

СЕКЦИЯ 4

Физические поля морских технических объектов и океана (акустика)

Кривошапкин Д.В., Летин А.Н.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

В статье приведены результаты работ по исследованию огнестойкости наружных и межбортных гидроакустических покрытий различных конструкций, применяемых в настоящее время на подводном флоте, и их экспериментальных образцов с повышенным уровнем огнезащиты. Предложены способы повышения огнестойкости конструкций гидроакустических покрытий за счет применения в наружных слоях кевларовой ткани или огнестойкой резины на основе хлопчатобумажного каучука с антипиреном.

Ключевые слова: гидроакустические покрытия, огнестойкость, горючесть, резины.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Кривошапкин Д.В., Летин А.Н. Исследования огнестойкости гидроакустических покрытий подводных лодок. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; специальный выпуск 1: 96–102.

УДК 623.827:534

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-96-102

SECTION 4

Physical fields of marine structures and ocean (acoustics)

Krivoshapkin D., Letin A.

Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

FLAME RESISTANCE OF HYDROACOUSTIC SUBMARINE COATINGS

This paper summarizes the results of flame resistance studies for outer and inter-hull hydroacoustic coatings of various designs currently applied aboard submarines, comparing these coatings versus their experimental counterparts with enhanced flame resistance. The paper also suggests the ways to improve flame resistance of hydroacoustic coatings by making outer layers of kevlar fabric or flame-resistant rubber based on chloroprene resin with flame retarder.

Key words: hydroacoustic coatings, flame resistance, flammability, rubbers.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Krivoshapkin D., Letin A. Flame resistance of hydroacoustic submarine coatings. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; special issue 1: 96–102 (in Russian).

UDC 623.827:534

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-96-102

В настоящее время ведется поиск способов повышения огнестойкости и пожаробезопасности гидроакустических покрытиях (ГАП) из полимерных композиционных материалов. Создание полимерных композиционных материалов требует комплексного подхода для достижения поставленной задачи. Процесс создания полимерных композиционных материалов включает разработку многокомпонентных композиций сложного состава, обеспечивающих ряд ценных физико-механических и эксплуатационных свойств. Важным показателем ГАП является стойкость к агрессивным средам (нефтепродукты, моющие средства), свету, повышенной температуре (пожару) и другим воздействующим факторам. Указанные требования обеспечиваются материалом внешнего (наружного) слоя покрытий.

В настоящей работе сделана попытка отразить тенденции в поиске и создании пожаробезопасных материалов для ГАП, не ухудшающих акустические характеристики ГАП. ФГУП «Крыловский государственный научный центр» провел испытания по выявлению способности к возгоранию различных типов и конструкций ГАП, устанавливаемых на наружном корпусе подводной лодки (ПЛ) и в межбортном пространстве, с целью определения наиболее опасных ГАП.

Для исследования огнестойкости ГАП была разработана программа-методика испытаний по определению условий воспламенения и горения покрытий при воздействии раскаленных капель и деталей, которые могут образовываться при производстве газовой резки и сварочных работ в ходе выполнения строительных и ремонтных мероприятий. Программой-методикой

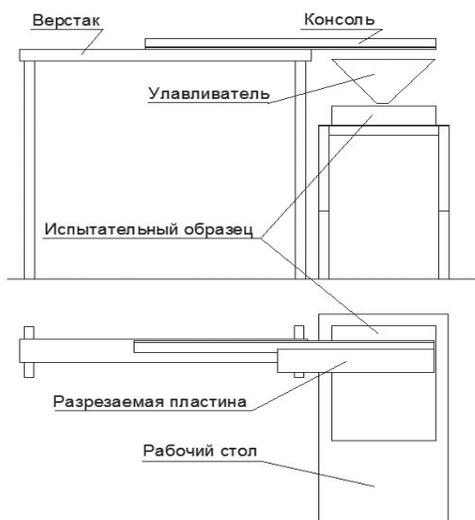


Рис. 1. Схема испытательной установки по определению условий воспламенения ГАП при воздействии раскаленных капель металла

Fig. 1. Layout of ignition test rig for hydroacoustic tiles exposed to incandescent metal drops

было предусмотрено проведение четырех серий испытаний:

1. Испытания по определению условий воспламенения серийных образцов ГАП при воздействии на них раскаленных капель металла.
2. Испытания по определению условий воспламенения серийных образцов ГАП при падении на них нагретых деталей.
3. Испытания по определению условий воспламенения серийных образцов ГАП при нагревании металлической основы, на которой они установлены.
4. Испытания по определению эффективности средств повышения огнестойкости ГАП.

Первая серия испытаний по определению условий воспламенения ГАП при воздействии на них раскаленных капель металла производилась на специальной установке (рис. 1).

При проведении испытаний производился разрез стальной полосы, закрепленной на верстаке, раскаленные капли металла собирались в улавливателе и через его отверстие попадали на поверхность образцов покрытий. По окончании эксперимента фиксировалась степень воздействия раскаленных капель на поверхность образцов.

На рис. 2 приведен образец межбортного покрытия типа «Пластина ГАП» во время испытаний по определению воздействия раскаленных металлических капель, а на рис. 3 – результаты воздействия раскаленных капель металла на поверхности образ-



Рис. 2. Испытания образца межбортного покрытия типа «Пластина ГАП»

Fig. 2. Testing a hydroacoustic tile sample of inter-hull application



Рис. 3. Результаты воздействия раскаленных капель металла на поверхности образцов наружного и межбортного покрытия типа «Пластина ГАП»

Fig. 3. Effect of incandescent metal drops upon the surface of outer and inter-hull hydroacoustic tiles

цов наружного и межбортного покрытия типа «Пластина ГАП». Испытания показали, что возможное при производстве сварочных работ падение раскаленных капель металла и их скопление на поверхности ГАП не приводят к воспламенению.

Вторая серия испытаний по определению условий воспламенения ГАП при падении на них нагретых деталей заключается в имитации демонтажных работ с применением газовой резки, выполняемых в межбортном пространстве. В качестве раскаленных деталей был выбран стальной пруток диаметром 16 мм (имитатор срезаемых шпилек) и стальной уголок 50×50×5 мм (имитатор обрешетки).

Зажигательная способность нагретых деталей зависит от их температуры, размера и продолжительности контакта с горючим веществом. Эти параметры варьировались путем изменения длины отрезаемой детали. Предельная длина отрезаемых деталей, определяемая зоной прогрева при одно-



Рис. 4. Испытание по определению условий воспламенения образца межбортного покрытия типа «Пластина ГАП» при падении на его поверхность стального уголка

Fig. 4. Ignition tests of an inter-hull hydroacoustic coating tile exposed to falling steel corner



Рис. 5. Результат воздействия раскаленного предмета на межбортное покрытие типа «Пластина ГАП»

Fig. 5. Effect of incandescent metal object upon inter-hull hydroacoustic tile

кратном поперечном резе газовым резаком, составила для стального прутка 60 мм, для стального уголка – 140 мм.

Испытания проводились в следующей последовательности. Сначала отрезалась деталь минимальной длины: для прутка – 24 мм (1,5 D – стандартная длина шпильки), для стального уголка – 20 мм. Время выдержки детали на поверхности образца принималось равным продолжительности ее остывания до температуры воспламенения резины (~200 °С). Если воспламенение испытательного образца не происходило, то в следующих испытаниях длина прутка увеличивалась до 40 мм, а стального уголка – до 70 мм, и далее до 60 и 140 мм соответственно. Для того, чтобы исключить влияние расплавленных капель металла, образующихся при резке, испытательный образец располагался на рабочем столе в стороне от линии реза, а отрезанная деталь без задержек переносилась на его поверхность.

На рис. 4 показано испытание по определению условий воспламенения образца межбортного покрытия типа «Пластина ГАП» при падении на его поверхность стального уголка. Результат показан на рис. 5.

При проведении серии испытаний установлено, что поверхность межбортного покрытия типа «Пластина ГАП» способна к воспламенению при контакте с раскаленными металлическими предметами, однако имеет тенденцию к быстрому затуханию. Данное покрытие не поддерживает самостоятельное горение без источника повышенной температуры.

Длительное воздействие раскаленных предметов на поверхность ГАП возможно только в межбортном

пространстве, поэтому испытаниям по определению условий воспламенения при падении нагретых деталей были подвержены наиболее распространенные на флоте межбортные покрытия типа «А» и «Ш». В ходе испытаний установлено, что покрытие типа «А» воспламеняется при воздействии раскаленных предметов, а также способно поддерживать огонь в течение длительного времени. Воздействие раскаленного прутка на поверхность образца межбортного покрытия типа «А» показано на рис. 6.

При проведении испытаний по методике изделий типа «Ш» установлено, что при контакте с раскаленным металлическим предметом независимо от его формы и размеров происходит возгорание, которое не прекращается даже после удаления из очага пламени раскаленных предметов (рис. 7–8).

После проведения серии испытаний по определению условий воспламенения образцов межбортных ГАП при падении на них раскаленных деталей установлено, что при соблюдении всех требований пожарной безопасности в ходе выполнения ремонта источником возникновения возгорания на корабле может быть только межбортное покрытие типа «Ш».

Третья серия испытаний по определению условий воспламенения ГАП при нагревании металлической основы, на которой они установлены, имитирует работы по рихтовке легкого корпуса с использованием способа тепловой усадки металла. Данная технология предусматривает нагрев металлического листа пятнами до температуры желтого свечения (700–800 °С) с последующим остыванием до нормальной температуры. Толщина легкого корпуса на заказах варьируется в пределах 10–16 мм. В данных



Рис. 6. Воздействие раскаленного прутка на поверхность образца межбортного покрытия типа «А»
Fig. 6. Effect of incandescent rod upon a sample of Type A inter-hull coating



Рис. 8. Процесс горения межбортного покрытия типа «Ш» при попадании раскаленного прутка на поверхность

Fig. 8. Conflagration of Type Sh inter-hull coating due to contact with incandescent rod



Рис. 7. Воспламенение межбортного покрытия типа «Ш» при попадании раскаленного прутка на поверхность

Fig. 7. Ignition of Type Sh inter-hull coating due to contact with incandescent rod

испытаниях предлагается ограничиться толщиной листа 10 мм.

При проведении испытаний использовалась вертикально расположенная металлическая пластина толщиной 10 мм, на которую по штатной технологии с применением шпатлевки ЭП-0010 был установлен образец покрытия «Пластина-ЯМ». Нагрев металлической пластины со стороны, противоположной месту установки испытательного образца, производился газовой горелкой в круговой зоне диаметром 80–100 мм. В результате испытаний возгорание образца покрытия и клеевого состава не произошло. При прогреве металлической основы слой клеевого состава на основе ЭП-0010 начал выделять дым.

В серии испытаний по определению огнестойкости средств акустической защиты было проведено исследование эффективности средств повышения огнестойкости ГАП. Испытаниям по вышеуказанным методам подверглись экспериментальные образцы покрытий типа «Ш» и «Пластина ГАП»:

- изделие «Ш» с покрытием, содержащим микрогранулы хладона 114 В2;
- изделие «Ш» со вспенивающимся огнезащитным покрытием СГК–2;
- изделие «Пластина ГАП» из штатных резин с нанесением кевларовой ткани;
- изделие «Пластина ГАП» из штатных резин с внешним слоем из огнеупорной резины.

В ходе испытаний огнестойкости ГАП установлено, что поддерживать огонь без воздействия внешних источников возгорания способно только покрытие типа «Ш». Такое покрытие устанавливается в труднодоступных местах, что затрудняет тушение пожара. Поэтому наибольший практический интерес представляет внедрение средств повышения огнестойкости для этого покрытия.

На ФГУП «Крыловский государственный научный центр» проведены испытания двух модификаций экспериментальных изделий типа «Ш» с покрытием из микрогранул хладона 114 В2 и со вспенивающимся огнезащитным покрытием СГК–2.

На рис. 9 показано экспериментальное изделие типа «Ш» с покрытием из микрогранул хладона 114 В2 после проведения испытаний по определению условий воспламенения при падении нагретого прутка. В результате испытаний произошло возгорание. Пламя имело устойчивый характер, сходный с горением штатного покрытия.

При испытаниях экспериментального изделия типа «Ш» со вспенивающимся огнезащитным покрытием СГК–2 возгорания не произошло. Для проверки эксплуатационных свойств изделий типа «Ш» с СГК–2 были проведены испытания на герметичность при давлении 6 МПа. В результате испытаний установлено, что нанесенный состав СГК–2 отсло-

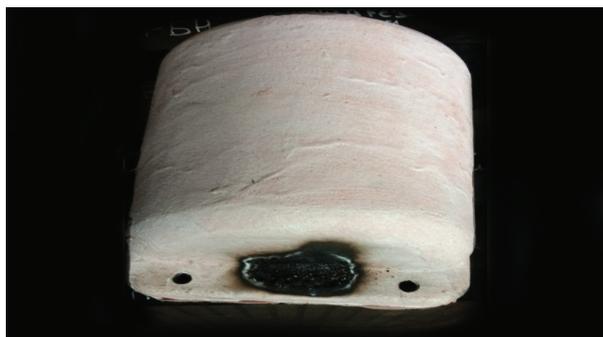


Рис. 9. Экспериментальное изделие типа «Ш» с покрытием из микрогранул хладона 114 В2 после проведения испытаний по определению условий воспламенения при падении нагретого прутка

Fig. 9. Experimental sample of Type Sh tile coated with micro-grains of 114 B2 freon after ignition tests by means of incandescent rod



Рис. 10. Экспериментальное изделие типа «Ш» с вспенивающимся огнезащитным покрытием SGK-2 после испытаний на герметичность

Fig. 10. Experimental sample of Type Sh tile with SGK-2 foaming flame-resistant coating after leakproofness tests

ился от поверхности покрытия после воздействия внешнего гидростатического давления (рис. 10).

Как известно, общая толщина ГАП складывается за счет толщины защитного слоя из бензо-масло-озоностойкого материала, акустического и монтажного слоев. ГАП на корпусные конструкции могут монтироваться тремя способом: клеевым, механическим и клее-механическим. Эскиз принципиальной конструкции ГАП представлен на рис. 11.

На экспериментальных образцах наружного покрытия типа «Пластина ГАП» впервые нанесен внешний огнестойкий слой вместо озоностойкого. Экспериментальные изделия типа «Пластина ГАП» из штатных резин с наружным слоем из огнеупорной резины и из штатных резин с наружным слоем из кевларовой ткани приведены на рис. 12.

Для определения упруго-диссипативных свойств огнестойкой резины были проведены сравнительные

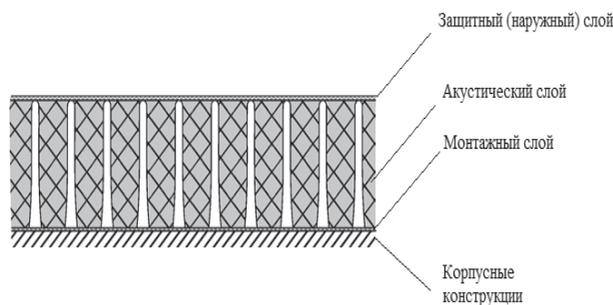


Рис. 11. Эскиз принципиальной конструкции ГАП

Fig. 11. Principal layout of hydroacoustic tile

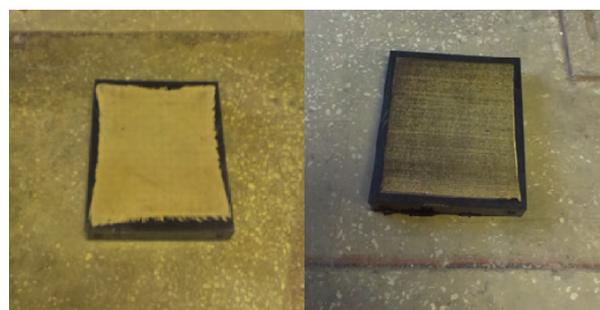


Рис. 12. «Пластина «ГАП» из штатных резин с наружным слоем из огнестойкой резины (а), «Пластина «ГАП» из штатных резин с наружным слоем из кевларовой ткани (б)

Fig. 12. Hydroacoustic tile made of standard rubbers, with its outer layer made of flame-resistant rubber (a) and of kevlar fabric (b)

испытания по определению динамического модуля сдвига и тангенса угла механических потерь на установке «Метравиб» штатной (7-НО-68) и огнестойкой резин. Результаты сравнительных испытаний приведены на рис. 13.

Как видно из результатов сравнительных испытаний (рис. 13), тангенс угла механических потерь штатной и новой огнестойкой резины различается не более чем на 0,05, что лежит в пределах погрешности при проведении измерений. Значение динамического модуля сдвига огнестойкой и штатной резины совпадают в пределах погрешности измерений [1].

На основе экспериментальных данных, полученных на установке «Метравиб», был осуществлен теоретический расчет эффективности по отражению и звукоизоляции гидроакустического покрытия с наружным слоем из используемой в настоящее время и огнестойкой резины (рис. 14).

Как видно из результатов теоретического расчета акустических характеристик (рис. 14) значения

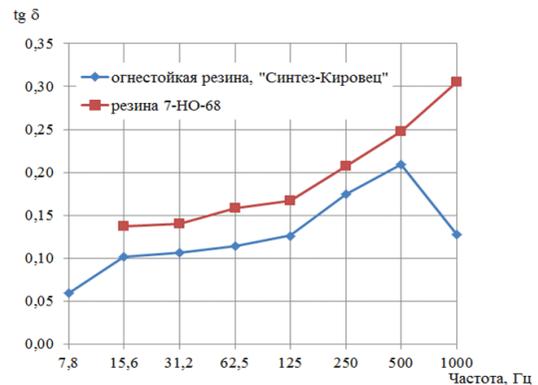
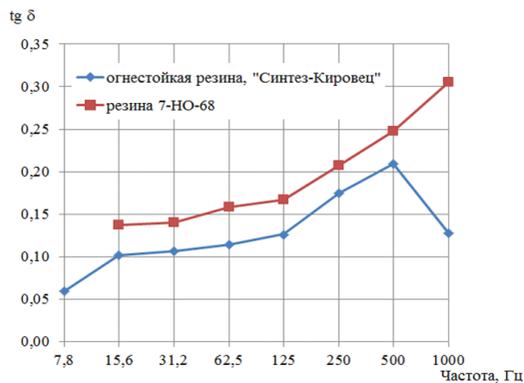


Рис. 13. Динамический модуль сдвига (а) и тангенс угла механических потерь (б) образцов резин
Fig. 13. Dynamic shear modulus (a) and tangent of mechanical loss angle (b) for rubber samples

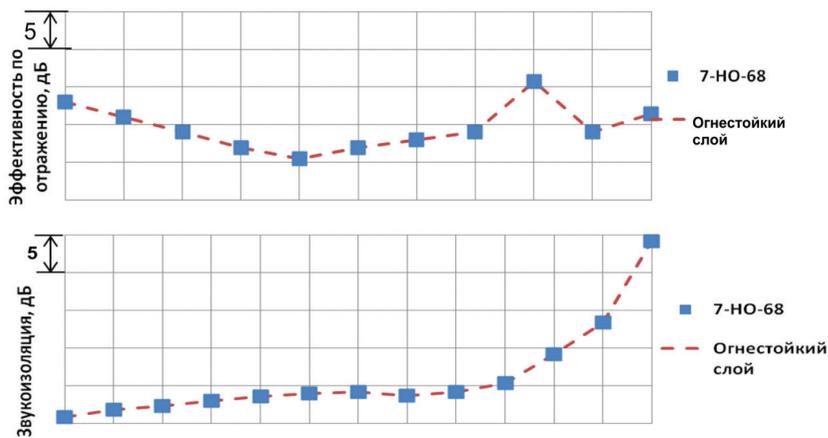


Рис. 14. Расчет эффективности по отражению ГАП с наружным слоем из штатной и огнестойкой резины при гидростатическом давлении 1 МПа (а). Звукоизоляция ГАП с наружным слоем из штатной и новой резины при гидростатическом давлении 1 МПа (б)

Fig. 14. Reflection efficiency calculation for hydroacoustic coating with its outer layer made of standard and flame-resistant rubber under hydrostatic pressure of 1 MPa (a) and sound insulation of hydroacoustic coating with outer layer made of the standard and the new rubber under hydrostatic pressure of 1 MPa (b)

эффективности по отражению и звукоизоляции для огнестойкой резины также совпадают со штатной резиной в пределах погрешности. Для проверки результатов расчета были изготовлены образцы диаметром 148 мм, наружный слой у которых был выполнен из новой огнестойкой резины. Данные образцы прошли испытания на стенде «Гидроакустическая труба «ГАТ-150». Полученные результаты измерений сравнивались с данными, полученными для штатной конструкции.

Результаты сравнительных испытаний приведены на графике (рис. 15), где показана разница в эффективности, полученная путем вычитания эффективности по отражению двух образцов с наружным слоем из штатной и огнестойкой резины.

Результаты сравнительных испытаний приведены на графике (рис. 16), где показана разница в звукоизоляции, полученная путем вычитания звукоизоляции двух образцов с наружным слоем из используемой в настоящее время и новой (огнестойкой) резины.

Анализ графиков (рис. 15–16) показывает, что разница в эффективности по отражению и звукоизоляции двух образцов не превышает погрешности данного метода измерений. Таким образом, основываясь на теоретическом анализе процесса возникновения потерь в гидроакустических покрытиях и подтверждении его экспериментом, можно сделать заключение о том, что использование огнестойкой резины не оказывает существенного влияния на акустические характеристики ГАП.

Подавлению горения огнестойкой резины в экспериментальном покрытии типа «Пластина ГАП» способствовало применение в ее составе хлоропренового каучука и антипирена (трехокись сурьмы). Одно из основных свойств хлоропренового каучука – это стойкость к открытому огню за счет содержания атомов хлора в полимерных цепях. К антипиренам относятся соединения с пламягасящими функциями [2].

При проведении последующих работ по внедрению огнестойких резин в серийные конструкции ГАП

Рис. 15. Результаты сравнительных испытаний эффективности по отражению двух типов образцов ГАП с наружным слоем из используемой в настоящее время и новой резины при гидростатическом давлении 1 МПа

Fig. 15. Comparative test data on efficiency of two hydroacoustic coating types with outer layer made of the currently used rubber and of the new rubber, hydrostatic pressure 1 МПа

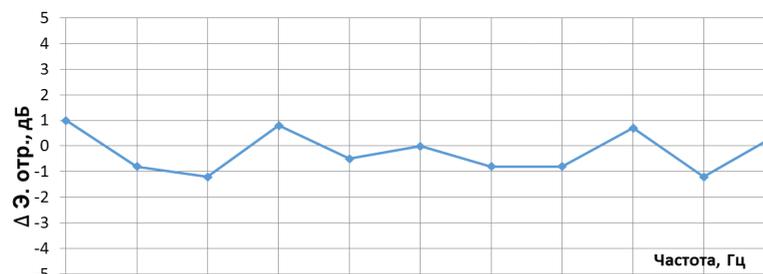
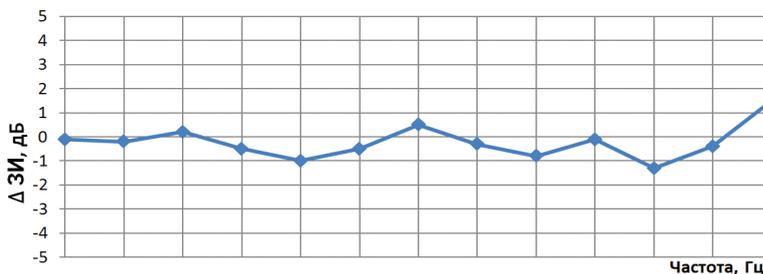


Рис. 16. Результаты сравнительных испытаний двух типов образцов ГАП с наружным слоем из используемой в настоящее время и новой резины при гидростатическом давлении 1 МПа

Fig. 16. Comparative test data on two hydroacoustic coating types with outer layer made of the currently used rubber and of the new rubber, hydrostatic pressure 1 МПа



целесообразно проверить влияние нагрева до высоких температур на прочность связи узла крепления покрытий по существующей нормативной документации при рихтовке легкого корпуса [3–4].

Проведенные исследования свойств огнестойкости ГАП показали, что основным направлением по внедрению средств огнезащиты является замена наружных слоев в межбортных покрытиях на огнестойкие, не ухудшающие их акустические характеристики. Затухить пожар, возникший в межбортном пространстве, крайне затруднительно. Резины, применяемые при изготовлении штатных покрытий типа «Ш», легко воспламеняемы и поддерживают горение. Резина современного межбортного покрытия типа «Пластина ГАП» более огнестойка и не поддерживает горение. Испытания экспериментальных образцов ГАП показали, что нанесение на готовые изделия огнеупорных составов (рис. 9–10) либо не эффективно, либо их эксплуатационные свойства не соответствуют требованиям, предъявляемым на подводном флоте. При внедрении огнеупорного слоя важно учитывать эксплуатационные и технологические свойства резин конкретных изделий, а также их влияние на специальные акустические требования, предъявляемые к ГАП.

Из полученных данных можно сделать следующие предварительные выводы. Для получения высокой эффективности средств огнезащиты ГАП в наружном слое ГАП целесообразно применение огнеупорных резин на основе хлоропренового каучука с добавкой антипирена – трехокиси сурьмы. Использо-

вание огнестойкой резины не оказывает существенного влияния на акустические характеристики ГАП.

Библиографический список

References

1. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. М.: Наука, 1981.
2. ОСТ В5.9128-81 «Покрытия корпусов и корпусных конструкций качество и прочность крепления. Правила приемки и методы контроля».

Сведения об авторах

Кривошапкин Дмитрий Владимирович, инженер 1 категории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: 8 (812) 415-49-64; E-mail: d_krivoshapkin@mail.ru.

Летин Андрей Николаевич, начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: 8 (812) 415-48-66; E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

About the authors

Krivoshapkin D., 1st Category engineer, Krylov State Research Centre. Address: Moskovskoye sh. 44, St. Petersburg, Russia, 196158. Tel.: 8 (812) 415-49-64; E-mail: d_krivoshapkin@mail.ru.

Letin A., Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: Moskovskoye sh. 44, St. Petersburg, Russia, 196158. Tel.: 8 (812) 415-48-66; E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Поступила / Received: 14.02.18
Принята в печать / Accepted: 18.04.18
© Кривошапкин Д.В., Летин А.Н., 2018