

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук
(ПФИЦ УрО РАН)

Принято на заседании
Объединенного ученого совета
ПФИЦ УрО РАН
Протокол № 4
«11» июня 2024 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор ПФИЦ УрО РАН
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.


О.А. Плехов

«11» июня 2024 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Интеллектуальный мониторинг
(Structural health monitoring)»

ПЕРМЬ, 2024

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

1.1. Цель реализации программы.

Программа разработана в рамках реализации программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук». Целью программы является ознакомление слушателей с основными методами и принципа проектирования, создания и внедрения систем интеллектуального мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) объектов контроля.

Курс затрагивает ряд разделов физики, связанных со способами исследования напряженно-деформированного состояния объектов контроля: механику твердого тела, электротехнику, техническую химию и т.д. Предлагается подробное обсуждение физических основ таких методов анализа напряженно-деформированного состояния объектов, как техническое обследование, физическое моделирование, математическое моделирование, использование различных методов неразрушающего контроля, прогнозирование состояния объектов контроля. В рамках изучения курса формируются представления о современных методах анализа НДС объектов посредством создания и внедрения систем интеллектуального мониторинга и о мировых достижениях в этой области. Акцент делается на методы конечно-элементного моделирования в совокупности с данными, полученными посредством анализа интегральных параметров объекта контроля путем размещения на нем различных вариаций систем мониторинга. Данный подход является одним из наиболее перспективных для диагностики и прогнозирования состояния объектов контроля в таких отраслях как строительство, машиностроение, автомобилестроение, авиационная отрасль, медицинская и др. промышленность.

1.2. Планируемые результаты обучения.

В результате освоения программы обучающийся качественно изменяет следующие компетенции:

Трудовая функция. Самостоятельное решение исследовательских задач в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта, связанного с исследованием характеристик НДС объектов контроля и прогнозирования их состояний.

Трудовое действие.

Проведение исследований, направленных на решение отдельных исследовательских задач, в том числе:

- формализация, постановка и поиск пути решения исследовательских задач.
- определение информационных ресурсов, научной, опытно-экспериментальной и приборной базы, необходимых для решения исследовательских задач.
- интерпретация научных (научно-технических) результатов, полученных в ходе решения исследовательских задач.

В результате освоения программы слушатель должен:

Знать:

- основные методы математического и физического моделирования;
- современные аппаратно-технические средства и методы проектирования, создания и внедрения систем интеллектуального мониторинга;
- современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных полученных при применении тех или иных методов интеллектуального мониторинга;
- Физические основы и принципы создания датчиков для систем интеллектуального мониторинга.

Уметь:

- применять полученные знания при выполнении практических заданий, расчетов, осваивать вопросы, выносимые на самостоятельное изучение;
- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач, генерировать новые идеи и оценивать потенциальные риски, связанные с их реализацией;
- подбирать методы интеллектуального мониторинга оптимальные для решения конкретных задач по контролю напряженно-деформированного состояния объектов.

Владеть:

- методами формализации задач и анализа имеющейся информации (результатов физических и численных экспериментов);
- практическими навыками и знаниями использования результатов современных исследований в данной области;
- способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии, излагать материал в ясной и доступной форме;
- навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов;
- навыками критической оценки эффективности различных методов интеллектуального мониторинга;

1.3. Категория слушателей

К освоению дополнительной профессиональной программы повышения квалификации допускаются лица, имеющие высшее образование - специалитет, магистратура, а также высшее образование - подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура и докторантура). Приоритет при реализации программы отдаётся специалистам, участвующим в создании и развитии научного центра мирового уровня «Сверхзвук».

1.4. Трудоемкость обучения

Срок освоения программы повышения квалификации составляет 36 ч.

1.5. Форма обучения

Форма обучения - очная.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ**2.1. Учебный план**

№	Наименование разделов, дисциплин	Общая трудоемкость, ч	Всего ауд., ч	Аудиторные занятия, ч		Итоговая аттестация	СР, в т.ч. КСР, ч	Форма контроля
				Лекции	Практические занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Введение.	1	1	1	-	-	-	-
1.	Правовые аспекты и основные понятия в	2	1	1			1	

	области контроля технической безопасности объектов							
2.	Категории технических состояний объектов. Методология их диагностики, оценки и прогнозирования	4	2	2	-	-	2	<i>текущий контроль</i>
3.	Физические основы методов интеллектуального мониторинга	4	2	2	-	-	2	<i>текущий контроль</i>
4.	Гидронивелирование и цифровое геодезическое нивелирование	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
5.	Тензометрирование	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
6.	Оптические и акустические методы интеллектуального мониторинга	3	1	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
7.	Аппаратно-технические средства и проблематика их использования	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
8.	Аспекты математического и физического моделирования НДС объектов на основе данных интеллектуального мониторинга	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
9.	Принципы проектирования, создания и внедрения систем интеллектуального мониторинга	3	2	2	-	-	1	<i>текущий контроль</i>
10.	Анализ опыта внедрения и использования систем интеллектуального мониторинга на объектах контроля	3	1	1			2	<i>текущий контроль</i>
	Итоговая аттестация	4	-	-	-	4	-	<i>зачет</i>
	Итого:	36	19	14	5	4	13	

Учебно-тематический план

№	Наименование разделов, дисциплин, тем	Общая трудоемкость, ч	Всего ауд., ч	Аудиторные занятия, ч		Итоговая аттестация	СР, ч, в т.ч. КСР, ч	Форма контроля
				Лекции	Практические занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Введение.	1	1	1	-		-	-
1.	Правовые аспекты и основные понятия в области контроля технической безопасности объектов	2	1	1	-		1	<i>текущий контроль</i>
1.1	Анализ действующей нормативно правовой документации в области контроля технической безопасности: Федеральные Законы и регламенты, Своды норм и правил, Госты и т.д.	2	1	1	-	-	1	<i>текущий контроль</i>
2.	Категории технических состояний объектов. Методология их диагностики, оценки и прогнозирования	4	2	2	-	-	2	<i>текущий контроль</i>
2.1	Категории состояний: нормативное, работоспособное, ограниченно-работоспособное, аварийное	2	1	1	-	-	1	<i>текущий контроль</i>
2.2	Техническое обследование объектов контроля: методы, способы и аспекты.	2	1	1	-	-	1	<i>текущий контроль</i>
3.	Физические основы методов интеллектуального мониторинга	4	2	2	-	-	2	<i>текущий контроль</i>
3.1	Сопротивление материалов. Строительная механика. Напряженно-деформированное состояние. Теории прочности. Пластичность. Выносливость. Устойчивость.	2	1	1	-	-	1	<i>текущий контроль</i>
3.2	Механика грунтов. Акустическая эмиссия. Вибродиагностика.	2	1	1	-	-	1	<i>текущий контроль</i>

	Сейсмоакустика. Электротехника. Механика жидкости.							
4.	Гидронивелирование и цифровое геодезическое нивелирование	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
4.1	Основы и практикум методов контроля положения объектов: гидронивелирование и цифровое геодезическое нивелирование. Физические основы и аспекты применения.	3	1	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
5.	Тензометрирование	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
5.1	Основы и практикум методов контроля деформированного состояния объектов: тензометрирование. Физические основы и аспекты применения.	3	1	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
6.	Оптические и акустические методы интеллектуального мониторинга	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
6.1	Основы и практикум методов контроля деформированного состояния объектов: акустические и оптические методы. Физические основы и аспекты применения.	3	1	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
7.	Аппаратно-технические средства и проблематика их использования	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
7.1	Основные принципы построения аппаратно-технической части систем интеллектуального мониторинга. Особенности и аспекты применения.	3	1	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
8.	Аспекты математического и физического моделирования НДС объектов на основе данных интеллектуального мониторинга	3	2	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>
8.1	Создание физического и виртуального двойника объекта контроля, модели	3	1	1	1	-	1	<i>текущий контроль</i>

	прогнозирования состояний. Эксперимент и правила его проведения.							
9.	Принципы проектирования, создания и внедрения систем интеллектуального мониторинга	3	2	2	-	-	1	<i>текущий контроль</i>
9.1	Оценка текущего состояния объекта и определение параметров его контроля	2	1	1	-	-	1	<i>текущий контроль</i>
9.2	Проектирование, создание и внедрение систем интеллектуального мониторинга на основе проведенной оценки	1	1	1	-	-	-	<i>текущий контроль</i>
10.	Анализ опыта внедрения и использования систем интеллектуального мониторинга на объектах контроля	3	1	1			2	<i>текущий контроль</i>
10.1	Примеры объектов с размещенными на них и эксплуатируемыми системами интеллектуального мониторинга. Аспекты и особенности проектирования, создания и эксплуатации.	3	1	1			2	<i>текущий контроль</i>
	Итоговая аттестация	4				4		<i>зачет</i>
	Итого:	36	19	14	5	4	13	

2.2. Календарный учебный график

№ п/п	День проведения занятия	Форма занятия	Кол-во часов	Тема занятия	Форма контроля
1.	1	очно	3	Введение. Тема 1, 2	Текущий контроль
2.	2	очно	3	Тема 2, 3	Текущий контроль
3.	3	очно	3	Тема 4, 5, 6	Текущий контроль
4.	4	очно	3	Тема 7, 8, 9	Текущий контроль
5.	5	очно	2	Тема 9,10	Текущий контроль
6.	6	очно	4	итоговая аттестация	Зачет

2.3. Рабочая учебная программа дисциплины «Интеллектуальный мониторинг Structural health monitoring».

Введение.

Л – 1 ч.

Организация учебного процесса. Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины. Задачи интеллектуального мониторинга в разных отраслях. История развития методов.

Раздел 1.

Л – 14 ч., Пр – 5, СР – 12 ч.

Тема 1. Правовые аспекты и основные понятия в области контроля технической безопасности объектов. Анализ действующей нормативно правовой документации в области контроля технической безопасности: Федеральные Законы и регламенты, Своды норм и правил, Госты и т.д.

Тема 2. Категории технических состояний объектов. Методология их диагностики, оценки и прогнозирования. Категории состояний: нормативное, работоспособное, ограниченно-работоспособное, аварийное. Техническое обследование объектов контроля: методы, способы и аспекты.

Тема 3. Физические основы методов интеллектуального мониторинга. Сопротивление материалов. Механика грунтов. Акустическая эмиссия. Вибродиагностика. Сейсмоакустика. Электротехника. Механика жидкости. Строительная механика. Напряженно-

деформированное состояние. Теории прочности. Пластичность. Выносливость. Устойчивость.

Тема 4. Гидронивелирование и цифровое геодезическое нивелирование. Основы и практикум методов контроля положения объектов: гидронивелирование и цифровое геодезическое нивелирование. Физические основы и аспекты применения.

Тема 5. Тензометрирование. Основы и практикум методов контроля деформированного состояния объектов: тензометрирование. Физические основы и аспекты применения.

Тема 6. Оптические и акустические методы интеллектуального мониторинга. Основы и практикум методов контроля деформированного состояния объектов: акустические и оптические методы. Физические основы и аспекты применения.

Тема 7. Аппаратно-технические средства и проблематика их использования. Основные принципы построения аппаратно-технической части систем интеллектуального мониторинга. Особенности и аспекты применения.

Тема 8. Аспекты математического и физического моделирования НДС объектов на основе данных интеллектуального мониторинга. Создание физического и виртуального двойника объекта контроля, модели прогнозирования состояний. Эксперимент и правила его проведения.

Тема 9. Принципы проектирования, создания и внедрения систем интеллектуального мониторинга. Оценка текущего состояния объекта и определение параметров его контроля. Проектирование, создание и внедрение систем интеллектуального мониторинга на основе проведенной оценки.

Тема 10. Анализ опыта внедрения и использования систем интеллектуального мониторинга на объектах контроля. Примеры объектов с размещенными на них и эксплуатируемыми системами интеллектуального мониторинга. Аспекты и особенности проектирования, создания и эксплуатации.

Перечень лабораторных работ и практических (семинарских) занятий

Предусмотрено в объеме части очных занятий по разделам 4, 5, 6, 7 и 8.

Лабораторная №1: Основы и практикум методов контроля положения объектов: гидронивелирование и цифровое геодезическое нивелирование. Физические основы и аспекты применения.

Лабораторная №2: Основы и практикум методов контроля деформированного состояния объектов: тензометрирование. Физические основы и аспекты применения.

Лабораторная №3: Основы и практикум методов контроля деформированного состояния объектов: акустические и оптические методы. Физические основы и аспекты применения.

Лабораторная №4: Основные принципы построения аппаратно-технической части систем интеллектуального мониторинга. Особенности и аспекты применения.

Лабораторная №5: Создание физического и виртуального двойника объекта контроля, модели прогнозирования состояний. Эксперимент и правила его проведения.

3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций по образовательной программе.

В процессе изучения тем по данной образовательной программе используются современные образовательные технологии (критическое мышление, проблемное обучение и др.) и информационно-коммуникационные технологии как в проведении лекционных занятий, так и в самостоятельной работе слушателей. Применение технологий и их сочетание определяется преподавателями, ведущими обучение по темам программы, самостоятельно.

3.1. Учебно-методическое обеспечение программы

В учебном процессе используются

- электронные ресурсы:

- каталог ГОСТ <http://www.internet-law.ru/gosts/>

- официальный сайт журнала Structural Health Monitoring <https://journals.sagepub.com/home/SHM?cookieSet=1>

- электронная библиотека диссертаций РГБ <http://diss.rsl.ru>

- научная электронная библиотека РИНЦ (Elibrary) <http://elibrary.ru>

- научная электронная библиотека ScienceDirect <https://www.sciencedirect.com/>

- научная электронная библиотека Elsevier <https://www.elsevier.com>

- университетская информационная система Россия <https://uisrussia.msu.ru/>

- университетские библиотеки г. Перми:

<http://biblioclub.ru/>

<http://pspu.ru/university/biblioteka/jelektronnye-resursy-biblioteki>

<https://perm.hse.ru/library/>

<http://biblioteki.perm.ru/main/index.html?id=34>

- наукометрическая и реферативная база данных Scopus <https://www.scopus.com>

- национальная электронная библиотека <https://нэб.рф>

- учебные издания:

- Постановление Правительства РФ от 28.05.2021 N 815 (ред. от 20.05.2022) "Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", и о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 4 июля 2020 г. N 985"- Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Методы неразрушающего контроля/ Учебное пособие. Изд-во ДВГТУ, 2007.-242с.

- ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
- ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования.
- РБ-045-08. Динамический мониторинг строительных конструкций объектов использования атомной энергии.
- СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
- СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
- В. В. Леденёв, В. П. Ярцев. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений. Учебное пособие. Тамбов 2017.

- периодические издания

- журнал «Вычислительная механика сплошных сред» <http://www2.icmm.ru/journal/cont.htm>
- журнал «Известия РАН. Механика твердого тела», <http://mtt.ipmnet.ru/ru>
- журнал Structural Health Monitoring <https://journals.sagepub.com/home/SHM?cookieSet=1>
- вестник ПНИПУ. «Механика» журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, с 2012 г., <http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/>
- журнал «Моделирование и механика конструкций» Пензенский государственный университет архитектуры и строительства <http://mechanics.pguas.ru>
- журнал «Основания, фундаменты и механика грунтов» Издательский дом "Экономика, строительство, транспорт" <http://ofmg.ru>
- журнал «Строительная механика и конструкции» Воронежский государственный технический университет <http://cchgeu.ru/science/nauchnye-izdaniya/stroitel'naya-mekhanika-i-konstruktsii>
- журнал «Строительная механика и расчет сооружений» Научно-исследовательский центр "Строительство" <http://www.stroy-mex.narod.ru>
- журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений» Российский университет дружбы народов (РУДН) <http://journals.rudn.ru/structural-mechanics>
- журнал «Химия, физика и механика материалов» Воронежский государственный технический университет <https://cchgeu.ru/science/nauchnye-izdaniya/fiziko-khimicheskie-problemy/>

3.2. Материально-технические условия

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Лекционная мультимедийная аудитория	Лекция/Лабораторная	компьютер, мультимедийный проектор, экран, меловая (или маркерная) доска, набор фломастеров-маркеров, приборы контроля, датчики

3.3. Кадровое обеспечение

Кадровое обеспечение ДПП повышения квалификации реализуется сотрудниками НЦМУ «Сверхзвук» ПФИЦ УрО РАН.

Состав итоговой аттестационной комиссии (ИАК) по программе формируется из числа педагогических и научных работников Центра, ведущих специалистов и практиков предприятия, а также лиц, приглашаемых из сторонних организаций: специалистов предприятий, учреждений и организаций по профилю осваиваемой слушателями программы.

4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

4.1. Формы аттестации

Контроль успеваемости обучающихся включает в себя целенаправленный систематический мониторинг освоения слушателями программы повышения квалификации в целях:

- получения необходимой информации о выполнении слушателями дополнительной профессиональной программы повышения квалификации,
- оценки уровня знаний, умений и приобретенных (усовершенствованных) слушателями компетенций;
- стимулирования самостоятельной работы слушателей.

Текущий контроль – устный опрос и защита отчета по творческому заданию.

Примерные вопросы **итоговой аттестации** приводятся в разделе «Оценочные материалы».

Итоговая аттестация для слушателей проводится итоговой аттестационной комиссией (ИАК) в соответствии с «Порядком проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации при освоении ДПП».

Освоение дополнительной профессиональной программы повышения квалификации завершается итоговым зачетом в форме собеседования и устных ответов на вопросы, согласно перечню контрольных вопросов по программе «Интеллектуальный мониторинг». Оценка качества освоения программы осуществляется ИАК на основе двухбалльной системы оценок (зачтено/не зачтено) по основным темам программы.

Лицам, успешно освоившим программу профессиональной переподготовки, получившим на итоговой аттестации оценку «зачтено», выдается документ о повышении квалификации – удостоверение о повышении квалификации. Лицам, не прошедшим итоговую аттестацию или получившим на итоговой аттестации оценку «незачтено», а также лицам, освоившим часть программы профессиональной переподготовки и (или)

отчисленным в ходе освоения дополнительной профессиональной программы, выдается справка об обучении.

4.2. Оценочные материалы

Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на итоговом зачете по программе:

1. Правовые аспекты и основные понятия в области контроля технической безопасности объектов.
2. Категории технических состояний объектов.
3. Техническое обследование объектов контроля: методы, способы и аспекты.
4. Физические основы методов интеллектуального мониторинга.
5. Гидронивелирование и цифровое геодезическое нивелирование.
6. Тензометрирование.
7. Оптические и акустические методы интеллектуального мониторинга.
8. Аппаратно-технические средства и проблематика их использования.
9. Основные принципы построения аппаратно-технической части систем интеллектуального мониторинга. Особенности и аспекты применения.
10. Аспекты математического и физического моделирования НДС объектов на основе данных интеллектуального мониторинга.
11. Создание физического и виртуального двойника объекта контроля, модели прогнозирования состояний.
12. Эксперимент и правила его проведения.
13. Принципы проектирования, создания и внедрения систем интеллектуального мониторинга.
14. Оценка текущего состояния объекта и определение параметров его контроля.
15. Проектирование, создание и внедрение систем интеллектуального мониторинга на основе проведенной оценки.
16. Анализ опыта внедрения и использования систем интеллектуального мониторинга на объектах контроля.

Типовые контрольные вопросы для оценивания умений и владений на итоговом зачете по программе:

1. Какие виды тензорезистивных датчиков существуют и применяются на сегодняшний день? Расскажите про принцип измерения деформаций посредством тензорезисторов.
2. Рассчитайте величину тока, который протекает через плечо моста Уитстона, собранного из тензорезисторов сопротивлением 200 Ом, если напряжение на питающей диагонали моста равно 2.5 В?
3. Напишите уравнение баланса моста Уитстона.
4. Сопоставьте методы измерения положения объектов: гидронивелирование и цифровое геодезическое нивелирование.
5. Приведите основные параметры контроля НДС сооружений посредством систем интеллектуального мониторинга.
6. Запишите уравнение Эйлера для оценки критической силы сжатого стержня. Рассчитайте критическую силу для стержня, выполненного из стали. Длина стержня 2 метра.

Стрежень квадратного сечения со стороной 5 см.

7. Длинная железная труба внутренним диаметром $d = 30$ см, длиной 200 м и толщиной стенок $b = 0,5$ см расположена горизонтально. Концы трубы перекрыты. Труба заполнена водой, причем разность давлений воды и наружного воздуха равна $4,9 \cdot 10^6$ Па. Какой объем воды вытечет из трубы, если по верхней линии ее стенки образуется трещина?

8. Принцип действия гидронивелира и теодолита.

9. Принцип метода акустической эмиссии.

10. В капиллярной трубке радиусом 0,5 мм жидкость поднялась на высоту 11 мм. Оценить плотность данной жидкости, если ее коэффициент поверхностного натяжения равен 22 мН/м.

11. Правила проведения эксперимента.

12. Определить предельный изгибающий момент ж/б балки (по первой группе предельных состояний) сечением – высота – 0.5 м, ширина 0.4 м. Балка выполнена из бетона класса прочности В15.

13. Принципы оценки текущего напряженно-деформированного состояния объекта.

Методические материалы и фонды оценочных средств представлены в приложении к дополнительной профессиональной программе повышения квалификации «Интеллектуальный мониторинг».

5. СОСТАВИТЕЛИ ПРОГРАММЫ

Составитель программы:

к. т. н.


Г.Н. Гусев

**Руководитель лаборатории «Прочность
и интеллектуальные конструкции»**

НЦМУ «Сверхзвук»

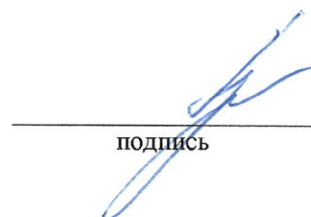
академик РАН, д.т.н.


В. П. Матвеевко
подпись

**Руководитель структурного
подразделения:**

Директор «ИМСС УрО РАН»

д.ф.-м.н.


А.И. Мизёв
подпись

