

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-893-901

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE HEATING TEMPERATURE OF THE POLYURETHANE SHOCK ABSORBER UNDER DYNAMIC LOADING

A. A. Chernych¹, 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 rationale for the need to replace the traditional vibration insulation material - rubber with a more advanced polyurethane is given. The aim of the work is to obtain an empirical relationship to determine the heating temperature of the shock absorber depending on the loading conditions and the ratio of its geometric dimensions. The vibration damping mechanism using viscoelastic materials is described in the paper. Detailed description of the test bench for carrying out an experimental study to determine the heating temperature of a shock absorber depending on its loading conditions, as well as detailed description of the experimental research methodology and the rationale for choosing the dynamic loading frequency, are presented.

A polyurethane elastomer of three hardnesses of the Elast trademark of Synair company (United Kingdom) is chosen as an experimental material. The empirical relationship obtained in the work allows determining the heating temperature of the vibration-insulating shock absorber array, working under compression under dynamic loading, as a function of five variables: static compression strain, loading frequency, amplitude of forced oscillations, polyurethane hardness, and form factor of the vibration-insulating shock absorber array. The presented empirical dependence allows determining the operating temperature of the shock absorber at the design stage and, as a result, its durability. The obtained dependence indicates the additivity of heating the shock absorber from static and dynamic loading. More significant contribution to heating the shock absorber from the side of static deformation has been indicated. When exceeding 15% deformation, there is a significant decrease in the dissipative capacity of elastomeric materials, which leads to increased heating the vibration-insulating shock absorber array.

In conclusion, the prospective use of polyurethane elastomers as a vibration-proof shock absorbers material is justified. The indisputable advantage of polyurethanes compared with the rubber is indicated. The main advantage is a higher elastic modulus in the polyurethane compression compared with the rubber with the same hardness.

Keywords: polyurethane, shock absorber, heating temperature, rubber-metal block, form factor, heating additivity, shock absorber durability.

For citation:

Chernysh, Aleksandr A., and Stanislav N. Yakovlev. "Experimental determination of the heating temperature of the polyurethane shock absorber under dynamic loading." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): 893–901. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-893-901.

УДК 62-752.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОЛИУРЕТАНОВОГО АМОРТИЗАТОРА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

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

Приведено обоснование необходимости замены традиционного виброизоляционного материала — резины — на более совершенный материал — полиуретан. Целью работы являлось получение эмпирической



зависимости для определения температуры нагрева амортизатора в зависимости от условий нагружения и соотношения его геометрических размеров. В работе дано описание механизма демпфирования колебаний с использованием вязкоупругих материалов. Представлены подробные описания стенда для проведения экспериментального исследования по определению температуры нагрева амортизатора в зависимости от условий его нагружения, и методики экспериментального исследования, а также дано обоснование выбора частоты динамического нагружения. В качестве экспериментального материала выбран полиуретановый эластомер торговой марки Elast фирмы Synair (Великобритания) трех твердостей. Полученная в работе эмпирическая зависимость позволяет определить температуру нагрева виброизоляционного массива амортизатора, работающего на сжатие при динамическом нагружении как функцию пяти переменных: величины статической деформации сжатия, частоты нагружения, амплитуды вынужденных колебаний, твердости полиуретана и величины коэффициента формы виброизоляционного массива амортизатора. Представленная эмпирическая зависимость позволяет на стадии проектирования определить рабочую температуру амортизатора и как следствие его долговечность. Данная зависимость свидетельствует об аддитивности нагрева амортизатора от статического и динамического нагружения. Указано на более значительный вклад в нагрев амортизатора со стороны статической деформации. При превышении 15 % деформации происходит значительное снижение диссипативной возможности эластомерных материалов, что приводит к повышенному нагреву виброизоляционного массива амортизатора. Обоснована перспективность применения полиуретановых эластомеров в качестве виброизоляционного материала амортизаторов. Указано такое неоспоримое преимущество полиуретанов по сравнению с резинами, как более высокий модуль упругости при сжатии у полиуретана по сравнению с резинами при одинаковой твердости.

Ключевые слова: полиуретан, амортизатор, температура нагрева, блок резинометаллический, коэффициент формы, аддитивность нагрева, долговечность амортизатора.

Для цитирования:

Черныш А. А. Экспериментальное определение температуры нагрева полиуретанового амортизатора при динамическом нагружении / А. А. Черныш, С. Н. Яковлев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 893–901. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-893-901.

Введение (Introduction)

В современном судостроении широкое распространение получили амортизаторы, применяемые для демпфирования (уменьшения) амплитуды вынужденных колебаний циклического или ударного воздействия от недостаточно уравновешенных агрегатов на корпус судна (активная изоляция) или уменьшения амплитуды передаваемых колебаний от вибрирующего корпуса судна к смонтированному на нем оборудованию (пассивная изоляция).

Демпфирование колебаний представляет собой процесс диссипации энергии внутри виброизоляционного массива амортизатора под воздействием динамических нагрузок. При этом механическая энергия колебаний преобразуется в тепловую. Количество рассеиваемой энергии является мерой уровня демпфирования материала. Демпфирующий виброизоляционный массив амортизатора изменяет частоту колебаний опорных пластин амортизатора и увеличивает потери энергии при прохождении колебаний внутри материала. Наиболее широкое распространение в качестве виброизоляционного материала получила резина. Помимо резины, для виброизоляционных целей используют войлок, пробку, минеральную вату и другие материалы.

В последнее время в качестве виброизоляционного материала при изготовлении амортизаторов начали применять полиуретановые эластомеры, обладающие рядом преимуществ по сравнению с резинами [1]–[3]. К ним относятся высокая прочность, эластичность и довольно широкий рабочий диапазон температур: от –35 °C до +75 °C.

Целью данной работы является получение эмпирической зависимости для определения температуры нагрева полиуретанового виброизоляционного массива амортизаторав в зависимости от условий нагружения и его геометрических размеров.

Полиуретановые эластомеры относятся к виброизоляционным материалам, которые имеют высокую эффективность гашения вибраций [4]. Эти свойства полиуретанам обеспечивают средние показатели модуля упругости при сжатии (для полиуретана твердостью 55 ShA начальный



модуль упругости при сжатии равен примерно 5 МПа) в сочетании с высокой поглощающей способностью.

Основой механизма демпфирования вибраций является вязкоупругое поведение полиуретановых эластомеров. Термин «вязкоупругий» означает, что демпфирующий материал обладает как вязкой, так и упругой составляющей поведения. Упругий материал — тот, который сохраняет энергию во время действия нагрузки и возвращает всю энергию после того как нагрузка будет удалена. Вязкий материал не возвращает энергию, так как часть энергии теряется на внутреннее трение (гистерезис). Таким образом, в вязкоупругом материале сохраняется часть энергии во время действия нагрузки, а затем большая часть преобразуется в тепло. При применении амортизаторов энергия колеблющегося тела поглощается виброизоляционным массивом и преобразуется в некоторое количества тепла. Такой процесс обычно называют *поглощением энергии*, или *гашением вибрации*, хотя речь идет о превращении кинетической энергии колеблющегося объекта в тепловую энергию в полном соответствии с законом сохранения энергии.

Температура нагрева виброизоляционного массива амортизатора постепенно повышается до тех пор, пока не наступит тепловой баланс между теплом выделяемым при деформации и теплом, уходящим в окружающее пространство. Нагрев полиуретанового виброизоляционного массива приводит к его размягчению (при нагреве до 40 °C модуль упругости полиуретана при сжатии снижается на 20 %) и появлению заметной нелинейности зависимости *сила – деформация*. Принимая во внимание все ранее изложенное, можно заключить, что основным критерием работо-способности амортизатора является температура нагрева виброизоляционного массива.

Опыт эксплуатации резиновых амортизаторов и имеющиеся данные о работе полиуретановых амортизаторов позволяют сделать вывод о том, что температура нагрева в основном определяет долговечность амортизатора. Поэтому необходимо получить экспериментальные данные о нагреве амортизатора в зависимости от условий нагружения, чтобы на этапе проектирования можно было определить рабочую температуру амортизатора и внести определенные изменения в его конструкцию, которые позволят уменьшить температуру нагрева виброизоляционного массива амортизатора.

При работе амортизатор испытывает два вида деформации:

 – статическую деформацию — деформацию сжатия амортизатора до положения равновесия, чаще всего от веса амортизируемого объекта;

 – динамическую деформацию — периодическое смещение центра тяжести амортизируемого объекта от положения статического равновесия под действием синусоидальной (гармонической) возмущающей силы.

Полиуретановые эластомеры в свободном (недеформированном) состоянии представляют собой аморфные вещества, у которых отсутствует кристаллическая решетка, при этом макромолекулы расположены в произвольном порядке, без какой-либо регулярности [5]. При приложении статической нагрузки макромолекулы полиуретанового эластомера частично выпрямляются, приходя в ориентированное состояние (рис. 1).



Рис. 1. Схема деформации макромолекул полиуретановых эластомеров, соединенных поперечными связями: *а* — эластомер в исходном недеформированном состоянии; *б* — состояние эластомера в процессе деформирования под действием приложенных напряжений



После снятия нагрузки макромолекулы полиуретанового эластомера возвращаются в исходное состояние.

Методы и материалы (Methods and Materials)

С целью исследования вопросов нагрева амортизатора был спроектирован и изготовлен специальный стенд, позволяющий моделировать нагружение амортизатора. Кинематическая схема стенда приведена на рис. 2.



Рис. 2. Кинематическая схема стенда: 1 — электродвигатель; 2 — муфта; 3 — стойка; 4 — вал; 5 — винт; 6 — кулачок; 7 — гайка; 8 — контргайка; 9 — основание; 10 — прижимная гайка; 11 — виброизоляционный массив амортизатора; 12 — датчик температуры; 13 — нагружающая гайка; 14 — подшипник

Вращение вала 4, на котором установлен кулачок 6, осуществляется с помощью асинхронного электродвигателя 5АИ71В2 мощностью $P_{_{3\pi}} = 1,1$ кВт. Частоту вращения вала, благодаря частотному преобразователю, можно регулировать в пределах от 400 об/мин до 3000 об/мин. Экспериментальный амортизатор приведен на рисунке в состоянии минимальной деформации, которая создается благодаря закручиванию нагружающих гаек 13.

Динамическая нагрузка моделируется с помощью кулачка, профиль которого соответствует синусоидальному закону нагружения. Схема, поясняющая картину нагружения амортизатора с помощью кулачка, представлена на рис. 3.

968 2019 год. Том 11. № 5







Минимальной деформации амортизатора соответствует контакт точки *а* кулачка с верхней пластиной амортизатора. В дальнейшем при вращении кулачка в контакт вступает точка *b*. Это состояние соответствует средней деформации или статической. Максимальная деформация испытуемого амортизатора достигается во время контакта точки *c* кулачка с верхней пластиной амортизатора *4*. Величина эксцентриситета *A* равна амплитуде колебаний амортизатора. Для моделирования колебаний современных судовых силовых агрегатов были изготовлены четыре кулачка с эксцентриситетом 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8 мм.

Температура нагрева виброизоляционного массива амортизатора зависит от величины относительной деформации сжатия, от параметров динамического нагружения, таких как частота нагружения и амплитуда колебаний и твердости полиуретанового эластомера, т. е. температура нагрева является функцией четырех переменных. Однако неучтенным оказался такой параметр амортизатора, как соотношение его геометрических размеров, определяющее площадь теплоотдачи амортизатора. Для исключения этого недостатка были изготовлены три партии амортизаторов трех твердостей с высотой виброизоляционного массива, равной 40, 45, 50, 55 и 60 мм. В качестве аналога при изготовлении опытных амортизаторов был взят амортизатор БРМ102 (блок резино-металлический) с габаритными размерами виброизоляционного массива 250 × 50 × 50 мм. Данный амортизатор относится к типу КАС (корабельный амортизатор сварной), у которого резиновый виброизоляционный массив привулканизирован или приварен к металлическим пластинам.

Одной из важнейших расчетных характеристик амортизатора является жесткость, которая зависит от модуля упругости эластомера при сжатии, условий контактирования виброизоляционного массива с опорными пластинами и легкости деформирования боковой поверхности. Возможность деформирования эластомерного виброизоляционного массива амортизатора зависит от отношения площади опорной поверхности к площади боковой поверхности, способной к большим деформациям [6]. Характер деформации виброизоляционного массива амортизатора приведен на рис. 4.



Рис. 4. Деформация виброизоляционного массива амортизатора: 1 — верхняя пластина; 2 — виброизоляционный массив; 3 — нижняя пластина; а — ширина массива; b — длина массива; h — высота массива

Деформативность эластомерных массивов принято оценивать коэффициентом формы \varPhi согласно выражению

$$\Phi = \frac{S_{\text{rop}}}{S_{\text{бок}}},\tag{1}$$

2019 год. Том 11. № 5₁

897

где $S_{_{\rm Top}}$ — площадь одной опорной торцевой поверхности, мм²; $S_{_{\rm fork}}$ – площадь свободной боковой поверхности, мм².



Для виброизоляционных эластомерных массивов амортизаторов, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда, коэффициент формы определяют по следующей формуле:

$$\Phi = \frac{ab}{2(a+b)h},$$
(2)

где *а* — ширина виброизоляционного массива амортизатора, мм;

b — длина виброизоляционного массива амортизатора, мм;

h — высота виброизоляционного массива амортизатора, мм.

В качестве экспериментального материала был выбран полиуретановый эластомер торговой марки Elast фирмы Synair (Великобритания) твердостью 45 ShA, 50 ShA и 55 ShA. Проведенные ранее сравнительные экспериментальные исследования по определению коэффициента поглощения энергии, модуля внутреннего трения и циклической прочности показали его высокие физикомеханические свойства и перспективность использования данного эластомера в качестве виброизоляционного материала [7].

Методика экспериментального исследования включала следующий порядок действий.

1. Опытный амортизатор сжимали до относительной статической деформации 0,1 ϵ (10 %) и включали вращение электродвигателя с частотой f = 37 Гц (2200 об/мин) с установленным на валу кулачком с эксцентриситетом A = 0,6 мм.

2. По прошествии некоторого времени (примерно 10 мин) рост температуры прекращался и ее окончательное значение записывали в протокол испытаний.

3. Затем устанавливали очередной амортизатор с другой высотой виброизоляционного массива и повторяли эксперимент.

4. Все испытания проводили для амортизаторов трех твердостей определенной высоты в количестве трех штук, при этом значения температуры, отличающиеся от среднего значения более чем на 10 %, в расчет не принимали.

5. Полученные данные были обработаны методами математической статистики и получили искомую эмпирическую зависимость влияния коэффициента формы виброизоляционного массива амортизатора на температуру нагрева.

Из широкого спектра частот вынужденных механических колебаний для моделирования нагружения амортизатора была выбрана частота 37 Гц, соответсвующая частоте вращения 2200 об/мин вала силовых агрегатов. Данный выбор был осуществлен на основании многолетних наблюдений за эксплуатацией амортизаторов различных силовых агрегатов, в первую очередь двигателей внутреннего сгорания.

Результаты и их обсуждение (Results and Discussion)

Проведенные экспериментальные исследования показали, что с ростом коэффициента формы Φ амортизатора температура нагрева растет по экспоненциальной зависимости. На рис. 5 представлена зависимость температуры нагрева виброизоляционного массива амортизатора от коэффициента формы Φ при относительной статической деформации 0,1 ϵ (10 %), частоте нагружения f = 37 Гц и амплитуде колебаний A = 0,6 мм.



Рис. 5. Зависимость температуры нагрева амортизатора от коэффициента формы: 1 — полиуретан 55 ShA; 2 — полиуретан 50 ShA; 3 — полиуретан 45 ShA



Зависимости, представленные на рис. 5, показывают рост температуры нагрева полиуретана с уменьшением площади теплотдачи.

Окончательно выражение для определения температуры нагрева виброизоляционного массива амортизатора, работающего на сжатие при динамическом нагружении как функция пяти переменных, можно представить следующим образом:

$$T = T_{\rm B} + \frac{95\varepsilon^{2,4-0,015\rm ShA} + 39(2\pi fA)^{1,8-0,004\rm ShA}}{2,1-0,016ShA} \frac{1}{1,28-\Phi^2},$$
(3)

где *T*_в — температура окружающего воздуха, 20 °С;

величина относительной деформации сжатия;

ShA — твердость полиуретана в единицах по Шору, шкала А;

f— частота нагружения, Гц;

А — амплитуда колебаний, мм;

Ф — коэффициент формы виброизоляционного массива амортизатора.

Полученные в ходе экспериментального исследования эмпирические зависимости по определению температуры нагрева виброизоляционного массива полиуретанового амортизатора позволяют на стадии проектирования определить рабочую температуру амортизатора в зависимости от условий его статического и динамического нагружения.

Температура нагрева виброизоляционного массива амортизатора при работе является важнейшей характеристикой, определяющей долговечность амортизатора.

Выводы (Summary)

1. Представленные в работе эмпирические зависимости свидетельствуют об аддитивности (суммировании соответствующих величин) нагрева амортизатора от статического и динамического нагружения, причем статическая деформация вносит более существенный вклад по сравнению с составляющей нагрева от динамического нагружения. Этот вывод можно сделать на основании анализа формулы (3), откуда видно, что показатель степени при статической деформации больше, чем аналогичный показатель при скорости.

2. При величине статической деформации более 15 %, вероятно, макромолекулы эластомеров переходят в ориентированное состояние, при котором происходит заметное снижение диссипативной возможности (рассеивание тепла вовне) виброизоляционного массива амортизатора.

3. Перспективность применения полиуретановых эластомеров в качестве виброизоляционного материала обоснована более высоким модулем упругости при сжатии, чем у резин [8]–[10]. При одинаковой твердости (в диапазоне 45–55 ShA) полиуретана и резины модуль упругости при сжатии полиуретана примерно на 30 % больше, чем резины [11]–[12]; на соответствующую величину уменьшается статическая деформация амортизатора, что приводит к уменьшению температуры нагрева при работе и увеличению долговечности амортизатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Valero M. F.* Preparation and properties of polyurethanes based on castor oil chemically modified with yucca starch glycoside / M. F. Valero, J. E. Pulido, J. C. Hernández, J. A. Posada, A. Ramírez, Z. Cheng // Journal of Elastomers & Plastics. — 2009. — Vol. 41. — Is. 3. — Pp. 223–244. DOI: 10.1177/0095244308091785.

2. *Yakovlev S.N.* Contact Temperature of a Cuff and a Rotating Shaft / S. N. Yakovlev, V. L. Mazurin // Russian Engineering Research. — 2019. — Vol. 39. — Is. 4. — Pp. 279–282. DOI: 10.3103/S1068798X19040191.

3. *Schafer K*. Investigation of the specific adhesion between polyurethane foams and thermoplastics to suited material selection in light weight structures / K. Schafer, S. Anders, S. Valentin, F. Helbig, J. Tröltzsch, I. Roth-Panke, D. Nestler, L. Kroll // Journal of Elastomers & Plastics. — 2018. — Vol. 50. — Is. 8. — Pp. 720–736. DOI: 10.1177/0095244318765040.

4. *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.



5. *Solota S.* Harteprufung an Hochleistungsprodukten aus Kunststoffen und Elastomeren / S. Solota // Gummi. Fasern. Kunststoffe. — 2016. — No. 7. — Pp. 26–31.

6. *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.

7. *Яковлев С. Н.* Экспериментальное исследование виброизоляционных свойств современных конструкционных полиуретанов / С. Н. Яковлев, А. А. Черныш // Вопросы материаловедения. — 2019. — № 1 (97). — С. 120–127. DOI: 10.22349/1994-6716-2019-97-1-120-127.

8. *Oxley J.C.* Rheological studies of functional polyurethane composite with solid additives: Part 2 — Rheology of polyurethane composite with solid additives (calcium iodate particles and aluminum flakes) / J. C. Oxley, J. L. Smith, S. I. Bakhtiyarov, P. M. Baldovi // Journal of Elastomers & Plastics. — 2018. — Vol. 50. — Is. 4. — Pp. 312–324. DOI: 10.1177/0095244317729558.

9. *Li S.* Effect of elastomer on flame retardancy, thermal degradation, and mechanical properties of intumescent flame-retardant polyethylene / S. Li, B. Li // Journal of Elastomers & Plastics. — 2011. — Vol. 43. — Is. 3. — Pp. 257–273. DOI: 10.1177/0095244311398638.

10. Neise E. Optische Deformationsanalyse von Fahrzeugreifen. Dynamische Reifenanalyse / E. Neise, C. Zepp // Gummi. Fasern. Kunststoffe. — 2013. — No. 1. — Pp. 23–30.

11. *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.

12. *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.

REFERENCES

1. Valero, Manuel F., Jorge E. Pulido, Jorge E. Pulido, José A. Posada, José A. Posada, and Zhengdong Cheng. "Preparation and Properties of Polyurethanes based on Castor Oil Chemically Modified with Yucca Starch Glycoside." *Journal of Elastomers and Plastics* 41.3 (2009): 223–244. DOI: 10.1177/0095244308091785.

2. Yakovlev, S.N., and V.L. Mazurin. "Contact Temperature of a Cuff and a Rotating Shaft." *Russian Engineering Research* 39.4 (2019): 279–282. DOI: 10.3103/S1068798X19040191.

3. Schäfer, Kay, Susann Anders, Stefan Valentin, Frank Helbig, Jürgen Tröltzsch, Isabelle Roth-Panke, Daisy Nestler, and Lothar Kroll. "Investigation of the specific adhesion between polyurethane foams and thermoplastics to suited material selection in lightweight structures." *Journal of Elastomers & Plastics* 50.8 (2018): 720–736. DOI: 10.1177/0095244318765040.

4. 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.

5. Solota, Sante "Harteprufung an Hochleistungsprodukten aus Kunststoffen und Elastomeren." *Gummi. Fasern. Kunststoffe* 7 (2016): 26–31.

6. 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.

7. Yakovlev, S. N., and A. A. Chernysh. "Experimental study of vibroinsulating properties of modern structural polyurethane." *Inorganic Materials: Applied Research* 1(97) (2019): 120–127. DOI: 10.22349/1994-6716-2019-97-1-120-127.

8. Oxley, Jimmie C., James L. Smith, Sayavur I. Bakhtiyarov, and Philipp M. Baldovi. "Rheological studies of functional polyurethane composite with solid additives: Part 2—Rheology of polyurethane composite with solid additives (calcium iodate particles and aluminum flakes)." *Journal of Elastomers & Plastics*50.4 (2018): 312–324. DOI: 10.1177/0095244317729558.

9. Li, Sheng, and Bin Li. "Effect of elastomer on flame retardancy, thermal degradation, and mechanical properties of intumescent flame-retardant polyethylene." *Journal of Elastomers & Plastics* 43.3 (2011): 257–273. DOI: 10.1177/0095244311398638.

10. Neise, Zepp. "Optische Deformationsanalyse von Fahrzeugreifen. Dynamische Reifenanalyse." *Gummi.* Fasern. Kunststoffe 1(2013): 23–30.

11. 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.

12. 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.



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 ФГАОУ «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 Lozmanskaya 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 23 июля 2019 г. Received: July 23, 2019.