

УДК 534.08

Полумарковские модели процесса эксплуатации измерительных каналов систем оценки и контроля гидроакустических полей подводных объектов

Щедрин Алексей Юрьевич^()*

alexnemo28@yandex.ru

Ольховский Александр Николаевич

rusregister.ano@mail.ru

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Мытищи, Россия

Аннотация. Представлены разработанные автором математические (полумарковские) модели эксплуатации существующих и перспективных гидроакустических измерительных каналов систем оценки и контроля физических полей подводных объектов.

Ключевые слова: гидроакустические измерительные каналы, полумарковская модель процесса эксплуатации

Semi-Markov models of the operation of measuring channels of systems for assessing and monitoring hydroacoustic fields of underwater objects

Shchedrin Alexey Yuryevich^()*

alexnemo28@yandex.ru

Alexander Nikolaevich Olkhovsky

rusregister.ano@mail.ru

FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defense, Mytishchi, Russia

Annotation. Mathematical (semi-Markov) models developed by the author for the operation of onshore and prospective sonar measuring channels for assessment and control of physical fields of underwater objects are presented.

Keywords: hydroacoustic measuring channels, semi-Markov models of the operation process

Введение. На сегодняшний день сведения о вероятности установления местоположения и идентификации подводных объектов формируются на основании измерительной информации от различных систем оценки и контроля физических полей объектов (ИС), имеющих в своем составе сотни измерительных каналов (ИК) с аналоговыми и цифровыми первичными измерительными преобразователями (ПИП). К физическим полям, оказывающим значительное и существенное влияние на данную вероятность, относится и гидроакустическое поле.

ИС оценки и контроля гидроакустических полей в рамках процесса эксплуатации подлежат процедуре периодического определения метрологических характеристик (МХ) всех измерительных каналов (ИК). Учитывая конструктивные особенности таких систем (масса, габариты, требования монтажа и т. п.) целесообразно в рамках их испытаний в целях утверждения типа применять различные математические модели процесса эксплуатации, позволяю-

шие провести оценку эффективности применения различных подходов к определению МХ ИК.

Методы и материалы. Наиболее подходящими под данную задачу математическими моделями являются полумарковские модели процесса эксплуатации ИК, учитывающие состояния нахождения ИК в состоянии классической поверки и в состоянии встроенного контроля стабильности их МХ (встроенного контроля) [1, 2].

Результаты. Для моделирования процесса эксплуатации существующих и перспективных гидроакустических ИК систем оценки и контроля физических полей подводных объектов разработано две полумарковские модели.

Первая модель (для существующих ИК). Опишем возможные состояния гидроакустических ИК в процессе эксплуатации: E_1 — ИК используется по назначению и находится в исправном состоянии; E_2 — поверка ИК, при условии его исправности; E_3 — встроенный контроль ИК, при условии его исправности; E_4 — ремонт ИК после поверки; E_5 — восстановление ИК после встроенного контроля за счет введения поправочного коэффициента в чувствительность ПИП или в результаты измерения физической величины; E_6 — поверка ИК, при условии его неисправности; E_7 — ИК используется по назначению и находится в неисправном состоянии; E_8 — встроенный контроль ИК, при условии его неисправности.

Граф модели процесса эксплуатации ИК имеет вид, представленный на рис. 1.

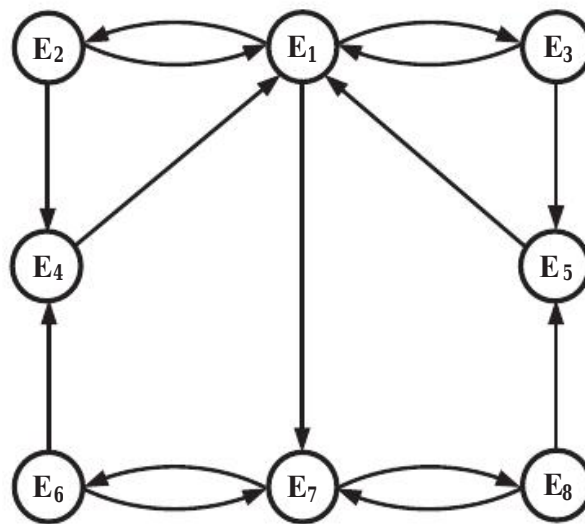


Рис. 1. Граф переходов состояний полумарковской модели процесса эксплуатации существующих ИК с поверкой и встроенным контролем

Модель представим структурно в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= (1 - \alpha_1) \cdot \pi_2 + (1 - \alpha_2) \cdot \pi_3 + \pi_4 + \pi_5, \quad \pi_2 = K_1 \cdot (1 - \gamma_1) \cdot \pi_1, \\ \pi_3 &= (1 - K_1) \cdot (1 - \gamma_1) \cdot \pi_1, \quad \pi_4 = \alpha_1 \cdot \pi_2 + (1 - \beta_1) \cdot \pi_6, \quad \pi_5 = \alpha_2 \cdot \pi_3 + (1 - \beta_2) \cdot \pi_8, \\ \pi_6 &= K_1 \cdot \pi_7, \quad \pi_7 = \gamma_1 \cdot \pi_1 + \beta_1 \cdot \pi_6 + \beta_2 \cdot \pi_8, \quad \pi_8 = (1 - K_1) \cdot \pi_7, \end{aligned} \quad (1)$$

где π_i — вероятность нахождения ИК в i -м состоянии ($i = 1 \dots 8$); K_1 — коэффициент, характеризующий отношение интервала между циклами встроенного контроля $T_{\text{ИМК}}$ и интервала между поверками $T_{\text{ИМП}}$ ИК ($K_1 = T_{\text{ИМК}} / T_{\text{ИМП}}$); γ_1 — вероятность возникновения отказа ИК ($\gamma_1 = 1 - \exp(-\lambda_1 \cdot T_{\text{ИМП}})$); λ_1 — интенсивность возникновения отказов ИК; α_1 и α_2 — условная вероятность ложного отказа (ошибки I-го рода) при поверке и встроенном контроле; β_1 и β_2 — условная вероятность необнаруженного отказа (ошибки II-го рода) при поверке и встроенном контроле.

Определитель представленной системы уравнений равен нулю. Следовательно, вместо одного из уравнений можно использовать условие нормировки

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 + \pi_7 + \pi_8 = 1. \quad (2)$$

В этом случае определитель системы уравнений становится отличным от нуля, и она будет иметь единственное решение. Решение системы уравнений осуществляется методом обратной матрицы.

Коэффициент готовности K_G гидроакустических ИК к применению по назначению вычисляется как отношение суммы произведений вероятностей нахождения в их работоспособных состояниях π_i на среднее время (математическое ожидание) нахождения в указанных состояниях V_i к сумме произведений вероятностей π_i нахождения во всех состояниях на среднее время (математическое ожидание времени) V_i нахождения во всех состояниях:

$$K_G = \pi_1 \cdot V_1 / (\pi_1 \cdot V_1 + \pi_2 \cdot V_2 + \pi_3 \cdot V_3 + \pi_4 \cdot V_4 + \pi_5 \cdot V_5 + \pi_6 \cdot V_6 + \pi_7 \cdot V_7 + \pi_8 \cdot V_8). \quad (3)$$

Времена нахождения в состояниях задавались следующим образом:

$$\begin{aligned} v_1 &= \gamma_1 / \lambda_1 - T_{\text{ИМП}} \cdot (1 - K_1)^2 \cdot (1 - \gamma_1), \quad v_2 = T_{\text{П}}, \quad v_3 = T_{\text{К}}, \quad v_4 = T_{\text{Р}} + T_{\text{П}}, \\ v_5 &= T_{\text{В}} + T_{\text{К}}, \quad v_6 = T_{\text{П}}, \quad v_7 = T_{\text{ИМП}} \cdot K_1 \cdot (1 - K_1 + 1 / \gamma_1) - K_1 / \lambda_1, \quad v_8 = T_{\text{К}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $T_{\text{П}}$ — продолжительность поверки ИК; $T_{\text{ВК}}$ — продолжительность встроенного контроля ИК; $T_{\text{Р}}$ — продолжительность ремонта ИК; $T_{\text{В}}$ — продолжительность восстановления исправности ИК.

Вторая модель (для перспективных ИК) Опишем возможные состояния гидроакустических ИК в процессе эксплуатации: E_1 — ИК используется по назначению, при условии что исправны оба чувствительных элемента (ЧЭ) ПИП ИК (основной и резервный); E_2 — поверка ИК, при условии что исправны оба ЧЭ ПИП ИК (основной и резервный); E_3 — параметрический контроль ИК, при условии что исправны оба ЧЭ ПИП ИК (основной и резервный); E_4 — встроенный контроль ИК, при условии что исправны оба ЧЭ ПИП ИК (основной и резервный); E_5 — восстановление исправности ИК после поверки или встроенного контроля за счет отключения основного ЧЭ и подключения вместо него резервного; E_6 — ремонт ИК или восстановление ИК за счет замены неисправного ПИП на ПИП из состава ЗИП после поверки; E_7 — поверка ИК, при условии что исправен только один ЧЭ ПИП ИК (основной или резервный); E_8 — ИК используется по назначению, при условии что исправен только один ЧЭ ПИП ИК (основной или резервный); E_9 —

встроенный контроль ИК, при условии что исправен только один ЧЭ ПИП ИК (основной или резервный); E_{10} — восстановление ИК после встроенного контроля за счет введения поправочного коэффициента в чувствительность ПИП или в результаты измерения физической величины; E_{11} — поверка ИК, при условии что неисправны оба ЧЭ ПИП ИК (основной и резервный); E_{12} — ИК используется по назначению, при условии что неисправны оба ЧЭ ПИП ИК (основной и резервный); E_{13} — встроенный контроль ИК, при условии что неисправны оба ЧЭ ПИП ИК (основной и резервный).

Поверка ИК в состоянии E_2 подразумевает применение одной методики определения МХ ИК, в состояниях E_8 и E_{12} — другой методики. Параметрический контроль ИК в состоянии E_3 подразумевает применение одной методики оценки метрологической исправности ИК. Встроенный контроль ИК в состояниях E_4 , E_{10} и E_{14} подразумевает применение другой методики оценки метрологической исправности ИК.

Граф модели процесса эксплуатации ИК имеет вид, представленный на рис. 2.

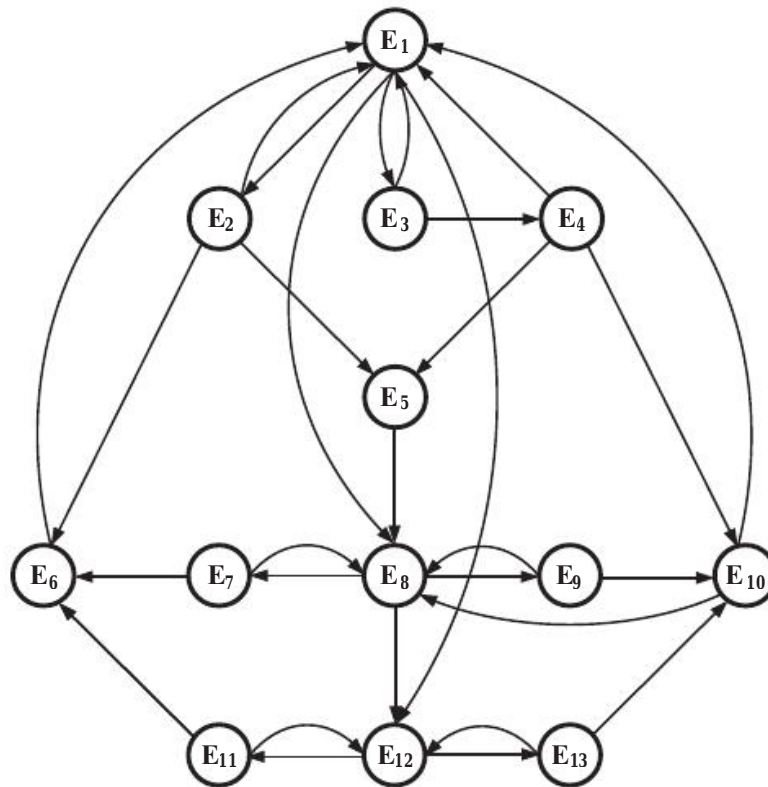


Рис. 2. Граф переходов состояний полумарковской модели процесса эксплуатации перспективных гидроакустических ИК с поверкой, встроенным и параметрическим контролем

Модель представим структурно в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= (1 - \alpha_1) \cdot \pi_2 + (1 - \alpha_2) \cdot \pi_3 + (1 - \alpha_3) \cdot \pi_4 + \pi_6 + K_4 \cdot \pi_{10}, \quad \pi_2 = K_1 \cdot (1 - \gamma_1)^2 \cdot \pi_1, \\ \pi_3 &= (1 - K_1) \cdot (1 - \gamma_1)^2 \cdot \pi_1, \quad \pi_4 = \alpha_2 \cdot \pi_3, \quad \pi_5 = (1 - K_2) \cdot \alpha_1 \cdot \pi_2 + (1 - K_3) \cdot \alpha_3 \cdot \pi_4, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\pi_6 &= K_2 \cdot \alpha_1 \cdot \pi_2 + (1 - \beta_4) \cdot \pi_7 + (1 - \beta_4) \cdot \pi_{11}, \pi_7 = K_1 \cdot (1 - \gamma_1) \cdot \pi_8, \\
\pi_8 &= 2 \cdot \gamma_1 \cdot (1 - \gamma_1) \cdot \pi_1 + \pi_5 + \beta_4 \cdot \pi_7 + \beta_3 \cdot \pi_9 + (1 - K_4) \cdot \pi_{10}, \\
\pi_9 &= (1 - K_1) \cdot (1 - \gamma_1) \cdot \pi_8, \pi_{10} = K_3 \cdot \alpha_3 \cdot \pi_4 + (1 - \beta_3) \cdot \pi_9 + (1 - \beta_3) \cdot \pi_{13}, \\
\pi_{11} &= K_1 \cdot \pi_{12}, \pi_{12} = \gamma_1^2 \cdot \pi_1 + \gamma_1 \cdot \pi_8 + \beta_4 \cdot \pi_{11} + \beta_3 \cdot \pi_{13}, \pi_{13} = (1 - K_1) \cdot \pi_{12}, \quad (5)
\end{aligned}$$

где π_i – вероятность нахождения ИК в i -м состоянии ($i = 1 \dots 13$); γ_1 – вероятность возникновения отказа основного или резервного ЧЭ ПИП ИК; K_1 – коэффициент, характеризующий отношение интервала между циклами встроенного контроля $T_{ИМК}$ и интервала между поверками $T_{ИМП}$ ИК ($K_1 = T_{ИМК} / T_{ИМП}$); K_2 – коэффициент, характеризующий отношение времени восстановления исправности ИК за счет отключения основного ЧЭ и подключения вместо него резервного $T_{В1}$ к времени ремонта ИК или восстановления ИК за счет замены неисправного ПИП на ПИП из состава ЗИП $T_{РВ}$ ИК ($K_2 = T_{В1} / T_{РВ}$); K_3 – коэффициент, характеризующий отношение времени восстановления исправности ИК за счет отключения основного ЧЭ и подключения вместо него резервного к времени ремонта ИК или восстановления ИК за счет замены неисправного ПИП на ПИП из состава ЗИП $T_{В1}$ к времени восстановления ИК за счет введения поправочного коэффициента в чувствительность ПИП или в результаты измерения физической величины $T_{В2}$ ($K_3 = T_{В1} / T_{В2}$); K_4 – коэффициент, характеризующий вероятность восстановления ИК за счет введения поправочного коэффициента в чувствительность ПИП или в результаты измерения физической величины; α_1 и β_1 – условные вероятности ложного и необнаруженного отказа при поверке в состоянии E_2 ; α_2 и β_2 – условные вероятности ложного и необнаруженного отказа при параметрическом контроле в состоянии E_3 ; α_3 и β_3 – условные вероятности ложного и необнаруженного отказа при встроенном контроле в состояниях E_4 , E_9 и E_{13} ; α_4 и β_4 – условные вероятности ложного и необнаруженного отказа при поверке в состояниях E_7 и E_{11} .

Условие нормировки, используемое вместо одного из уравнений:

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 + \pi_7 + \pi_8 + \pi_9 + \pi_{10} + \pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{13} = 1. \quad (6)$$

Коэффициент готовности $K_{Г}$ гидроакустических ИК к применению по назначению вычисляется по следующей формуле:

$$\begin{aligned}
K_{Г} &= (\pi_1 \cdot v_1 + \pi_8 \cdot v_8) / (\pi_1 \cdot v_1 + \pi_2 \cdot v_2 + \pi_3 \cdot v_3 + \pi_4 \cdot v_4 + \pi_5 \cdot v_5 + \pi_6 \cdot v_6 + \\
&+ \pi_7 \cdot v_7 + \pi_8 \cdot v_8 + \pi_9 \cdot v_9 + \pi_{10} \cdot v_{10} + \pi_{11} \cdot v_{11} + \pi_{12} \cdot v_{12} + \pi_{13} \cdot v_{13}). \quad (7)
\end{aligned}$$

Времена нахождения в состояниях задавались следующим образом:

$$\begin{aligned}
v_1 &= \gamma_1 \cdot (2 - \gamma_1) / (2 \cdot \lambda_1) - T_{ИМП} \cdot (1 - K_1)^2 \cdot (1 - \gamma_1)^2, v_2 = T_{П1}, v_3 = T_{ПК}, \\
v_4 &= T_{БК}, v_5 = T_{В1} + T_{БК}, v_6 = T_{Р} + T_{П2}, v_7 = T_{П2}, \\
v_8 &= \gamma_1 / \lambda_1 (1 + K_1 / 2) - T_{ИМП} (1 - K_1 + K_1^2) \cdot (1 - \gamma_1), v_9 = T_{БК}, v_{10} = T_{В2} + T_{БК}, \\
v_{11} &= T_{П2}, v_{12} = T_{ИМП} \cdot K_1 \cdot (1 + K_1 + 1 / \gamma_1^2) - K_1 \cdot (1 + \gamma_1 / 2) / (\lambda_1 \cdot \gamma_1), v_{13} = T_{БК}, \quad (8)
\end{aligned}$$

где λ_1 — интенсивность возникновения отказа основного или резервного ЧЭ ПИП ИК; $T_{П1}$ — продолжительность поверки ИК классическим методом взаимности (состояние E_2); $T_{П2}$ — продолжительность поверки ИК модифицированным методом взаимности (состояние E_7 и E_{11}); $T_{ПК}$ — продолжительность параметрического контроля ИК, основанного на совместном применении альтернативной и квазиклассической методики групповой оценки метрологической исправности ИК (состояние E_3); $T_{ВК}$ — продолжительность встроенного контроля ИК методом эталонного излучателя (состояние E_4 , E_9 и E_{13}); $T_{РВ}$ — продолжительность ремонта или восстановления ИК за счет замены неисправного ПИП на ПИП из состава ЗИП после поверки; $T_{В1}$ — продолжительность восстановления исправности ИК после поверки или встроенного контроля за счет отключения основного ЧЭ и подключения вместо него резервного; $T_{В2}$ — продолжительность восстановления исправности ИК после поверки или встроенного контроля за счет введения поправочного коэффициента в чувствительность ПИП или в результаты измерения физической величины.

Обсуждение полученных результатов. Таким образом, разработанные модели позволяют:

- рассчитать коэффициент готовности к применению ИК в зависимости от входных параметров модели (интервал между поверками и др.) и оценить его соответствие заданному значению;
- рассчитать границы величины интервала между поверками ИК с встроенным и параметрическим контролем стабильности их МХ, на котором обеспечивается заданное значение коэффициента готовности к применению ИК;
- рассчитать оптимальную периодичность контроля стабильности МХ ИК, которая обеспечивает заданное значение коэффициента готовности к применению ИК на интервалах между поверками сопоставимыми со сроком службы объекта до капитального ремонта;
- оценить эффективность применение различных подходов к определению МХ ИК.

Заключение. Разработанные модели полностью соответствуют процессу эксплуатации гидроакустических ИК систем оценки и контроля физических полей подводных объектов и могут быть использованы для проведения испытаний в целях утверждения типа таких систем. Дальнейшие исследования по данной тематике будут направлены на апробацию разработанных моделей и расчет коэффициентов готовности гидроакустических ИК на основании действительных значений эксплуатационных характеристик ИС.

Список источников

- [1] Сычев Е.И. *Метрологическое обеспечение радиоэлектронной аппаратуры*. Москва, Татьяна день, 1993, 274 с.
- [2] Мищенко В.И., Кравцов А.Н., Мамлеев Т.Ф. Полумарковская модель функционирования резервируемых средств измерений с учетом периодичности поверки. *Измерительная техника*, 2021, № 2, с. 22–27.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Пленарные доклады	5
<i>Смирнов В.А.</i> Создание вибростабильных оснований для экспериментальных стендов в МГТУ им. Н.Э. Баумана	7
<i>Фараносов Г.А., Титарев В.А.</i> Моделирование тонального шума сложных винтовых конфигураций	24
<i>Шанин А.В.</i> Метод электроакустических аналогий: история и основные идеи	33
Секционные доклады	41
<i>Абдуллина Я.А., Попова И.Ю.</i> Численное моделирование физического процесса прохождения звуковой волны через упругую пластину при оценке ее звукоизолирующей эффективности	43
<i>Адамович М.Б., Абоян Г.М., Карташов А.Б.</i> Экспериментальный анализ акустической эмиссии ведущего моста грузового автомобиля при утечке масла в экспериментальных условиях	49
<i>Антонов А.Ю., Сатарова Е.В.</i> Программные средства регистрации и анализа ударных и вибрационных воздействий в задачах виброакустических исследований	57
<i>Башкатов В.В., Остриков Н.Н.</i> Исследование влияния нелинейного режима работы звукопоглощающих конструкций на процесс распространения звука в прямоугольном канале с потоком и использованием полуаналитической модели	62
<i>Бикмухаметов Ф.Р., Разрезова К.В., Смольницкий Р.А., Щелоков Ю.А., Красикова М.В.</i> Применимость радиочастотных безэховых камер для проведения акустических измерений на примере камеры в Университете ИТМО	69
<i>Брянцев Л.М., Мамонтова А.Д., Комкин А.И.</i> Сброс пара в атмосферу: механизмы генерации шума и методы его снижения	75
<i>Валиахметова О.Ю.</i> Особенности распространения ударно-волновых импульсов в насыщенных средах с различным типом скелета: акустический аспект	83
<i>Васильев М.Д., Канев Н.Г.</i> Нормативные требования изоляции воздушного шума гражданских зданий в РФ и за рубежом	89
<i>Вьюгинова А.А., Новик А.А., Вьюгинов С.Н., Новик А.А., Лбов А.А., Новик А.А.</i> Конструкции и применение мощных магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей в ультразвуковых технологиях	99
<i>Галевко Ю.В., Тюрин В.П., Кузьмин А.О., Юдин С.И., Галевко Е.Ю.</i> Оценка вклада газодинамической составляющей во внешний и внутренний шум легкового автомобиля	107
<i>Гиниятуллин И.И., Суходольский Ю.В., Степанов Р.В., Павлов Г.И.</i> О методе подавления резонансных колебаний в камерах сгорания жидкодстного ракетного двигателя	115

<i>Гофман М.Д., Стряпунин А.С., Галевко Е.Ю., Казаков С.С., Яковенко А.Л.</i> Моделирование структурного шума двигателя внутреннего сгорания на эксплуатационных режимах работы	122
<i>Гущина Д.В., Савельев А.П.</i> Техничко-экономическое обоснование применения современных шумозащитных технологий в спиртоперерабатывающей отрасли	128
<i>Долгер А.Р., Канев Н.Г.</i> Экспериментальный стенд для лабораторных измерений звукоизоляции вентилируемых ограждений	135
<i>Зайнутдинова Д.А., Павлов Г.И., Бреус К.С.</i> Исследование влияния акустической мощности пульсирующего газового потока на процесс сушки сферической частицы: численное моделирование	142
<i>Зоткин А.П., Богатов Н.А., Халаджан Е.А., Савина А.С., Кокорин Н.А.</i> Кинетика окисления раствора индигокармина в виброакустическом поле	149
<i>Иванов К.И., Береза Е.А., Марголина И.Л.</i> Акустический мониторинг рекреационных территорий на примере Парка 50-летия Октября	156
<i>Иванцов Т.С., Морозов Д.В.</i> Практическое применение предварительных виброиспытаний	164
<i>Иголкин А.А., Пантюшин А.О., Гареев А.А.</i> Исследование влияния загрязнения пористых элементов на пропускную способность глушителей шума пневмосистем высокого давления	171
<i>Ипатов М.С., Остриков Н.Н.</i> Сравнение акустических характеристик звукопоглощающей конструкции на установке «Интерферометра с потоком» в зависимости от типа акустического сигнала, распространяющегося в турбулентном потоке	178
<i>Казанцева В.В.</i> Оценка влияния электробусов на уровень транспортного шума на территории жилой застройки	188
<i>Кан Н.В., Рахматуллин А.Р., Семенихин Д.А., Зиннатуллин А.Р., Баранова М.А., Моисеев К.М.</i> Разработка макета датчика контроля вибрации на основе сегнетоэлектрической пленки ПВДФ	194
<i>Карпов И.А.</i> Модально-селективная обработка случайных сигналов колебательных систем на основе ARMA/ARX-моделей	202
<i>Ковина М.А., Тюрина Н.В., Кондратьев С.А.</i> Снижение транспортного шума при градостроительном проектировании жилых районов	209
<i>Кожарин Н.Ю., Павлов Г.И., Степанов Р.В.</i> Численно-экспериментальное моделирование стоячих волн в жидкости	218
<i>Кокорин Н.А., Халаджан Е.А., Богатов Н.А., Зоткин А.П., Козлова А.М.</i> Способ количественной оценки монооксида азота, полученного сонолизом водных растворов	224
<i>Комкин А.И., Быков А.И., Матасова О.Ю., Семенцов С.Г.</i> Повышение точности акустических измерений в импедансной трубе с потоком	231
<i>Коньшина А.С., Юдин С.И., Надарейшвили Г.Г.</i> Особенности расчета акустических характеристик системы выпуска двигателя внутреннего сгорания с учетом потока отработавших газов	238
<i>Коньшина А.С., Юдин С.И., Надарейшвили Г.Г.</i> Расчетная доводка акустических характеристик системы выпуска двигателя внутреннего сгорания с учетом потока отработавших газов	245

<i>Корунов А.О., Гусев В.А.</i> Численное моделирование распространения звукового удара в турбулентном пограничном слое атмосферы с применением двух эволюционных моделей	252
<i>Кувыкин Ю.А., Супрунюк В.В., Максак А.Г.</i> К вопросу о разработке методических рекомендаций по оценке эффективности применения метрологического самоконтроля в акустических измерительных системах и комплексах	261
<i>Кузнецова А.Д., Пименов И.К.</i> Выявление вклада составляющих шума инженерного оборудования в акустическую обстановку жилых помещений	270
<i>Куликов А.С.</i> Теоретический анализ и оптимизация акустических параметров зрительного зала образовательного учреждения	277
<i>Лагута М.В., Кравчук Д.А.</i> Исследования нелинейности процесса распространения поперечных акустических волн для целей акустической эластографии	282
<i>Лестенко Н.А., Олейников А.Ю., Вальштейн К.В.</i> Сравнительный анализ эффективности методов предварительной фильтрации в задачах корреляционной обработки сигналов для локализации и классификации источника звука	288
<i>Малыхин Ф.А., Лаухин Д.А., Тотунов С.С., Петрова М.М.С., Иванов М.В.</i> Разработка мета-глушителя для промышленной аспирационной системы	294
<i>Мамонтова А.Д., Канев Н.Г., Комкин А.И.</i> Акустические характеристики Большого зала Смоленского академического драматического театра имени А.С. Грибоедова	303
<i>Мамонтова А.Д., Канев Н.Г.</i> Акустика концертного зала имени М.И. Глинки Смоленской областной филармонии	311
<i>Манаков А.С., Теплякова А.В., Бунаков А., Паврос К.С., Буракевич Д.А.</i> Измерение истинной толщины стенок ванн горячего цинкования ультразвуковым способом	319
<i>Марголина И.Л., Канев Н.Г., Иноземцев Д.С., Петраш М.Ю., Царькова А.В.</i> Акустические условия в Измайловском парке г. Москвы по данным полевых измерений	326
<i>Марфин Е.А., Абдрашитов А.А., Марфин М.Е.</i> Влияние конфигурации связанных резонаторов Гельмгольца на их акустические характеристики в задачах снижения шума	332
<i>Миронюк И.Ю., Бычков О.П., Копьев В.Ф., Фараносов Г.А.</i> Исследование акустического излучения расчетной сверхзвуковой струи в направлении вверх по потоку	340
<i>Павлов Д.А., Тупов В.Б.</i> Приведенные затраты на установку звукопоглощающих направляющих пластин на повороте газового тракта энергоблока 250 МВт ...	346
<i>Попова И.Ю.</i> Применение низкочастотных резонансных поглотителей в конструкциях монументальных объектов больших помещений	354
<i>Попов Ю.Н., Корнилаев Р.В.</i> Расчет собственных частот трехкамерного резонатора Гельмгольца	361
<i>Прокофьев А.П.</i> Виброиспытания: задачи, особенности и практика применения для изделий различного назначения	370

<i>Рахматов Р.И., Надарейшвили Г.Г., Тяка Е.Ф., Рахматов И.Р.</i> Исследования локальной динамической жесткости зон крепления источников возбуждения кузова автотранспортного средства	376
<i>Сатарова Е.В.</i> Измерение векторной интенсивности звука с использованием четырехмикрофонного интенсивметрического зонда в задачах акустики среды обитания	382
<i>Светлов В.В., Картышев М.О.</i> Применение системы мониторинга шума для оценки акустического воздействия строительных площадок на территорию жилой застройки	387
<i>Свистов В.Е.</i> Суррогатное моделирование на основе нейронных сетей для оптимизации геометрических параметров акустических метаматериалов	393
<i>Стаценко В.В., Малыхин Ф.А., Лаухин Д.А., Серов С.А., Иванов М.В.</i> Влияние расположения задающих акселерометров на резонирующей оснастке при задании режима виброиспытаний	400
<i>Тупов В.Б., Мухаметов А.Б., Мухаметов Д.Б.</i> Влияние угла установки отражающей надстройки на акустическую эффективность шумозащитного экрана	411
<i>Чеботарев А.С., Голубев А.Ю.</i> Распределение звукового давления в цилиндрической оболочке с горизонтальной перегородкой (полом) при воздействии внешнего акустического источника	417
<i>Шпынкова В.Д., Деменев Д.А.</i> Аэродинамический шум высокоскоростных поездов: анализ источников и методов снижения	424
<i>Шумарин В.Д., Хохлов Н.И.</i> Применение сеточно-характеристического метода в задачах архитектурной акустики	430
<i>Щедрин А.Ю., Ольховский А.Н.</i> Полумарковские модели процесса эксплуатации измерительных каналов систем оценки и контроля гидроакустических полей подводных объектов	438

Научное издание

Акустика среды обитания

XI Всероссийская конференция
молодых ученых и специалистов

Москва, 28–29 мая 2026 г.

Материалы конференции

Художник *Э.Ш. Мурадова*
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 14.05.2026. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 36,4. Тираж 70 экз.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
<https://press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.