

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОРАБЛЯ

УДК 629.5-752
EDN: LLYDYP

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

ОПЫТ ПРОДЛЕНИЯ НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОРАБЕЛЬНЫХ АМОРТИЗИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются корабельные амортизирующие конструкции (АК), прогнозирование срока эксплуатации, хранения и ресурса которых представляет известные затруднения и базируется на использовании специальной схемы получения, обработки и интерпретации экспериментального материала. Разработана и опытным путем подтверждена методология интенсификации внешних воздействий: амплитуды, вибрации и температуры окружающего воздуха, что позволяет существенно сократить длительность проведения ускоренных ресурсных испытаний АК. Предложена последовательность процедуры продления срока службы существующих АК ремонтируемых заказов.

Материалы и методы. Прогнозирование срока эксплуатации, хранения и ресурса амортизирующих конструкций.

Основные результаты. Рассмотрены актуальные вопросы продления назначенных показателей корабельных АК. Изложены критерии и последовательность процедуры продления срока службы существующих амортизаторов ремонтируемых заказов для формирования проекта отраслевого документа.

Закключение. В результате накопленного Крыловским центром научно-технического задела по продлению назначенных показателей корабельных амортизаторов, наличию методов расчета напряженно-деформированного состояния изделий, апробированных методик ускоренных имитационных испытаний конструкций, расчетов систем виброизоляции создан и экспериментально апробирован подход к продлению сроков службы АК на заказах ВМФ.

Ключевые слова: продление срока службы, амортизирующая конструкция, ресурс.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

SHIP SIGNATURES

UDC 629.5-752
EDN: LLYDYP

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

MARINE SHOCK MOUNTS: LIFETIME EXTENSION EXPERIENCE

Object and purpose of research. This paper discusses marine shock mounts in terms of predicting their service and storage life, as well as total operation hours. Currently, this task involves certain difficulties, and its solution is based on a special procedure of obtaining, processing and interpreting the test data. The author has developed and validated the methodology of accelerated tests simulating one or several external effects, e.g. amplitudes, vibrations, ambient temperatures, etc. This methodology may significantly reduce the time needed for accelerated lifetime tests of shock mounts. The author suggests specific steps for the procedure of shock mount lifetime extension aboard ships under repair.

Materials and methods. Prediction for service life, storage period and total operation hours of shock mounts.

Для цитирования: Волкова Н.В., Кузьменко П.А. Опыт продления назначенных показателей корабельных амортизирующих конструкций. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; 4(410): 179–185.

For citations: Volkova N.V., Kuzmenko P.A. Marine shock mounts: lifetime extension experience. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024; 4(410): 179–185 (in Russian).

Main results. The study tackles relevant challenges in lifetime extension of marine shock mounts, describing criteria and sequence of lifetime extension measures for existing shock mounts aboard ships under repair, so as to work out a draft regulatory document for the industry.

Conclusion. The approach to lifetime extension of shock mounts aboard naval ships developed and experimentally validated by the author is based on the entire research and engineering background currently available with Krylov State Research Centre in terms of lifetime extension of marine shock mounts, methods of their stress-strain calculations, duly validated procedures of accelerated lifetime tests of structures, as well as calculation of vibration isolation systems.

Keywords: lifetime extension, shock mount, operation hours.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Для виброизоляции и противоударной защиты корабельного оборудования и систем на кораблях ВМФ широко используются различные амортизирующие конструкции (АК): амортизаторы, гибкие вставки в трубопроводы и валопроводы, виброизолирующие подвески трубопроводов рабочих сред [1, 2]. В процессе эксплуатации АК подвергаются комплексному длительному воздействию как механических (статических и динамических) нагрузок, так и немеханических (температурных) факторов, что может приводить к нарушению их работоспособности.

Указанные изделия монтируются под оборудование раньше, чем заказ в целом передается заказчику, поэтому не представляется возможным обеспечить гарантийные сроки эксплуатации АК (как правило, 10 лет с даты подписания приемо-сдаточного акта). Замена АК в межремонтный период срока службы (МРС) заказа сопряжена с большим объемом сопутствующих и монтажных операций, а также требует длительного срока проведения работ; кроме того, эксплуатационной документацией она не предусмотрена.

В связи с увеличившейся продолжительностью строительства и ремонта кораблей ВМФ актуальным является принципиальное обеспечение МРС различных корабельных АК и, как следствие, подтверждение требуемых назначенных показателей, прежде всего ресурсных. В соответствии с перспективными требованиями заказчика срок службы заказов может достигать 40–50 лет. При этом в последние годы неоднократно отмечается актуальность изыскания возможности увеличения гарантийных сроков хранения и эксплуатации АК для обеспечения заказов ВМФ [3].

Таким образом, существенное значение имеет решение вопроса о возможности продления срока службы АК, которые играют важную роль в акустической скрытности и напрямую влияют на эффективность боевого применения заказов ВМФ.

Номенклатура амортизирующих конструкций. ФГУП «Крыловский государственный научный центр», как головное предприятие судостроительной отрасли в области создания, производства и контроля качества средств акустической защиты (САЗ), систематически участвует в продлении срока службы АК в рамках выполнения договоров с судоремонтными заводами и бюро-проектантами. Учитывая широкую номенклатуру АК, применяемых на заказах ВМФ, различные сроки продления и условия эксплуатации, выполнено обобщение результатов испытаний по продлению данных изделий. На экспериментальной базе предприятия с целью оценки возможности продления ресурсных показателей исследованы различные конструкции, в т.ч. АКСС-И, АКСС-М, АПС и КРМ-250М [4–7].

Экспериментальное прогнозирование ресурсных показателей. Требования, которые предъявляются к АК, регламентированы руководящими документами. В частности, в соответствии с [4] АК должны обладать сроком эксплуатации не менее 10 лет при сроке хранения до 5 лет при условии сохранения характеристик неизменными или в допустимых пределах к окончанию срока эксплуатации. При этом эффективность АК должна обеспечиваться в течение всего срока службы заказа до среднего ремонта, который обычно составляет 10–12 лет.

Функционально важные параметры определяются условиями работы конструкции в условиях заказа. Для АК таковыми являются статическая и вибрационная жесткости, статическая и ударная прочности, герметичность и ползучесть. Предельно допустимые значения для указанных параметров определяются требованиями, которые предъявляются к конструкции с точки зрения выполнения эксплуатационной пригодности и определяют условия (критерии) отказа по соответствующему параметру.

Следует отметить, что прогнозирование срока эксплуатации, хранения и ресурса АК представляет известные затруднения и базируется на использовании специальной схемы получения, обработки и интерпретации экспериментального материала.

Из-за неосуществимости подтверждения реально-го спектра эксплуатационных нагрузок, указанных в конструкторской документации на АК, в Крыловском центре разработана и экспериментально подтверждена методология интенсификации одного или нескольких внешних воздействий (амплитуды, вибрации и температуры окружающего воздуха), что позволяет существенно сократить длительность проведения ускоренных ресурсных испытаний.

Используемый подход, хорошо зарекомендовавший себя на практике, позволяет суммировать эффект воздействия различных условий нагружения при их последовательном или одновременном действии на одно и то же изделие и определять параметры режима ускоренных ресурсных испытаний, эквивалентного заданной модели эксплуатации АК на корабле [8–10]. Существующий опыт продления срока эксплуатации АК на заказах ВМФ показывает, что в связи со сложностью учета эксплуатационных и других факторов, включающих сведения о фактических условиях хранения и эксплуатации амортизаторов и параметрах вибрационного воздействия для каждого конкретного заказа, проходящего восстановление технической готовности с продлением МРС, должна разрабатываться индивидуальная программа-методика. Разработка общей методики освидетельствования амортизаторов не представляется возможной из-за индивидуальности эксплуатации каждого конкретного заказа. Однако целесообразно разработать и согласовать с заказчиком порядок продления назначенных показателей АК.

Связь между числом циклов деформирования N до достижения АК заданного критического состояния (отказа) и основными параметрами нагружения – амплитудой, частотой и фактической температурой упругого элемента АК – можно представить выражением

$$N \cdot A^m = 10^{b_0 + b_1 \cdot T}, \quad (1)$$

где A – амплитуда нагружения; b_0 , b_1 и m – коэффициенты предельных кривых, соответствующих заданному критерию отказа; T – температура упругого элемента.

Реальные условия эксплуатации в рамках конкретного заказа представляют собой спектр различных условий нагружения, поэтому соотношение (1) не является достаточным для прогнозирования работоспособности АК. Оно должно быть дополнено зависимостями, позволяющими суммировать эффект воздействия различных условий нагружения

при их последовательном или одновременном действии на одно и то же изделие.

Описание условий эксплуатации содержит описание воздействия во время эксплуатации и хранения амплитуд и частот вибрации, а также температур окружающей среды. Оно выполняется в виде задания моделей эксплуатации по амплитудам, частотам и температурам, которые формируются в процессе выполнения работ.

Поскольку распределения вибрационного и температурного воздействий независимы, т.к. обусловлены различными факторами эксплуатации, то во время эксплуатации следует ожидать, что все произвольные комбинации действующих значений амплитуд вибрации и температур будут равновероятны.

Главным преимуществом методов экспериментальной проверки является то, что они позволяют получить исследуемую конструкцию в том виде, в каком она будет через заданное время эксплуатации в заданных условиях заказа. После этого может быть проведено исследование любых свойств АК, в т.ч. функциональной пригодности.

Таким образом, исходя из накопленного опыта продления назначенных показателей корабельных АК, единственным методом, который можно применить, является метод экспериментального прогнозирования, основанный на испытаниях конструкций в условиях воздействия, имитирующего предстоящую эксплуатацию в условиях конкретного заказа.

Основываясь на имеющемся многолетнем опыте продления назначенных показателей АК, можно с достаточной точностью сказать, что главенствующим среди функционально важных параметров АК является ресурсный, для определения которого необходимо располагать амплитудно-частотной и температурно-временной моделями эксплуатации и хранения изделий как на заказах в целом, так и при использовании на конкретном заказе.

Под моделями эксплуатации понимается совокупность данных о распределении во времени эксплуатации и хранения вибрационного и температурного воздействий. Ресурс характеризуется длительностью знакопеременного деформирования с заданными параметрами, в течение которой изделие сохраняет работоспособность.

На основании экспертных оценок параметров качки заказов, расчетов деформаций АК при наклонениях и качке, а также имеющихся данных об условиях эксплуатации АК различного типа в корабельных условиях оценены параметры деформации амортизирующих элементов технических средств

Таблица 1. Амплитудно-частотная модель эксплуатации амортизирующих конструкций

Table 1. Amplitude & frequency-based model of shock mount operation

A, мм	f, Гц	n, циклы
3	0,2	$4 \cdot 10^3$
2	0,2	$3 \cdot 10^5$
1	0,2	$3 \cdot 10^6$
0,2	50	$9 \cdot 10^9$

заказов ВМФ при эксплуатации. Подавляющее большинство существующих и внедренных в практику проектирования АК должны выдерживать без потери работоспособности знакопеременное деформирование в направлении оси Z в течение 10-летнего срока службы с параметрами, представленными в табл. 1 [4]. В направлении осей X и Y данные параметры не регламентируются.

Указанное воздействие эквивалентно 10^6 циклам в режиме низкочастотного деформирования с амплитудой 2 мм.

АК эксплуатируются при температуре окружающего воздуха от 268 К до 343 К. Интервалы температур, длительность эксплуатации изделий в пределах каждого интервала представлены в табл. 2.

В технической документации на АК, как правило, представлены параметры режима ускоренных ресурсных испытаний, который эквивалентен заданным моделям эксплуатации изделия и вносит в исследуемое изделие с заданной доверительной вероятностью такую же повреждаемость, как и реальные воздействия при эксплуатации.

В качестве критерия возможности продления срока службы принята способность АК выдерживать без разрушения режим низкочастотного цик-

Таблица 2. Температурная модель эксплуатации амортизирующих конструкций

Table 2. Temperature-based model of shock mount operation

Температурный интервал, К	Относительная продолжительность, %
268–278	2
278–298	50
298–313	39
313–333	7
333–343	2

лического деформирования, эквивалентный предстоящей эксплуатации.

Форсированный режим воздействия, необходимый для подтверждения работоспособности АК, определяется в соответствии с подходом, изложенным в методических документах [8–10], на основе амплитудно-частотной и температурно-временной моделей эксплуатации. При этом результатом совместного действия воздействующих факторов является изменение свойств упругого элемента, приводящее к изменению функциональных характеристик АК.

При значительных сроках продления (5 лет и более) образцы АК для ресурсных испытаний предварительно подвергают термическому старению. Режимы термического старения определяются с учетом требуемого продления срока службы амортизаторов в соответствии с [11].

Статические испытания проводятся на универсальных испытательных машинах на стенде «Испытаний амортизирующих конструкций» в соответствии с методикой [12]. Термические испытания проводят в климатической камере. Ресурсные испытания осуществляют на низкочастотном стенде в эквивалентном режиме в соответствии с методикой [9].

Для продления срока службы АК заказов ВМФ сверх установленной продолжительности должен быть осуществлен комплекс испытаний, который включает статические, термические и ресурсные испытания. При этом предполагаемый срок продления службы АК для каждого заказа определяется заказчиком индивидуально.

Для создания перспективных, работоспособных и надежных АК с увеличенными сроками эксплуатации для заказов ВМФ необходимо располагать соответствующими моделями эксплуатации. Существующие материалы для упругих элементов АК не обеспечивают требуемый увеличенный ресурс, сроки хранения и эксплуатации. Поэтому одним из актуальных направлений создания перспективных АК является внедрение специальных эластомерных композиций для упругих элементов АК, что позволит улучшить ресурсные показатели, увеличить сроки хранения и эксплуатации АК кораблей ВМФ.

Процедура продления срока службы существующих амортизирующих конструкций

Lifetime prediction through tests

Исходя из накопленного Крыловским центром опыта продления назначенных показателей корабельных АК, и прежде всего срока эксплуатации

для конкретного заказа, при осуществлении указанных работ необходимо выполнить следующие мероприятия:

- определить номенклатуру АК, подлежащих продлению, с указанием типоразмеров, количества и расположения по помещениям и системам;
- проанализировать условия предстоящей эксплуатации, условия хранения до ввода в эксплуатацию (при необходимости), условия предшествующей эксплуатации и сравнить указанные условия с соответствующими условиями на других заказах, где продлен срок службы АК;
- разработать (откорректировать) температурно-временную и амплитудно-частотную модели хранения и эксплуатации АК на основании данных, предоставленных заказчиком о предстоящей эксплуатации в условиях заказа;
- сформировать обобщенную модель предстоящей эксплуатации на основе амплитудно-частотной и температурно-временной моделей хранения и эксплуатации;
- для АК, используемых на отдельных, наиболее важных системах корабля, определить повышающие коэффициенты, учитывающие напряженность конкретной системы в обеспечении работы оборудования и механизмов;
- определить приведенный режим вибрационного нагружения АК в стендовых условиях, эквивалентный предстоящей эксплуатации по выбранному критерию отказа;
- определить режимы ускоренного термического старения;
- осуществить освидетельствование и отбор образцов АК с наибольшими наработкой и дефектами для проведения испытаний в стендовых условиях с оформлением «Акта отбора АК заказа для проведения испытаний»;
- сформировать ограниченную номенклатуру для определения наиболее напряженных типоразмеров АК (при необходимости);
- сформировать расчетные модели ограниченной номенклатуры АК (при необходимости);
- осуществить численные эксперименты с исследованием напряженно-деформированных состояний ограниченной номенклатуры АК при различных воздействиях с целью определения наиболее напряженных типоразмеров (при необходимости);
- разработать и согласовать с заинтересованными организациями «Программу-методику проведения испытаний АК заказа»;
- осуществить входной контроль, включающий определение статических деформаций АК при сжатии при действии номинальной нагрузки в направлении координатной оси Z на типовой испытательной машине и проверку на герметичность (в случае необходимости) с оформлением «Заключения о техническом состоянии образцов поставленной продукции по результатам входного контроля». Следует обратить особое внимание на то, что несоответствие значений деформации АК под номинальной нагрузкой нормам, указанным в технических условиях, не является критерием выхода изделий из строя;
- провести термическое старение образцов АК;
- осуществить проверку длительной вибрационной (динамической) прочности АК в режиме низко- или высокочастотного циклического деформирования до наработки числа циклов, эквивалентного необходимой эксплуатации с оформлением «Протокола испытаний по определению длительной вибрационной (динамической) прочности (ресурса) образцов АК в режиме циклического деформирования»;
- определить статические деформации АК при сжатии во время действия номинальной нагрузки в направлении координатной оси Z на типовой испытательной машине и проверку на герметичность (в случае необходимости) с оформлением «Протокола физико-механических испытаний по определению статической деформации образцов АК при сжатии под действием номинальной нагрузки в направлении координатной оси Z после испытаний по проверке длительной вибрационной прочности» и «Протокола по проверке герметичности образцов АК после испытаний по проверке длительной вибрационной прочности»;
- оформить «Заключение о продлении срока службы АК заказа».

Заключение

Conclusion

Опыт продления срока эксплуатации АК на заказах ВМФ показывает, что в связи со сложностью учета эксплуатационных и других факторов, включающих сведения о фактических условиях хранения и эксплуатации АК и параметрах вибрационного воздействия для каждого конкретного заказа, проходящего восстановление технической готовности с продлением МРС, необходима разработка инди-

видуальной программы-методики. Общая программа-методика освидетельствования АК конкретного проекта не может быть разработана ввиду особенностей эксплуатации АК на заказах ВМФ.

Изложенный подход целесообразно использовать при формировании проекта отраслевого «Положения о порядке продления срока службы существующих АК», разрабатываемого Крыловским центром.

Следует отметить, что изменение характеристик амортизаторов после длительной эксплуатации, как правило, приемлемо для их дальнейшего использования с учетом модели эксплуатации конкретного заказа.

В результате накопленного ФГУП «Крыловский государственный научный центр» научно-технического задела по продлению назначенных показателей корабельных амортизаторов, наличию методов расчета напряженно-деформированного состояния изделий, апробированных методик ускоренных имитационных испытаний конструкций, расчетов систем виброизоляции создан и экспериментально апробирован изложенный подход к продлению сроков службы АК на заказах ВМФ.

Список использованной литературы

1. Альбом разрешенных к применению амортизирующих конструкций. № 035-76.059 (PH-80). Ленинград : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1980.
2. *Попинов В.Р.* Судовые амортизирующие виброизолирующие и противоударные конструкции : монография. Санкт-Петербург : Крыловский государственный научный центр, 2014. 237 с.
3. *Волкова Н.В., Голованов В.И.* О необходимости корректировки требований к ресурсным характеристикам корабельных резинометаллических амортизаторов // Военное кораблестроение России. Кораблестроение в XXI веке: состояние, проблемы, перспективы : сборник докладов межотраслевой научно-практической конференции ВОКОР-2017. Санкт-Петербург, 2017.
4. ГОСТ РВ 9320-001-2008. Резиновые изделия. Амортизаторы корабельные АКСС-МХ. Технические условия. Москва : Стандартинформ, 2009. III, 27 с.
5. ТУ 38 105 1953-90. Амортизаторы резинометаллические АКСС-И. Технические условия. Ленинград : Красный треугольник, 1990. 27 с.
6. ДЕИА.304252.009ТУ (ТУ5.949-8286-84). Амортизаторы пневматические со страховкой типа АПС. Технические условия.
7. ТУ 105 1340-79. Кольцо резинометаллическое многоэлементное КРМ 250М. Технические условия.
8. Резинометаллические амортизирующие конструкции. Ускоренные ресурсные испытания. Методика. Ленинград : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1982. Вып. 20676.
9. ИМЯН.62-318-04 МИ. Амортизирующие конструкции. Ресурсные испытания. Методика. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2004. Вып. № 42916.
10. Амортизирующие конструкции с резинокордными оболочками. Методика ускоренных ресурсных испытаний. Ленинград : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1981. Вып. 19954.
11. РД ИМЯН.39-2002. Методика выбора параметров и проведения ускоренного теплового старения изделий. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2002.
12. 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. Album of the shock mounting structures approved for operation. No. 035-76.059 (PH-80). Krylov Central Research Institute, 1980 (*in Russian*).
2. *Popinov V.R.* Marine shock and vibration mountings. Monograph. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2014. 237 p. (*in Russian*).
3. *Volkova N.V., Golovanov V.I.* On necessity to update lifetime requirements for marine rubber-metal shock mounts // Naval Shipbuilding in Russia. Shipbuilding in the 21st century: state of the art, challenges, prospects. Compendium of papers. Inter-industry scientific conference & seminar VOKOR-2017. St. Petersburg, 2017 (*in Russian*).
4. Standard GOST RV PB 9320-001-2008. Rubber products. Marine shock mounts AKSS-MKh. Technical specifications. Moscow : Standartinform, 2009. III. 27 p. (*in Russian*).
5. Regulatory Document TU 38 105 1953-90. Rubber-metal shock mounts AKSS-I. Technical specifications. Leningrad, Krasny Treugolnik, 1990, 27 p. (*in Russian*).
6. Regulatory Document DEIA.304252.009TU (TU5.949-8286-84). APS-type pneumatic shock mounts with safety features. Technical conditions (*in Russian*).
7. Regulatory Document TU 105 1340-79. KRM 250M multi-element rubber-metal ring. Technical conditions (*in Russian*).
8. Rubber-metal shock mounts. Accelerated lifetime tests. Procedure. Leningrad : Krylov Central Research Institute, 1982. Issue No. 20676 (*in Russian*).

9. Regulatory Document IMJAN.62-318-04 MI. Shock mounting structures. Lifetime tests. Procedure. St. Petersburg : Krylov Central Research Institute, 2004. Issue No. 42916 (*in Russian*).
 10. Shock-mounting structures with rubber-cord shells. Procedure of accelerated lifetime tests. Leningrad : Krylov Central Research Institute, 1981. Issue No. 19954 (*in Russian*).
 11. Regulatory Document RD IMJAN.39-2002. Planning & performance procedure of accelerated thermal aging tests. St. Petersburg : Krylov Central Research Institute, 2002 (*in Russian*).
 12. Regulatory Document IMJAN.62.317-04 MI. Shock mounting structures. Procedure of static stiffness and strength tests at standard test machine. St. Petersburg : Krylov Central Research Institute, 2004 (*in Russian*).
- научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-49-62. E-mail: krylov6@krylov.spb.ru.
Кузьменко Павел Александрович, к.т.н., заместитель начальника лаборатории – начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-65-58. E-mail: krylov6@krylov.spb.ru. <https://orcid.org/0000-0001-7838-3652>.

About the authors

Natalya V. Volkova, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor, Lead Researcher, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-49-62. E-mail: krylov6@krylov.spb.ru.
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@krylov.spb.ru. <https://orcid.org/0000-0001-7838-3652>.

Сведения об авторах

Волкова Наталья Викторовна, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный

Поступила / Received: 23.07.24
Принята в печать / Accepted: 14.11.24
© Волкова Н.В., Кузьменко П.А., 2024