхностям объекта контроля (исключая зоны контакта обшивки с кильблоками или ложементами трейлера). Подводная часть корпуса должна быть тщательно очищена от слоя загрязнений до поверхности декоративного слоя или до окрасочной поверхности, если

корпус подвергался окраске. Стояночный чехол должен быть с объекта контроля демонтирован.

Первичной операцией, предшествующей инструментальной дефектоскопии, является визуальный осмотр объекта контроля (корпуса судна). Он направлен на определение положения действующей ватерлинии судна, выявление внешних дефектов декоративного слоя, повреждений отдельных элементов корпусных конструкций, а также следов осмотических изменений поверхностных слоев корпуса.

Дефектоскопии подвергаются 100 % площади поверхности корпуса судна в районе переменной ватерлинии, районах линий сопряжения днища, бортовой обшивки и транца. Кроме того, 100 % площади мест примыкания к наружной обшивке фундаментов главных двигателей, продольного и поперечного набора, а также районов расположения и крепления движительно-рулевых комплексов, расположения дейдвудов и подруливающих устройств и районов вырезов в надводном борте. Дефектоскопии подвергаются 100 % площади поверхности мест осмотических изменений и зон аварийных контактов наружной обшивки на корпусе судна. Контроль выполняют при одностороннем доступе.

Кроме того, дефектоскопии подвергаются 30 % оставшейся площади поверхности подводной части корпуса и 10 % площади поверхностей надводного борта, палуб, стенок и крыши надстройки. Контроль также выполняется при одностороннем доступе. Остальные связи и поверхности судового корпуса из композитов подвергаются дефектоскопии по мере необходимости и возможности. Шаг дефектоскопии конструкций в соответствии с нормативными документами не превышает 500 мм, а в узлах соединений — 250 мм. При записи результатов проведения дефектоскопии в соответствии с нормативными документами указывается площадь дефектов и координаты их месторасположения. Минимальная площадь выявляемого в судовых корпусных конструкциях из композитов дефекта составляет 4 мм². Составляется точная схема расположения дефектов на корпусе судна из композитов (рис. 6).

При дефектоскопии корпусов судов, изготовленных из композиционных материалов, находящихся в эксплуатации под техническим наблюдением Московского филиала Российского Речного Регистра, проведенной в 2007—2011 годах, неразрушающему контролю подвергались в основном связи первой группы (наружная обшивка, настилы палуб). Остальные связи корпуса, как правило, закрыты элементами зашивки и обстройки, которые не могут быть легко демонтированы на время проведения дефектоскопии, поэтому доступ к ним либо сильно затруднен, либо невозможен. Однако информации, полученной при дефектоскопии связей первой группы, вполне достаточно для объективной оценки технического состояния корпуса судна из композитов в процессе эксплуатации.

Способ определения технического состояния корпуса судна, изготовленного из композиционных материалов, находящегося в эксплуатации, опирающийся на результаты дефектоскопии акустическими методами неразрушающего контроля для обнаружения внутренних дефектов, измерением их площади и сравнением ее величины с предельно допустимым значением, защищен патентом РФ № 2354964.

Использование данных о динамике развития эксплуатационных дефектов, полученных на основании проведения дефектоскопии корпусов судов из композитов по изложенной выше методике, позволило выдвинуть ряд новых теорий и критериев прочности судовых корпусных конст-

рукций из композиционных материалов, основанных на концепции накопления повреждений в процессе эксплуатации. Оно также позволяет прогнозировать изменение эксплуатационной прочности корпуса судна

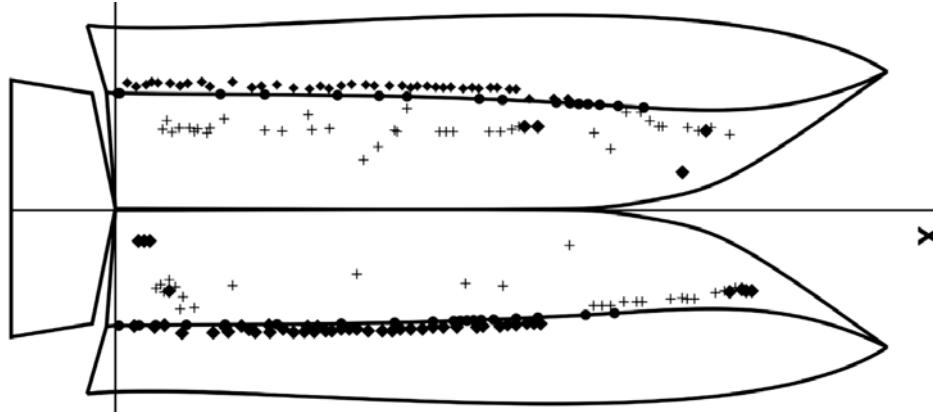


Рис. 6. Схема расположения дефектов на корпусе судна из композитов по результатам проведения дефектоскопии.

из композитов в течение всего срока службы и делать выводы о долговечности судовой корпусной конструкции из композиционного материала в целом [6—9, 11].

АОЗТ “Нептун-Судомонтаж”
г. Долгопрудный

Поступила в редакцию
16 декабря 2011 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолов И.Н., Ермолов М.И. Ультразвуковой контроль. Учебник для специалистов 1 и 2 уровней квалификации.— М.: НПО ЦНИИТМАШ, 1993.— 202 с.
2. Гершберг М.В., Илюшин С.В., Смирнов В.И. Неразрушающие методы контроля судостроительных стеклопластиков.— Л.: Судостроение, 1971.— 199 с.
3. Ланге Ю.В. Акустические низкочастотные методы неразрушающего контроля многослойных конструкций из композитных материалов.— М.: Машиностроение, 1991.— 272 с.
4. Ланге Ю.В. и др. Новые низкочастотные акустические дефектоскопы для неразрушающего контроля многослойных конструкций.— В мире неразрушающего контроля, 2004, № 3, с. 12—13.
5. ОСТ5.9102—87. Стеклопластики конструкционные для судостроения. Методы неразрушающего контроля.— Л.: ЦНИИТС, 1987.
6. Францев М.Э. Проектная оценка эксплуатационных нагрузок и характеристик долговечности корпусов судов из композиционных материалов.— Морской вестник, 2008, № 4(28), с. 93—98.
7. Францев М.Э. Проектные рекомендации по определению наиболее нагруженных и уязвимых элементов корпуса судна из композиционных материалов.— Конструкции из композиционных материалов, 2011, № 3, с. 86—97.
8. Францев М.Э. Способ оценки технического состояния корпуса судна из композитов в процессе эксплуатации.— Контроль. Диагностика, 2009, № 11, с. 61—68.
9. Францев М.Э. Обоснование проектных критериев эксплуатационной прочности и долговечности композитных катеров.— Сб. докл. Международного семинара “Суда будущего” Секции «Проектирование судов» Центрального Правления НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова.— СПб, 2007, с. 86—91.
10. Францев М.Э. Эксплуатационные дефекты корпусов стеклопластиковых судов. — Катера и яхты, 2008, № 2(212), с. 90—93; 2008, № 3(213), с. 102—105.
11. Frantsev M.E. The mode used for the estimation of the technical condition for the boat hull from composite materials for exploitation.— 10-th European Conference on Non-Destructive Testing.— Moscow, 2010, June 7—11, Abstracts, part 2, p. 64.