

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEFORMATION OF POLYURETHANE ELASTOMERS APPLIED IN THE SHIP'S SHOCK-ABSORBERS

A. A. Chernysh¹, S. N. Yakovlev²

¹ — St. Petersburg State Marine Technical University,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU),
St. Petersburg, Russian Federation

The necessity of using shock-absorbers in modern shipbuilding in order to increase the resource of a depreciable object and its reliability is substantiated. The aim of the work is an experimental study of the deformability of new elastomeric materials used as shock-absorbing material as a vibration-insulating material. It is noted that vibration isolation will be more effective when the co-ratio of the frequencies of forced vibrations and the natural frequency of the system is greater than 5. Polyurethanes with a hardness of 40–45 ShA are used as an elastomeric material in advanced industrialized countries. The polyurethane of the firm “Synair” (USA) which is a cellular structure with arbitrarily located and isolated from each other cavities with a diameter of 0.8–1.5 mm is chosen for the experimental study. The most common types of shock-absorbers with various contact conditions of the vibration-insulating array with supporting plates are presented. The conditions of contacting the polyurethane array with the supporting plates are the first factor determining his deformation. The empirical data on the deformation of the polyurethane array, depending on the various boundary conditions are presented in the paper. An important factor that determines the deformation of the polyurethane array is also considered; it is a form factor, which is defined as the ratio of the area of the supporting surface to the area of the free side surface. A loading device, which is used to measure the samples deformation of cylindrical and rectangular forms, is presented in the paper. Empirical dependences to determine the modulus of elasticity at compression in a product, in particular, in a shock-absorber, depending on the contact conditions at the ends and on the shape factor of the vibration-insulating array are given. The obtained calculated empirical dependences allow us to calculate the sludge damper system at the design stage, which must be taken into account when centering the output shafts of power units.

Keywords: shock-absorber, polyurethane elastomer, frequency of forced vibrations, natural frequency, contact conditions, form factor, shock-absorber draft.

For citation:

Chernysh, Aleksandr A., and Stanislav N. Yakovlev. “An experimental study of the deformation of polyurethane elastomers applied in the ship’s shock-absorbers.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 534–542. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-534-542.

УДК 62-752.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СУДОВЫХ АМОРТИЗАТОРАХ

А. А. Черныш¹, С. Н. Яковлев²

¹ — ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Обоснована необходимость применения амортизаторов в современном судостроении с целью увеличения ресурса амортизируемого объекта и повышения его надежности. Целью работы является экспериментальное изучение деформативности новых эластомерных материалов, применяемых в качестве виброизоляционного материала амортизаторов. Отмечено, что виброизоляция будет эффектив-

нее, когда соотношение частот вынужденных колебаний и частоты собственных колебаний системы будет больше пяти. В качестве эластомерного материала в передовых промышленно-развитых странах для этих целей используются полиуретаны твердостью 40–45 ShA. Для экспериментального исследования был выбран полиуретан фирмы «Supair» (США), представляющий собой ячеистую структуру с произвольно расположенными и изолированными друг от друга полостями диаметром (0,8–1,5 мм). Представлены наиболее распространенные на сегодняшний день типы амортизаторов с различными условиями контакта виброизоляционного массива с опорными пластинами. Условия контактирования полиуретанового массива с опорными пластинами являются первым фактором, определяющим его деформативность. В работе представлены эмпирические данные по деформированию полиуретанового массива в зависимости от различных краевых условий. Рассмотрен также важный фактор, определяющий деформацию полиуретанового массива — фактор формы, который определяется как отношение площади опорной поверхности к площади свободной боковой поверхности. В работе представлено нагружающее устройство, с помощью которого проводились замеры деформации образцов цилиндрической и прямоугольной формы. Приведены эмпирические зависимости по определению модуля упругости при сжатии в изделии, в частности в амортизаторе, в зависимости от условий контактирования на торцах и фактора формы виброизоляционного массива. Полученные расчетные эмпирические зависимости позволяют рассчитать осадку амортизатора на стадии проектирования, что необходимо учитывать при центровке выходных валов силовых агрегатов.

Ключевые слова: амортизатор, полиуретановый эластомер, частота вынужденных колебаний, частота собственных колебаний, условия контактирования, фактор формы, осадка амортизатора.

Для цитирования:

Черныш А. А. Экспериментальное исследование деформативности полиуретановых эластомеров, применяемых в судовых амортизаторах / А. А. Черныш, С. Н. Яковлев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 3. — С. 534–542. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-534-542.

Введение (Introduction)

В современном судостроении наблюдается тенденция к повышению единичной мощности и быстроходности механизмов, что обуславливает повышение динамических нагрузок и возрастание роли колебательных явлений в работе механизмов. Вибрационное состояние определяет ресурс и надежность механизма, поэтому обеспечение низкого уровня вибраций как отдельных элементов, так и всего механизма представляет проблему первостепенной важности.

Наиболее распространенным и эффективным методом снижения уровня вибрации является виброизоляция — снижение уровня вибрации защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний в другие виды энергии, в частности в тепловую, за счет большого внутреннего трения в виброизоляционном массиве амортизатора. До последнего времени в качестве виброизоляционного материала в большинстве амортизаторов использовалась резина. Основным недостатком резиновых амортизаторов является их недолговечность. Со временем они становятся жестче (старение) и через 5– лет их необходимо заменять. Кроме того, с их помощью нельзя получить низкие собственные частоты колебаний системы (< 5 Гц), которые необходимы для тихоходных агрегатов.

В передовых промышленно-развитых странах последние полвека традиционный эластомерный материал (резину) заменяют полиуретановыми эластомерами. Для полиуретанов, как и для резин, свойственно большое внутреннее трение, способное поглощать кинетическую энергию амортизируемого объекта. При этом полиуретан нагревается и рассеивает определенную часть энергии в виде тепла в окружающую среду (диссипация). Для современных полиуретановых эластомеров, согласно [1]–[3], свойственны высокие физико-механические свойства, большой диапазон твердости и эластичности, а также широкий рабочий диапазон: от – 35 °С до + 75 °С.

Целью данной работы является экспериментальное изучение деформативности новых для отечественной промышленности полиуретановых эластомеров, используемых для изготовления амортизаторов.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Полиуретановые эластомеры используются для виброизоляции различных механизмов. Целью виброизоляции является создание таких условий на пути распространения колебаний, которые увеличили бы необратимые потери, тем самым уменьшив энергию, передаваемую от колеблющегося механизма на конструкцию в целом. Схема, демонстрирующая данный принцип виброизоляции, приведена на рис. 1. При разработке мероприятий по виброизоляции следует добиваться того, чтобы амплитуда колебаний, проходящих через амортизатор, была как можно меньше.

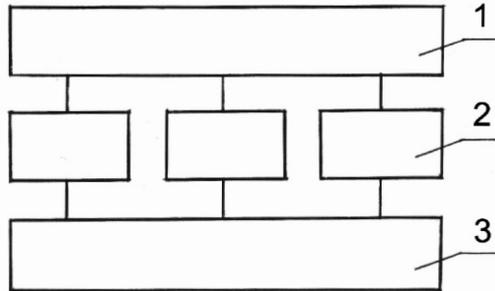


Рис. 1. Принципиальная схема виброизоляции:
1 — источник вибраций; 2 — амортизаторы;
3 — конструкция

Механизм, установленный на амортизаторы, в общем случае представляет собой колебательную систему с шестью степенями свободы. Механизмы, у которых гармоническая возмущающая сила имеет вертикальное направление и приложена к точке, находящейся на одной вертикали с центром тяжести, можно рассматривать как колебательную систему с одной степенью свободы.

Согласно источнику [4], способность амортизатора гасить колебания характеризуется коэффициентом виброизоляции η , который определяется согласно следующему выражению:

$$\eta = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{f_B}{f_c}\right)^2 \frac{4\vartheta^2}{4\pi^2 + \vartheta^2}}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f_B}{f_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f_B}{f_c}\right)^2 \frac{4\vartheta^2}{4\pi^2 + \vartheta^2}}}, \quad (1)$$

где f_B — частота вынужденных колебаний (частота колебаний возбуждающей силы), Гц; f_c — частота собственных колебаний системы агрегат-полиуретан, Гц; ϑ — логарифмический декремент затухания колебаний виброизолирующей системы.

Проанализировав выражение (1), можно заметить, что виброизоляция будет тем лучше, чем больше соотношение частот вынужденных колебаний и частоты собственных колебаний системы, которую определяют, в первую очередь, физико-механические свойства полиуретанового эластомера, используемого в качестве конструкционного материала для виброизоляционного массива амортизатора.

Частота вынужденных колебаний механизма определяется условиями его работы. При этом она является величиной заданной и находится в диапазоне наиболее широко применяемых механических колебаний — от 10 до 50 Гц. Таким образом, для увеличения соотношения частот $\frac{f_B}{f_c}$ необходимо снижать частоту f_c , применяя для этой цели новые материалы.

В настоящее время на рынке виброизоляционных материалов появился новый для отечественной промышленности полиуретановый эластомер фирмы «Synair» (США). Этот материал представляет собой ячеистую структуру с произвольно расположенными и изолированными друг от друга полостями малого диаметра (0,8–1,5 мм). Данный полиуретановый эластомер, согласно

источнику [5], относится к материалам малой ($< 45 \text{ ShA}$) твердости, для которого свойственны следующие отличительные особенности:

- высокая стойкость к воздействию масел и дизельного топлива;
- высокая усталостная прочность;
- отсутствие видимого старения (изменение физико-механических свойств во времени) в течение 10 лет;
- увеличенная площадь теплоотдачи, что особенно важно для работы виброизоляционного материала амортизатора.

Данный полиуретановый эластомер производится твердостью 40 и 45ShA и служит для изготовления амортизаторов малой жесткости, в основном для амортизации точного оборудования с низкой собственной частотой порядка 3–6 Гц.

В судостроительной промышленности на сегодняшний день наибольшее распространение получили следующие типы амортизаторов:

1. Сварные резиноталлические амортизаторы, представляющие собой неразборное изделие с резиновым виброизоляционным массивом, привулканизированным, или «приваренным» к металлическим деталям.

2. Сборные амортизаторы, у которых упругий резиновый виброизоляционный элемент не привулканизирован ни к одной из металлических деталей.

3. Сборно-сварные амортизаторы, у которых упругий резиновый элемент привулканизирован к металлическим деталям и полученный таким образом резиноталлический блок после сборки с другими металлическими деталями образует резиноталлический амортизатор.

Важнейшими функциональными расчетными характеристиками амортизаторов являются его жесткость и способность гасить амплитуду колебаний за счет внутреннего трения эластомера. Очевидно, что чем меньше жесткость амортизатора, тем больше его деформация и меньше частота собственных колебаний системы.

Жесткость, а следовательно, и деформация цилиндрической либо призматической эластомерной детали, подвергаемой сжатию, зависят от условия контактирования на торце эластомерного массива с металлическими пластинами. При незакрепленных, смазанных глицерином торцах, эластомерный массив будет деформироваться в соответствии со схемой, представленной на рис. 2, а. При деформации этого же массива с закрепленными торцами (случай сварного амортизатора), изменение формы эластомерного массива, представлено на рис. 2, б.

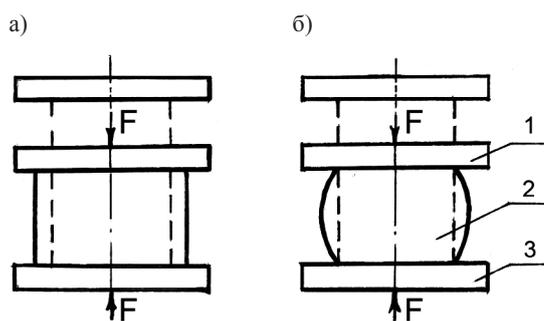


Рис. 2. Схема деформации цилиндрических образцов при сжатии:
 а — свободное скольжение; б — закрепленные торцы
 Условные обозначения: 1, 2 — опорные пластины;
 3 — эластомерный массив

Модуль упругости эластомера при сжатии $E_{сж}$, в соответствии с ГОСТом 9550–81, определяют на образцах диаметром 32 мм и высотой 38 мм со смазанными глицерином торцами и скоростью сжатия не более 0,4 мм/с. При одной и той же площади торцевых поверхностей и одинаковых условиях контактирования эластомерного массива с металлическими пластинами жесткость амортизатора зависит от легкости деформирования боковой поверхности.

Возможность деформации зависит от отношения

$$\Phi = \frac{S_T}{S_6}, \quad (2)$$

где S_T — площадь одной торцевой опорной поверхности; S_6 — площадь всей свободной боковой поверхности.

Можно утверждать, что деформация виброизоляционного массива амортизатора зависит от его формы, размеров и условий взаимодействия эластомера с опорными плитами.

Для изучения вопросов деформативности упругого массива амортизатора было спроектировано и изготовлено специальное нагружающее устройство, конструкция которого представлена на рис. 3.

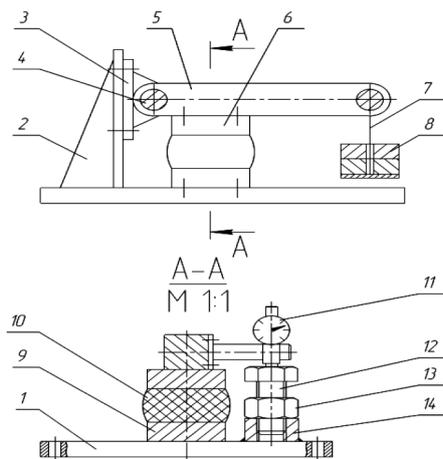


Рис. 3. Специальное нагружающее устройство:

1 — плита; 2 — упор; 3 — кронштейн; 4 — ось; 5 — рычаг; 6 — верхняя пластина; 7 — подвес;
8 — груз; 9 — нижняя пластина; 10 — эластомерный массив; 11 — стрелочный индикатор;
12 — упорный винт; 13 — контргайка; 14 — бобышка

Для экспериментального исследования деформативности виброизоляционного массива амортизатора использовались образцы прямоугольной и цилиндрической формы с различным соотношением габаритных размеров твердостью 45 ShA.

Методика по определению деформативности виброизоляционного эластомерного массива состоит из последовательного выполнения следующих действий:

1. Изготавливаем образцы различной формы и размеров для испытаний, включая образцы для определения модуля упругости при сжатии согласно ГОСТ 9550–81.

2. Установив грузы на подвес, определяем величину сжатия образца с помощью стрелочного индикатора. Нагружение производим с интервалом 0,05ε в предполагаемом рабочем диапазоне от 0 до 0,25ε.

3. С целью получения достоверных результатов измерение деформации выполняем на трех образцах выбранной геометрической формы.

4. При обработке экспериментальных данных методами математической статистики значения деформации, отличающиеся от средних значений более чем на 10 %, в расчет не принимаем.

Очевидно, что деформация виброизоляционного массива амортизатора зависит от модуля упругости эластомера при сжатии, вида контактирования полиуретанового массива с металлическими пластинами и геометрических размеров непосредственно самого упругого элемента.

Результаты (Results)

Замеры деформации упругого массива проводили для трех различных видов контактирования массива с металлическими пластинами:

– в первом случае опытный образец сжимается между смазанными пластинами и определяется модуль упругости полиуретана при сжатии согласно ГОСТ 9550–81;

– второй случай контактирования соответствует конструкции сборного амортизатора, когда виброизоляционный массив сжимается металлическими пластинами шероховатостью $R_a = 1,25$ мкм;

– в третьем случае виброизоляционный массив полимеризуется с пластинами в литевой форме и этот вид контактирования соответствует случаю сварного амортизатора.

На рис. 4 представлена зависимость деформаций образца твердостью 45ShA для трех видов контактирования на торце.

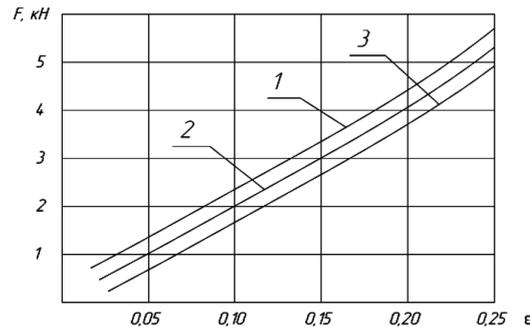


Рис. 4. Деформация полиуретановых образцов твердостью 45 ShA для трех различных видов контактирования на торцах:

- 1 — со смазанными торцами; 2 — металлические пластины шероховатостью $R_a = 1,25$ мкм; 3 — торцы неподвижны относительно металлических пластин в результате полимеризации

Благодаря точному замеру деформации экспериментального образца с помощью стрелочного индикатора ценой деления 0,01 мм, удалось выявить следующее:

1. При контакте полиуретанового образца со смазанными пластинами торцевой эффект не наблюдается и $K_{\text{тор}} = 1$.

2. При контакте полиуретанового образца с незакрепленными металлическими пластинами шероховатостью $R_a = 1,25$ мкм наблюдается увеличение жесткости образца и $K_{\text{тор } R_a=1,25} = 1,10$.

3. Для случая сварного амортизатора, когда упругий полиуретановый массив прикреплен к металлическим пластинам с помощью полимеризации, жесткость образца наибольшая и $K_{\text{тор, полим}} = 1,15$.

Значительно большее влияние на жесткость полиуретанового массива амортизатора при сжатии оказывает коэффициент формы. Имеется большое количество публикаций [6]–[8], которые свидетельствуют об увеличении жесткости образца с уменьшением его высоты.

Для образцов прямоугольной формы, аналогичных судовым амортизаторам БРМ (блоки резинометаллические) фактор формы,

$$\Phi = \frac{ab}{2(a+b)H}, \quad (3)$$

где a и b — размеры сторон массива, мм; H — высота массива, мм.

На основании большого количества замеров деформативности образцов прямоугольной формы, была получена зависимость коэффициента ужесточения от коэффициента формы Φ :

$$K_{\text{ужест. прям}} = 1 + 0,16\Phi^{1,04}. \quad (4)$$

Для амортизаторов, у которых виброизоляционный массив имеет форму цилиндра, фактор формы,

$$\Phi = \frac{D}{4H}, \quad (5)$$

где D — диаметр цилиндра, мм; H — высота цилиндра, мм.

После аппроксимации экспериментальных кривых «нагрузка – деформация», было получено выражение для коэффициента ужесточения цилиндрических образцов:

$$K_{\text{ужест. цил}} = 1 + 0,23\Phi^{1,13}. \quad (6)$$

Учитывая ранее изложенное, можно получить выражение для определения модуля упругости амортизатора, в котором будут учтены следующие параметры:

- модуль упругости эластомера при сжатии согласно ГОСТу 9550–81;
- характер контактирования на торцах виброизоляционного массива и металлических пластин;
- геометрическая форма упругого массива и его размеры.

Таким образом, определение модуля упругости эластомера при сжатии в изделии (в частности, в амортизаторе) можно выполнить по следующей формуле:

$$E_{\text{амор}} = E_{\text{ст}} K_{\text{тор}} K_{\text{ужест}}, \quad (7)$$

где $E_{\text{ст}}$ — модуль упругости эластомера при сжатии, МПа; $K_{\text{тор}}$ — коэффициент, учитывающий характер взаимодействия на торцах между виброизоляционным массивом и опорными пластинами; $K_{\text{ужест}}$ — коэффициент, учитывающий геометрическую форму и размеры виброизоляционного массива.

Анализируя полученные для полиуретановых эластомеров зависимости «нагрузка – деформация», можно отметить, что в пределах 20 % относительной деформации зависимость мало отличается от линейной.

Осадку амортизатора в пределах 20 % деформации можно рассчитать по формуле

$$\delta = \frac{FH}{SE_{\text{изд}}}, \quad (8)$$

где F — нагрузка на амортизатор, Н; H — высота виброизоляционного массива амортизатора, мм; S — площадь поперечного сечения виброизоляционного массива, мм²; $E_{\text{амор}}$ — модуль упругости эластомера при сжатии в конструкции амортизатора, МПа.

Обсуждение (Discussion)

Полученные в ходе экспериментального исследования зависимости деформативности ячеистых полиуретановых эластомеров, довольно значительно (15–20 %) отличаются от результатов подобных исследований для сплошных полиуретановых эластомеров той же твердости [9], [10]. Вполне очевидно, что данное различие можно объяснить строением материала.

Полученные зависимости качественно совпадают с зависимостями для деформации перфорированной резины приведенными в работах [11]. Учитывая схожесть структуры эластомеров, качественный характер зависимости «нагрузка – деформация» вполне очевиден.

Заключение (Conclusion)

1. Полученные в работе эмпирические зависимости необходимо использовать при расчете осадки амортизатора для точной установки оборудования, так как требования к центровке современных силовых агрегатов постоянно повышаются и на сегодняшний день составляют $\pm 0,05$ мм.

2. Приведенные в работе эмпирические зависимости по определению деформации сжатия полиуретанового амортизатора справедливы в пределах 20 % деформации.

3. Не рекомендуется превышение данной деформации, так как макромолекулы полиуретанового эластомера переходят в ориентированное состояние, при котором снижается диссипативная возможность виброизоляционного массива амортизатора. Кроме того, при превышении данной величины относительной деформации упругого массива начинает расти собственная частота колебаний системы, что приводит к уменьшению эффективности работы амортизатора.

4. В качестве основных направлений дальнейшего изучения конструкционных свойств полиуретановых эластомеров следует предложить исследование ползучести, циклической прочности, модуля внутреннего трения и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Solota S. Harteproofung an Hochleistungsprodukten aus Kunststoffen und Elastomeren / S. Solota // Gummi. Fasern. Kunststoffe. — 2016. — No. 7. — Pp. 26–31.
2. Yakovlev S.N. Vibroisoating properties of polyurethane elastomeric materials, used in construction / S. N. Yakovlev, V.L. Mazurin // Magazine of Civil Engineering. — 2017. — No. 6 (74). — Pp. 53–60.
3. Kahraman H. Einfluss von aktiven Fullstoffen in Elastomeren auf den anisotropen Mullins-Effekt. Anisotroper Mullins-Effekt / H. Kahraman, E. Haberstroh // Gummi. Fasern. Kunststoffe. — 2014. — No. 5. — Pp. 296–298.
4. Yakovlev S.N. Self-Oscillation of an Elastic Polyurethane Coating in Polishing / S.N. Yakovlev // Russian Engineering Research. — 2014. — Vol. 34. — Is. 5. — Pp. 295–298. DOI: 10.3103/S1068798X14050189.
5. Yakovlev S.N. Dynamic Hardening of Structural Polyurethanes / S.N. Yakovlev // Russian Engineering Research. — 2016. — Vol. 36. — Is. 4. — Pp. 255–257. DOI: 10.3103/S1068798X16040213.
6. Franssen O. Die Erfolgsgeschichte der Siliconelastomere. Siliconelastomere / O. Franssen, H. Bayerl // Gummi. Fasern. Kunststoffe. — 2012. — No. 7. — Pp. 462–470.
7. Zhang H. Synthesis and characterization of polyurethane elastomers / H. Zhang, Y. Chen, Y. Zhang, X. Sun, H. Ye, W. Li // Journal of Elastomers & Plastics. — 2008. — Vol. 40. — Is. 2. — Pp. 161–177. DOI: 10.1177/0095244307085540.
8. Pacheco M. F. M. Thermal, chemical, and morphological characterization of microcellular polyurethane elastomers / M. F. M. Pacheco et al // Journal of Elastomers & Plastics. — 2009. — Vol. 41. — Is. 4. — Pp. 323–338. DOI: 10.1177/0095244309095016.
9. Oßwald K. Aspekte der Alterung elastomerer Werkstoffe / K. Oßwald, K. Reincke, S. Döhler, U. Heuert, B. Langer, W. Grellmann // KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe. — 2017. — Vol. 70. — Is. 8. — Pp. 498–506.
10. Mizera K. Thermal properties of polyurethane elastomers from soybean oil-based polyol with a different isocyanate index / K. Mizera, J. Ryszkowska // Journal of Elastomers & Plastics. — 2019. — Vol. 51. — Is. 2. — Pp. 157–174. DOI: 10.1177/0095244318772323.
11. Bakhtiyarov S.I. Rheological studies of functional polyurethane composite: Part 1. Rheology of polyurethane composite, its compounds with and without solid additives (aluminum flakes) / S.I. Bakhtiyarov, J. C. Oxley, J. L. Smith, P. M. Baldovi // Journal of Elastomers & Plastics. — 2018. — Vol. 50. — Is. 3. — Pp. 222–240. DOI: 10.1177/0095244317715787.

REFERENCES

1. Solota, Sante “Harteproofung an Hochleistungsprodukten aus Kunststoffen und Elastomeren.” *Gummi. Fasern. Kunststoffe* 7 (2016): 26–31.
2. Yakovlev, Stanislav Nikolaevich, and Valeriy Leonidovich Mazurin. “Vibroisoating properties of polyurethane elastomeric materials, used in construction.” *Magazine of Civil Engineering* 6(74) (2017): 53–60.
3. Kahraman, Hart, and Ebel Haberstroh. “Einfluss von aktiven Fullstoffen in Elastomeren auf den anisotropen Mullins-Effekt. Anisotroper Mullins-Effekt.” *Gummi. Fasern. Kunststoffe* 5 (2014): 296–298.
4. Yakovlev, Stanislav Nikolaevich. “Self-Oscillation of an Elastic Polyurethane Coating in Polishing.” *Russian Engineering Research* 34.5 (2014): 295–298. DOI: 10.3103/S1068798X14050189.
5. Yakovlev, Stanislav Nikolaevich. “Dynamic Hardening of Structural Polyurethanes.” *Russian Engineering Research* 36.4 (2016): 255–257. DOI: 10.3103/S1068798X16040213.
6. Franssen, O., and H. Bayerl. “Die Erfolgsgeschichte der Siliconelastomere. Siliconelastomere.” *Gummi. Fasern. Kunststoffe* 7 (2012): 462–470.
7. Zhang, Huibo, Yadong Chen, Yongchun Zhang, Yongchun Zhang, and Wen Li. “Synthesis and characterization of polyurethane elastomers.” *Journal of Elastomers & Plastics* 40.2 (2008): 161–177. DOI: 10.1177/0095244307085540.
8. Pacheco, Marcos F.M., Otávio Bianchi, Rudinei Fiorio, Ademir J. Zattera, Mara Zeni, Marcelo Giovanela, and Janaina S. Crespo. “Thermal, chemical, and morphological characterization of microcellular polyurethane elastomers.” *Journal of Elastomers & Plastics* 41.4 (2009): 323–338. DOI: 10.1177/0095244309095016.
9. Oßwald, K., K. Reincke, S. Döhler, U. Heuert, B. Langer, and W. Grellmann. “Aspekte der Alterung elastomerer Werkstoffe.” *KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe* 70.8 (2017): 498–506.

10. Mizera, Kamila, and Joanna Ryszkowska. “Thermal properties of polyurethane elastomers from soybean oil-based polyol with a different isocyanate index.” *Journal of Elastomers & Plastics* 51.2 (2019): 157–174. DOI: 10.1177/0095244318772323.

11. Bakhtiyarov, Sayavur I., Jimmie C. Oxley, James L. Smith, and Philipp M. Baldovi. “Rheological studies of functional polyurethane composite: Part 1. Rheology of polyurethane composite, its compounds with and without solid additives (aluminum flakes).” *Journal of Elastomers & Plastics* 50.3 (2018): 222–240. DOI: 10.1177/0095244317715787.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Черныш Александр Алексеевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГОАУ «Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет»
190121, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Лоцманская ул., 3
e-mail: a.chernysh1954@mail.ru

Яковлев Станислав Николаевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГОАУ «Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Политехническая ул., 29
e-mail: stannik59@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Chernysh, Aleksandr A. —
PhD, associate professor
St. Petersburg State Marine
Technical University
3 Lozmannskaya Str., St. Petersburg, 190121,
Russian Federation
e-mail: a.chernysh1954@mail.ru

Yakovlev, Stanislav N. —
PhD, associate professor
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(SPbPU)
29 Polytechnicheskaya Str., St. Petersburg, 195251,
Russian Federation
e-mail: stannik59@mail.ru

Статья поступила в редакцию 4 апреля 2019 г.

Received: April 4, 2019.