DOI: 10.24937/2542-2324-2022-1-399-141-149
УДК 534.833.532+678.078

П.А. Кузьменко, А.В. Крылов
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ НА ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Объект и цель научной работы. Объектами исследования являются типовые средства акустической защиты (САЗ), в частности амортизирующие конструкции (АК) и гидроакустические покрытия (ГАП). Цель работы – определить зависимость изменения характеристик САЗ от технологий их производства.

Материалы и методы. Исследование базируется на проведении экспериментов по определению физико-механических, эксплуатационных и упруго-гистерезисных характеристик полиуретанового материала, а также физико-механических и акустических показателей САЗ, изготовленных с использованием различных технологий.

Основные результаты. Установлено влияние технологии переработки полиуретановой композиции на характеристики эластомерного материала и изготавливаемых из него САЗ. Проведен анализ полученных результатов, оценены преимущества и недостатки каждой из рассматриваемых технологий с точки зрения их востребованности при создании перспективных САЗ, а также целесообразность проведения дальнейших исследований по данному направлению.

Заключение. Для снижения динамического модуля сдвига материала, используемого при создании ГАП и элементов АК может быть применена технология, при которой компоненты полиуретановой композиции перед использованием перемешиваются (гомогенизируются) по отдельности без применения вакуума, за счёт чего происходит дополнительное вовлечение воздуха в компоненты.

Ключевые слова: полиуретановая композиция (ПК), заливочная машина, гидроакустическое покрытие (ГАП), звукоизоляция (ЗИ).

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-1-399-141-149
UDC 534.833.532+678.078

P. Kuzmenko, A. Krylov
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

EFFECT OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR NOISE AND VIBRATION DAMPING TOOLS UPON THEIR PHYSICAL, MECHANICAL AND ACOUSTIC PARAMETERS

Object and purpose of research. This paper discusses typical acoustic protection tools, like resilient mounts and sonar coatings. The purpose is to determine how manufacturing technology of acoustic protection tools affects their performance.

Materials and methods. The study is based on the experiments intended to obtain physical, mechanical, operational and elastic-hysteresis properties of polyurethane material, as well as physical, mechanical and acoustic properties of acoustic protection tools manufactured as per various technologies.

Main results. This research established the manufacturing technology effect of polyurethane compound upon the properties of elastomeric materials and acoustic protection tools made of it. Analysis of the results served to estimate pros and cons

Для цитирования: Кузьменко П.А., Крылов А.В. Влияние технологии производства средств снижения шума и вибрации на их физико-механические и акустические характеристики. Труды Крыловского государственного научного центра. 2022; 1(399): 141–149.

For citations: Kuzmenko P., Krylov A. Effect of manufacturing technology for noise and vibration damping tools upon their physical, mechanical and acoustic parameters. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2022; 1(399): 141–149 (in Russian).

for each of the technologies under investigation in terms of their relevance with respect to advanced acoustic protection designs, as well as to estimate practicability of further studies in this direction.
Conclusion. Dynamic shear modulus reduction of the material used in production of sonar coatigns and resilient mounts could be achieved through a technology where the components of polyurethane compound, prior to their use, are mixed (homogenized) separately without vacuum, which attracts additional air into them.
Keywords: polyurethane compound, dispensing machine, sonar coating, acoustic isolation.
The authors declare no conflicts of interest.

Введение
Introduction

Основным методом борьбы с вибрацией в судостроении является установка оборудования на амортизаторы, а также применение упругих элементов в креплениях трубопроводов. Средства, служащие для снижения уровней вибрации опорных конструкций от работы машин и механизмов, а также препятствующие передаче вибрации по неопорным связям, относятся к классу амортизирующих конструкций (АК). При этом следует отметить, что АК также являются препятствием передачи динамических воздействий со стороны корпусных конструкций на амортизированный механизм.

Типы элементов судовых АК определяются формой упругого элемента, материалом, несущей способностью, жесткостными и деформационными свойствами, а также наличием страховочного устройства, предотвращающего отрыв механизмов и их систем от фундаментов и корпусных конструкций.

Эффективность традиционных резинометаллических АК в основном определяется характеристиками их резиновых упругих элементов. Наиболее важной характеристикой резины, обеспечивающей эффективность данных АК, является модуль упругости. Чем меньше динамический модуль упругости резины, тем ниже собственная частота АК и лучше ее виброизолирующая эффективность [1].

Для уменьшения вибрации корпусных конструкций, валопроводов, насадок движителя и их шумоизоляции в практике судостроения применяются акустические покрытия из звукопоглощающих и звукомягких материалов, которые доказали эффективность в борьбе с шумом. Установка гидроакустических покрытий позволяет снизить шумность в широком диапазоне звуковых частот.

Эффективность ГАП определяется как геометрией воздушных каналов, так и вязкоупругими и диссипативными характеристиками эластомерного материала покрытия. В зависимости от назначения ГАП его эффективность устанавливается коэффициентами прохождения, поглощения и отражения [2].

В данной работе в качестве объектов исследований были выбраны образцы АК и ГАП. В России в качестве эластичных элементов в корабельных САЗ традиционно используются резины специальных марок, имеющие необходимые акустические и физико-механические показатели.

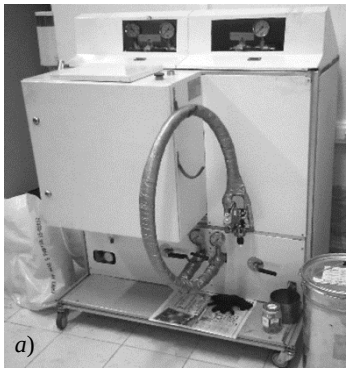
В качестве альтернативы традиционным материалам (резины) появилось множество новых как отечественных, так и импортных эластомерных материалов. В связи с этим актуальным является вопрос подбора материалов для перспективных САЗ. Авторы статьи [3] отмечают целесообразность применения полиуретана в качестве материала для упругого элемента виброизолирующей конструкции, который обладает необходимым коэффициентом потерь и низким модулем упругости. В научной статье [4] показана эффективность модификации полиуретана графеном с целью увеличения коэффициента механических потерь материала в диапазоне частот от 200 до 1000 Гц.

Выполненный в Крыловском центре ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ последних лет показал, что существует ряд полиуретановых композиций (ПК), близких или превосходящих по показателям марки резин, применяемых в САЗ. За это время изучено и экспериментально исследовано множество полиуретановых составов, обладающих разными физико-механическими, упруго-гистерезисными, акустическими, эксплуатационными и др. свойствами [5].

На основании проведенных исследований установлены закономерности, касающиеся взаимосвязей характеристик материала с характеристиками конечного САЗ. Большинство этих закономерностей типично и для САЗ на основе резины, но существуют и отличия.

Учитывая разные технологические процессы изготовления САЗ на основе резины и на основе полиуретановых композиций, актуальным является изучение влияния технологических режимов переработки литьевых ПК на характеристики изготовленных из них образцов САЗ.

Рассмотрим технологию переработки ПК более подробно и выделим основные факторы, которые могут влиять на характеристики изделий.



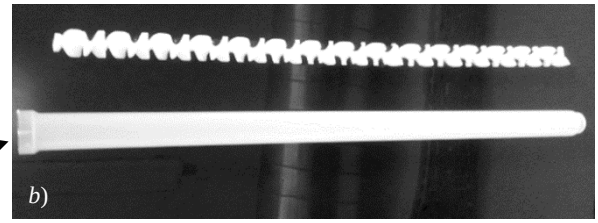


Рис. 1. Внешний вид заливочной машины (*a*), работающей со статическим смесителем (*b*)

Fig. 1. General view of dispensing machine (*a*) with static mixer (*b*)

Технология изготовления изделий из литьевых полиуретанов заключается в смешивании отвакуумированных компонентов полиуретана (форполимера и отвердителя) и последующей заливке получившейся реакционной смеси в заливочную форму [6] (рис. 1).

При этом обычно используют два вида смешивания компонентов ПК [7].

Статическое смешение (далее – **технология 1**). Для данного вида характерно наличие оборудования с соответствующими статическими смесителями (рис. 1*a*). Принцип работы такого смесителя заключается в том, что под невысоким давлением перемещаются два потока компонентов полиуретана. При этом происходит их смешение по ходу движения, и, соответственно, получается химическая реакция. Внешний вид статического смесителя с перемещающимися потоками ПК представлен на рис. 2. На выходе из статического смесителя полученная ПК заливается в соответствующую форму. Далее в форме происходит конечная полимеризация полиуретановой композиции с выделением тепла.

Динамическое смешение (далее – **технология 2**). Данный вид характеризуется тем, что перемешивание потоков полиуретановой композиции происходит в камере со скоростным смесителем (скорость перемешивания до 4500 об/мин), в которую под давлением (до 6 МПа) подаются компоненты ПК. Проходя через смесительную камеру за доли секунд, компоненты ПК активно перемешиваются, после чего происходит заливка полиуретановой композиции в формы и последующее отверждение. Внешний вид заливочной машины с типовым динамическим смесителем представлен на рис. 3.

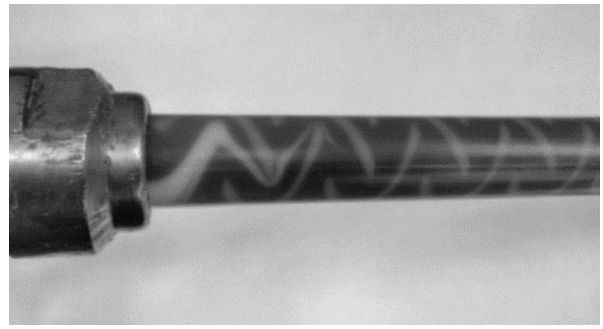
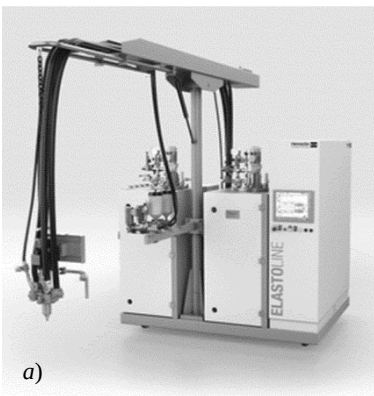


Рис. 2. Внешний вид статического смесителя с перемещающимися потоками полиуретана

Fig. 2. General view of static mixer with moving polyurethane flows



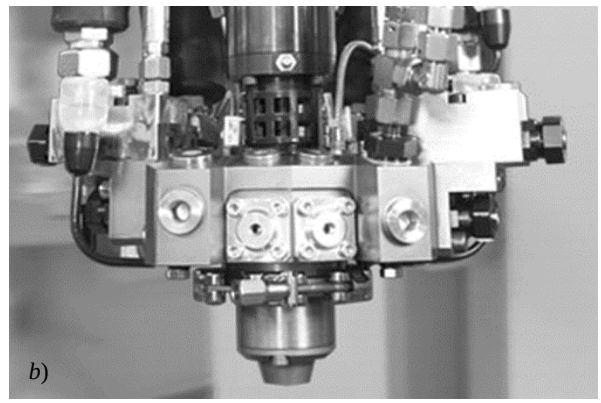


Рис. 3. Внешний вид заливочной машины (*a*) с типовым динамическим смесителем (*b*)

Fig. 3. General view of dispensing machine (*a*) with typical dynamic mixer (*b*)

Отметим, что обе технологии изготовления изделий из ПК предусматривают предварительное вакуумирование обоих компонентов по отдельности для придания им гомогенности и удаления незначительного количества присутствующего в компонентах воздуха (дегазации).

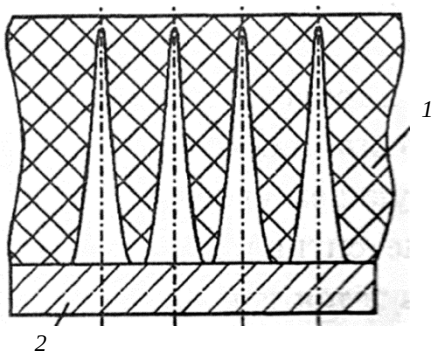


Рис. 4. Образец гидроакустического покрытия из полиуретановой композиции:
1 – пластина с воздушными полостями;
2 – герметизирующий слой

Fig. 4. A sample of polyurethane sonar coating:
1 – tile with air cavities; *2* – sealing layer

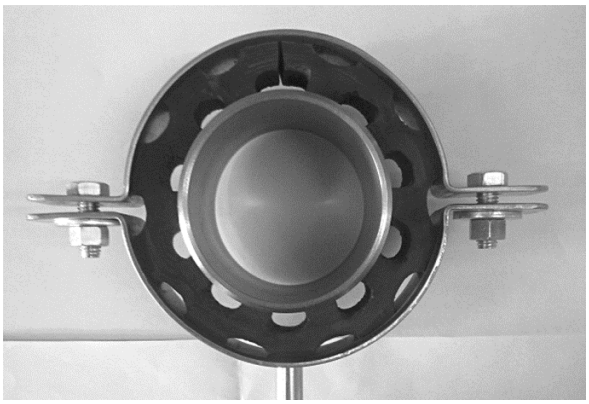


Рис. 5. Внешний вид элемента виброизолирующего зубчатого

Fig. 5. General view of a serrated vibration damper

В данной работе была применена технология, при которой компоненты полиуретановой композиции перед использованием перемешиваются (гомогенизируются) по отдельности без применения вакуума, при этом происходит дополнительное вовлечение воздуха в компоненты (далее – **технология 3**). Следующим этапом компоненты ПК перемешиваются методом динамического смешения.

Рассмотрим влияние указанных технологий на характеристики материала и образцов средств акустической защиты, изготовленных на их основе. С использованием каждой из рассматриваемых технологий были изготовлены следующие САЗ:

- элементы виброизолирующие зубчатые (ЭВЗ) – 2 шт.;
- элементы амортизатора сборного типа «ЭСА-100» – 2 шт.;
- ГАП с рупорами закрытого типа – 1 шт.

Материалом для изготовления образцов САЗ являлась литьевая уретановая композиция «КЦ-П7-С», характеризующаяся низкотемпературной технологией полимеризации [8].

Образец ГАП представлял собой плоскую пластину из ПК герметичной конструкции, которая содержит воздушные полости. Схематичное изображение поперечного сечения образца представлено на рис. 4.

Элемент виброизолирующий зубчатый представляет собой упругий элемент из эластомерного материала, предназначенный для использования в составе подвесок судовых трубопроводов. Его внешний вид представлен на рис. 5.

Элементы амортизатора сборного типа «ЭСА-100» (рис. 6) представляют собой две расположенные параллельно друг другу металлические пластины прямоугольной формы, которые скреплены упругими элементами, изготовленными из ПК.

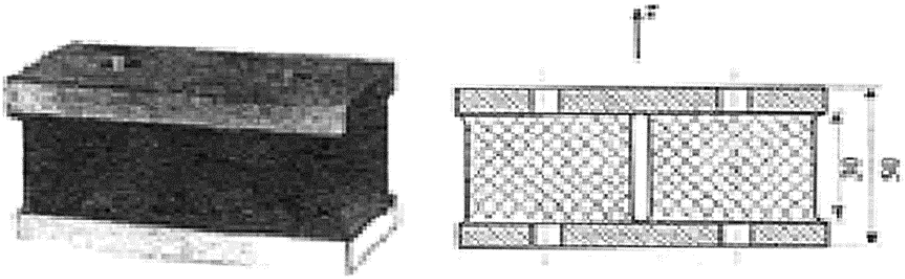


Рис. 6. Элементы амортизатора сборного типа «ЭСА-100»

Fig. 6. Elements of ESA 100 shock mounting assembly

Экспериментальные исследования

Experimental studies

На начальном этапе исследований с использованием рассматриваемой ПК по трем различным технологиям были изготовлены образцы для определения плотности и упруго-гистерезисных показателей материала.

Установлено, что при использовании технологии 3 происходит снижение условной прочности ПК при растяжении (в пределах допустимых значений) и твердости по Шору при незначительном снижении плотности.

При выборе эластомерных материалов для создания САЗ большое значение имеют упруго-гистерезисные показатели материала, а точнее температурно-частотные зависимости динамических модулей и коэффициента механических потерь.

На рис. 7 приведены экспериментально полученные частотные зависимости модуля сдвига и тангенса угла механических потерь для образцов, изготовленных из ПК по различным технологиям.

Из представленных на рис. 7 результатов испытаний видно, что модули сдвига ПК, изготовленной по технологиям 1 и 2, совпадают. Модуль сдвига ПК, изготовленной по технологии 3, ниже, во всем частотном диапазоне. Снижение модуля сдвига у образца, изготовленного по технологии 3, относительно образцов, изготовленных по технологиям 1 и 2, связано с более мягкой структурой образца, в которой присутствуют пузырьки воздуха, что также подтверждается результатами испытаний по определению физико-механических характеристик и плотности материала. Тангенсы угла механических потерь (коэффициенты потерь) всех испытанных образцов совпадают в пределах погрешности измерений.

Следующим этапом исследований являлось определение звукоизоляции образцов ГАП, изготовленных по технологиям 1–3. Испытания проводили на стенде «Гидроакустические трубы» при комнатной температуре окружающего воздуха, при различных величинах гидростатического давления [9].

Результаты испытаний представлены на рис. 8 в виде графиков зависимости от частоты разности

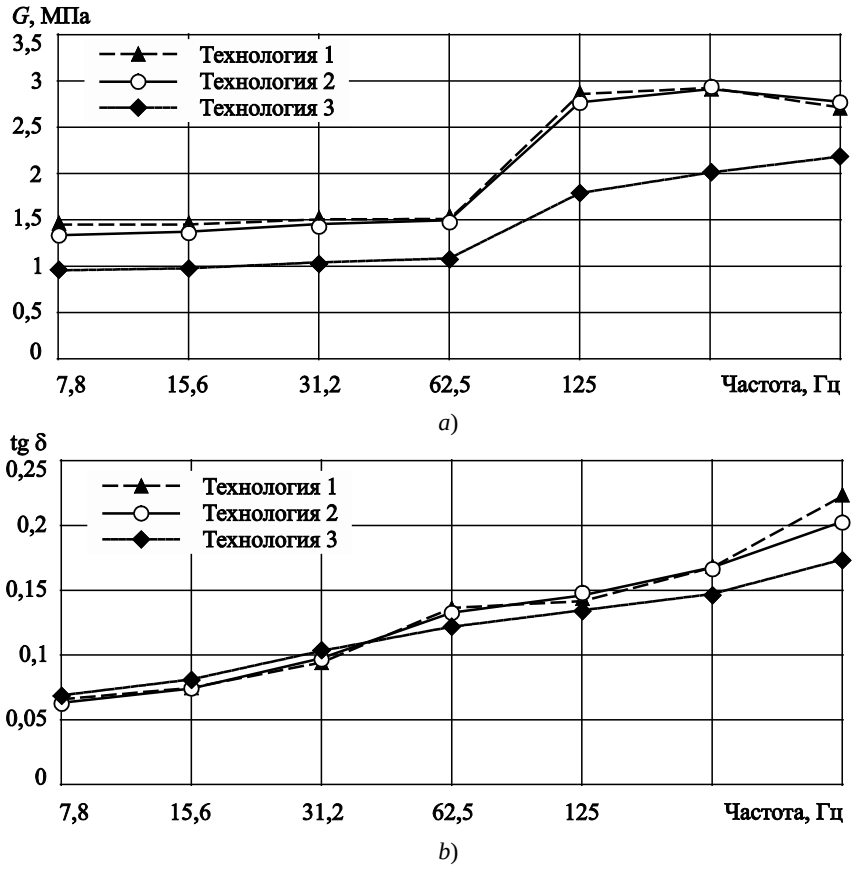


Рис. 7. Экспериментальные частотные зависимости модулей сдвига (*a*) и тангенсов угла механических потерь (*b*) полиуретановой композиции, изготовленной по различным технологиям

Fig. 7. Experimental frequency curves for shear moduli (*a*) and tangents of mechanical loss angle (*b*) of a polyurethane compound manufactured as per different technologies

значений звукоизоляции образцов, изготовленных по технологиям 2 и 3, с образцом, изготовленным по технологии 1.

Из анализа данных, представленных на рис. 8, можно сделать вывод, что звукоизоляция рассматриваемых образцов ГАП, изготовленных с использованием технологий 1 и 2, идентична, с учетом погрешности измерений. Образец, изготовленный по технологии 3, обладает более высокими величинами звукоизоляции, при наиболее стабильном превосходстве во всем частотном диапазоне на величину от 2 до 5 дБ при гидростатическом давлении P_2.

С дальнейшим ростом гидростатического давления превосходство образца, изготовленного с использованием технологии 3, снижается, что может быть связано с частичным схлопыванием пузырьков воздуха в массиве образца. Более высокой звукоизолирующей эффективности образца, изготовленного по технологии 3, по сравнению с образцами, изготовленными по технологиям 1 и 2, способствуют

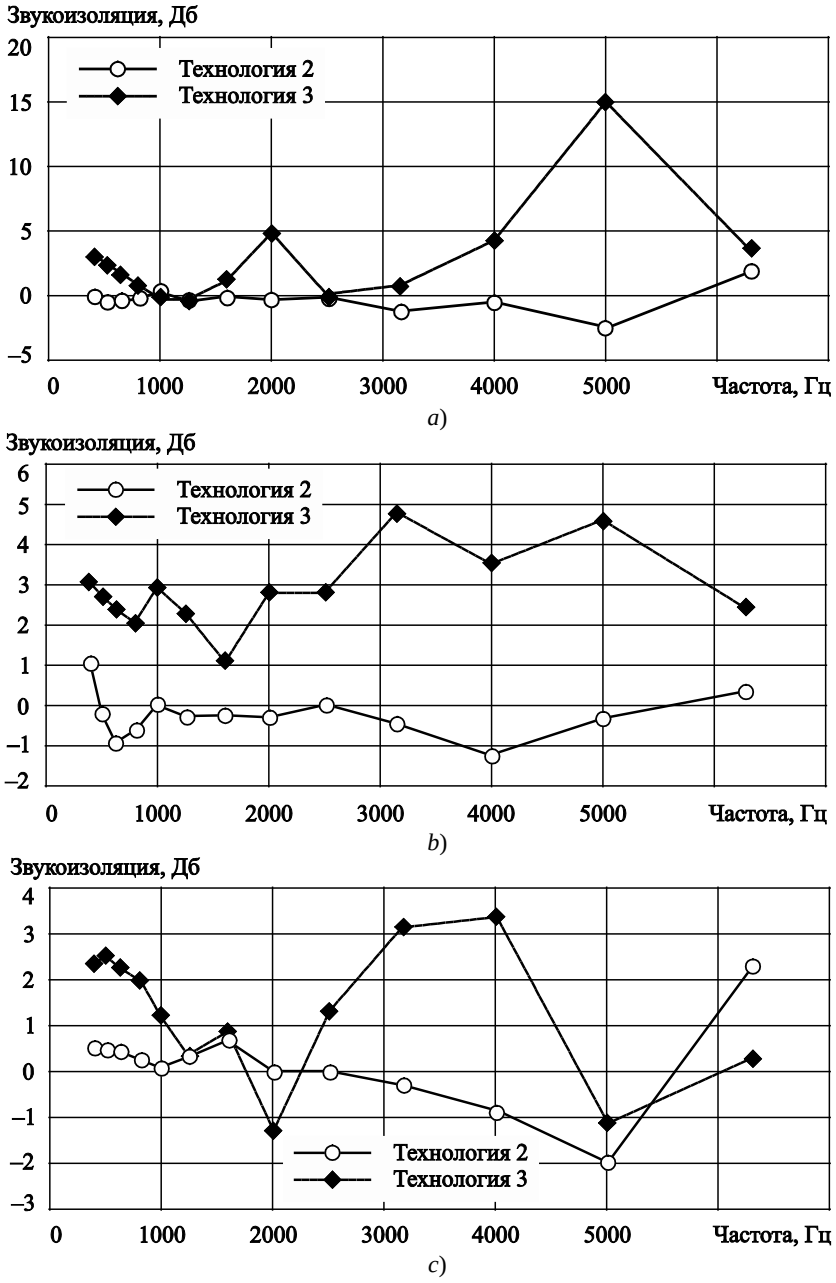


Рис. 8. Звукоизоляция образцов, изготовленных по технологиям 2 и 3, относительно образца, изготовленного по технологии 1, измеренная при гидростатических давлениях: P_1 (*a*), P_2 (*b*) и P_3 (*c*)

Fig. 8. Sound isolation of the samples manufactured as per Technologies 2 and 3 with respect to the sample manufactured as per Technology 1, as measured at hydrostatic pressures P_1 (*a*), P_2 (*b*) и P_3 (*c*)

более низкие значения модуля сдвига (рис. 7*а*), связанные с наличием пузырьков воздуха в ПК.

Образцы элементов амортизирующих конструкций ЭВЗ и «ЭСА-100», изготовленные с использованием рассматриваемых технологий, подвергались испытаниям по определению их статических жесткостей с оценкой разброса показателей. Исследования проводились на стенде испытаний амортизирующих конструкций.

Статические нагрузочные характеристики образцов определялись при статическом сжатии в направлении вертикальной координатной оси *Z* на типовой испытательной машине методом «измерения хода траверсы» [10]. Результаты испытаний по определению статических нагрузочных характеристик образцов ЭВЗ и «ЭСА-100», изготовленных с использованием различных технологий, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Результаты испытаний по определению статических нагрузочных характеристик образцов подвесок с элементами виброизолирующими зубчатыми, изготовленными по различным технологиям

Table 1. Static load test results for hangers with serrated vibration dampers manufactured as per different technologies

Наименование образца	№ образца	Нагрузка, Н	Деформация сжатия, мм	Статическая жесткость, кН/м
Подвеска с ЭВЗ (технология 1)	1	294	0,46	639
Подвеска с ЭВЗ (технология 1)	2	294	0,51	576
Среднее значение, ед. изм.			**0,48**	**607**
Разброс характеристик, %			**10,8**	
Подвеска с ЭВЗ (технология 2)	3	294	0,52	545
Подвеска с ЭВЗ (технология 2)	4	294	0,52	545
Среднее значение, ед. изм.			**0,52**	**545**
Разброс характеристик, %			**–**	
Подвеска с ЭВЗ (технология 3)	5	294	0,54	544
Подвеска с ЭВЗ (технология 3)	6	294	0,53	555
Среднее значение, ед. изм.			**0,54**	**550**
Разброс характеристик, %			**1,8**	

Таблица 2. Результаты испытаний по определению статических нагрузочных характеристик образцов «ЭСА-100», изготовленных по различным технологиям

Table 2. Static load test results for ESA 100 samples manufactured as per different technologies

Наименование образца	№ образца	Нагрузка, Н	Деформация сжатия, мм	Статическая жесткость, кН/м
«ЭСА-100» (технология 1)	1	982	1,08	909
«ЭСА-100» (технология 1)	2	982	1,16	847
Среднее значение, ед. изм.			**1,12**	**877**
Разброс характеристик, %			**7,4**	
«ЭСА-100» (технология 2)	3	982	1,16	847
«ЭСА-100» (технология 2)	4	982	1,14	861
Среднее значение, ед. изм.			**1,15**	**854**
Разброс характеристик, %			**1,7**	
«ЭСА-100» (технология 3)	5	982	2,16	455
«ЭСА-100» (технология 3)	6	982	2,06	477
Среднее значение, ед. изм.			**2,11**	**466**
Разброс характеристик, %			**4,8**	

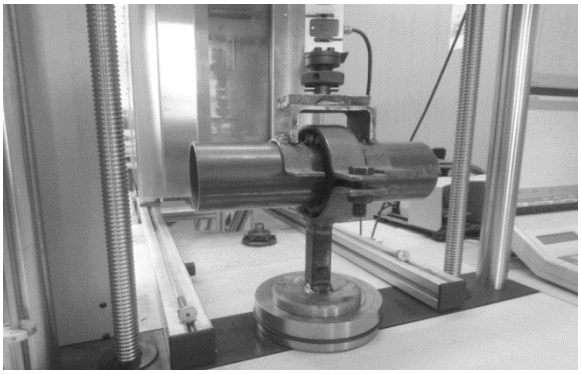


Рис. 9. Внешний вид макета трубопровода с элементом виброизолирующим зубчатым в процессе испытаний по определению статических нагрузочных характеристик

Fig. 9. General view of a dummy pipeline with serrated vibration damper during static load tests

Испытания конструкции ЭВЗ проводились на образцах подвесок, установленных на имитаторах трубопроводов диаметром 89 мм. Величина технологического зазора фиксирующего хомута составляла 10 мм. Внешний вид макета трубопровода с ЭВЗ в процессе испытаний представлен на рис. 9.

Величина нагрузки составляла 294 Н (30 кГс). Скорость нагружения образцов – 10 мм/мин.

Для образцов «ЭСА-100» величина испытательной нагрузки составляла 982 Н. Скорость нагружения образцов – 10 мм/мин.

Из представленных в табл. 1, 2 данных установлено следующее:

- минимальным разбросом жесткостных характеристик в случае применения как «ЭСА-100», так и подвесок, обладают образцы, изготовленные по технологии 2. Это может быть связано, прежде всего, с тем, что в процессе динамического смешения компонентов ПК химическая реакция протекает наиболее интенсивно, и, соответственно, конечные изделия САЗ обладают наиболее стабильными характеристиками. При использовании технологии 3 разброс характеристик увеличивается в связи с наличием пузырьков воздуха в изделии, однако и в данном случае благодаря динамическому смешению разброс показателей меньше, чем при статическом режиме смешения (технология 1);
- статическая жесткость образцов «ЭСА-100», изготовленных по технологии 3, в 1,8–1,9 раза меньше по сравнению с аналогичным показателем образцов, изготовленных по технологиям 1 и 2. Как и в случае с ГАП, это связано с более низкими значениями модуля сдвига материала. На образцах подвесок данное влияние явно не прослеживается в связи с особенностями конструкции исследуемых образцов, смонтированных на макете трубопровода.

Выводы

Conclusion

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при использовании технологии 3 для переработки полиуретановой композиции происходит снижение динамического модуля сдвига материала и его прочности при разрыве (указанные изменения характеристик материала связаны с наличием в нем пузырьков воздуха);
- технология 3 может быть применена при создании гидроакустических покрытий и элементов амортизирующих конструкций.

Список использованной литературы

1. *Попинов В.Р.* Судовые амортизирующие виброизолирующие и противоударные конструкции. Санкт-Петербург : Крыловский гос. науч. центр, 2014. 237 с.
2. *Ионов А.В.* Средства снижения вибрации и шума на судах. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2000. 349 с.
3. *Alrashdan A., Alsumait A., Es-Said O.S.* Material selection of an elastomer capable of absorbing vibrations // Journal of Failure Analysis and Prevention. 2017. Vol. 17, No 3. P. 376–384. DOI: 10.1007/s11668-017-0264-9.
4. Quantifying damping coefficient and attenuation at different frequencies for graphene modified polyurethane by drop ball test / *A. Dashtkar, H. Hadavinia, J. Barros-Rodriguez* [et al.] // Polymer testing. 2021. Vol. 100. P. 107267, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2021.107267.
5. Новые отечественные материалы для средств акустической защиты, повышающие их прочностные и ресурсные показатели / *А.В. Ионов, П.А. Кузьменко, О.В. Хинская* [и др.] // Труды Крыловского государственного научного центра. 2016. Вып. 93. С. 143–154.
6. Влияние на акустические характеристики гидроакустических покрытий технологических режимов переработки литьевых полиуретановых композиций / *П.А. Кузьменко, А.В. Крылов, К.И. Валянтинас* [и др.] // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. Вып. 389.1. С. 81–88.

7. Российское оборудование для автоматизированного дозирования, смешивания и подачи двухкомпонентных высоковязких полиуретановых композиций / *П.А. Кузьменко, О.В. Хинская, В.И. Кузьменко, В.Е. Уткин, С.В. Ткаченко* // Судостроение. 2016. № 4. С. 52–55.
8. ТУ 2253-048-07535359–2013. Литьевая полиуретановая композиция «КЦ-П7-С»: техн. условия. Санкт-Петербург : Крыловский государственный научный центр, 2013.
9. ИМЯН.62-324–04 МИ. Акустические характеристики образцов морской техники. Испытания в гидроакустической трубе «ГАТ-150». Методика. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2004.
10. ИМЯН.62-317–04 МИ. Амортизирующие конструкции. Испытания по определению статической жесткости и прочности на типовой испытательной машине. Методика. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2004.

References

1. *V. Popinov.* Marine shock and vibration mountings. St. Petersburg, Krylov State Research Centre, 2014, pp. 237 (*in Russian*).
2. *A. Ionov*. Noise and vibration damping tools for ships. St. Petersburg, Krylov Shipbuilding Research Institute, 2000, pp. 349 (*in Russian*).
3. *Alrashdan A., Alsumait A., Es-Said O.S.* Material selection of an elastomer capable of absorbing vibrations // Journal of Failure Analysis and Prevention. 2017. Vol. 17, No 3. pp. 376–384. DOI: 10.1007/s11668-017-0264-9.
4. Quantifying damping coefficient and attenuation at different frequencies for graphene modified polyurethane by drop ball test / *A. Dashtkar, H. Hadavinia, J. Barros-Rodriguez* [et al.] // Polymer testing. 2021. Vol. 100. P. 107267, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2021.107267.
5. New Russian materials for acoustic protection means improving their strength and resource properties / *A. Ionov, P. Kuzmenko, O. KHinskaia* [et al.] // Transactions of Krylov State Research Centre, 2016, Issue 93, pp. 143–154 (*in Russian*).
6. Effect of molded polyurethane processing technology upon the acoustic characteristics of sonar coatings / *P. Kuzmenko, A. Krylov, K. Valiantinas* [et al.]. // Transactions of Krylov State Research Centre, 2019, Issue 389.1, pp. 81–88 (*in Russian*).
7. 7. *P. Kuzmenko, O. KHinskaia, V. Kuzmenko, V. Utkin, S. Tkachenko* Russian equipment for automated dosing, mixing and feeding two-component high-viscosity polyurethane compounds // *Sudostroenie* (Shipbuilding), 2016, № 4, pp. 52–55 (*in Russian*).
8. Technical conditions 2253-048-07535359–2013. Molded polyurethane compound KTS-P7-S: technical specifications. St. Petersburg, Krylov State Research Centre, 2013 (*in Russian*).
9. Document IMJAN 62-324–04 MI. Acoustic performance of marine technology. Hydroacoustic tunnel test “GAT-150” («ГАТ-150»). Methodology. St. Petersburg : Krylov Shipbuilding Research Institute, 2004 c.
10. Document IMJAN 62-324–04 MI. Shock mounts. Static stiffness and strength tests on standard testing machine. Methodology. St. Petersburg : Krylov Shipbuilding Research Institute, 2004 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Кузьменко Павел Александрович, к.т.н., заместитель начальника 62-й лаборатории – начальник 624-го сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-65-58. E-mail: krylov6@ksrc.ru. https://orcid.org/0000-0001-7838-3652.

Крылов Андрей Владимирович, к.т.н., начальник стенда 624-го сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 748-63-97. E-mail: krylov6@ksrc.ru.

About the authors

Pavel A. Kuzmenko, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Laboratory – Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-65-58. E-mail: krylov6@ksrc.ru. https://orcid.org/0000-0001-7838-3652.

Andrey V. Krylov, Cand. Sci. (Eng.), Test Rig Manager, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 748-63-97. E-mail: krylov6@ksrc.ru.

Поступила / Received: 20.08.21
Принята в печать / Accepted: 10.03.22
© Кузьменко П.А., Крылов А.В., 2022