

Отчетные материалы
по ГК от 15 июня 2009 г. № 02.740.11.0032
«Исследования НОЦ ИМАШ РАН
в области снижения риска и уменьшения
последствий природных и техногенных
катастроф»

№№**СОДЕРЖАНИЕ**

- 1 Аннотация работ, выполненных на этапе № 1
- 2 Заключение по 1 этапу
- 3 Аннотация работ, выполненных на этапе № 2
- 4 Заключение по 2 этапу
- 5 Аннотация работ, выполненных на этапе № 3
- 6 Заключение по 3 этапу
- 7 Аннотация работ, выполненных на этапе № 4
- 8 Заключение по 4 этапу
- 9 Аннотация работ, выполненных на этапе № 5
- 10 Заключение по 5 этапу
- 11 Аннотация работ, выполненных на этапе № 6
- 12 Заключение по 6 этапу

**АННОТАЦИЯ РАБОТ,
ВЫПОЛНЕННЫХ НА ЭТАПЕ № 1**

«Разработка концептуальных положений системы оценки рисков для критически важных и потенциально опасных объектов и системы мониторинга опасных объектов для предотвращения техногенных катастроф»

государственного контракта с Федеральным агентством по науке и инновациям от 15 июня 2009 г. № 02.740.11.0032 по теме:

«Исследования НОЦ ИМАШ РАН в области снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф»

Шифр: «009-1.1-223-009-015»

Период 10.06.2009 – 30.09.2009

выполнения этапа

Исполнитель: Учреждение Российской академии наук Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН), г. Москва

Цель работы Комплексная теоретико-расчетно-экспериментальная методология снижения рисков и повышения безопасности работы сложных технических систем (в сильно повреждённых состояниях) на основе критериев прочности, трещиностойкости, вибростойкости, долговечности и живучести с приложением к образовательному процессу подготовки специалистов высшей квалификации в области техногенной безопасности.

1. Наименование разрабатываемой продукции

- Методология снижения рисков и повышения безопасности (безаварийности) критически важных потенциально опасных объектов в сильно повреждённых состояниях.
- Отчет о НИР, содержащий обоснование развиваемого направления исследований, изложение методик проведения исследований, а также описание полученных результатов.
- Отчет о патентных исследованиях в области голографических методов анализа полей деформаций.

2. Характеристика выполненных на этапе работ по созданию продукции

2.1. Результаты работы на 1-м этапе, в том числе: методы и результаты исследований с указанием их характеристик, полученных, в том числе, по результатам испытаний, оценка соответствия этих характеристик требованиям задания.

В рамках первого этапа работ проанализирован и обобщен отечественный и зарубежный опыт прогнозирования и снижения рисков возникновения техногенных катастроф на критически важных (КВО) и потенциально опасных объектах (ПОО). Сформулированы концептуальные положения системы анализа и снижения рисков катастроф на КВО и ПОО на всех стадиях их жизненного цикла. Обоснована концепция системы мониторинга этих объектов для снижения рисков и предотвращения техногенных катастроф. Проведены патентные исследования в области голографической спекл-интерферометрии для анализа напряженно-деформированных состояний конструкций. Проведенные исследования и представленные результаты соответствуют требованиям Технического задания.

2.2. Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень.

Методологическая система прогнозирования рисков строится на основе теории техногенных катастроф, включающей физику, химию и механику катастроф, концепцию приемлемого риска, методы идентификации риска и анализа тяжести последствий, исходные базы знаний для расчетно-экспериментального определения функционалов и параметров рисков, а также методы анализа и моделирования источников и сценариев техногенных катастроф с варьируемыми иницирующими факторами опасности. Приведен комплекс базовых уравнений, функционалов и критериальных соотношений для прогнозирования и анализа рисков техногенного характера с учетом степени поврежденности КВО и ППО. Рассмотрены особенности вероятностных, феноменологических и детерминированных подходов при определении параметров и критических значений рисков. Даны рекомендации по методам анализа риска с учетом этапов функционирования объекта (проектирование, эксплуатация и т.д.), целей анализа, критериев приемлемого риска, типа анализируемого объекта и характера опасности, наличия ресурсов для проведения анализа, опыта и квалификации исполнителей, наличия необходимой информации и других факторов.

Обоснована роль правового и нормативно-технического регулирования в области снижения рисков и обеспечения безопасности природно-социальной сферы и механизмов управления рисками.

2.3. Особенности исследования, разработки, метода или методологии проведения работы на отчетном этапе.

Комплексная методология анализа риска возникновения техногенных катастроф основана на следующих концепциях анализа риска: технической, экономической, психологической и социальной. В рамках методологии привлекаются феноменологические, вероятностные и детерминированные методы, основанные на статистических, теоретико-вероятностных и

эвристических методиках. Для проектируемых и эксплуатируемых технических систем определение рисков возможных техногенных отказов, повреждений, аварий и катастроф предложено осуществлять с использованием обобщенного функционала, лежащего в основе анализа и оценки рисков. Параметры, входящие в функционал, определяются на базе определяющих уравнений математической теории катастроф и вероятностной теории рисков; физики, химии и механики аварийных ситуаций и катастроф; теории предельных состояний, прочности и ресурса с учетом аварийных и катастрофических ситуаций; теории жесткой, функциональной и комбинированной аварийной защиты объектов, операторов и персонала; теории мониторинга и прогнозирования (с применением космических, воздушных и наземных диагностических систем) сценариев и последствий техногенных катастроф; научных методов, технологий и техники ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

3. Области и масштабы использования полученных результатов

3.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты).

Область применения полученных результатов представляет собой систему критически важных объектов с максимальной степенью потенциальной опасности, приводящей к катастрофам в техногенной, природной и социальной сферах, а, именно, объекты гражданского комплекса: ядерной, химической, металлургической и горнодобывающей промышленности, уникальные инженерные сооружения (плотины, эстакады, нефтегазохранилища), транспортные системы (аэрокосмические, надводные и подводные, наземные), перевозящие опасные грузы и большие массы людей, магистральные газо,-нефте,- и продуктопроводы; а также объекты оборонного комплекса - ракетно-космические системы и летательные аппараты с ядерными и обычными зарядами, атомные подводные лодки и

надводные суда, крупные склады обычных и химических вооружений. Полученные результаты будут использованы при переходе управления техногенной и природно-техногенной безопасностью на рисковую основу, что соответствует федеральному законодательству, федеральной и отраслевой нормативной документации, федеральным, региональным и отраслевым программам. Методология оценки рисков техногенных аварий, научные основы обеспечения безопасности сложных технических систем применяются при модернизации и совершенствовании учебных программ для студентов технических университетов, обучающихся по специальности «Динамика и прочность».

3.2. Ход практического внедрения полученных результатов.

Внесены специальные разделы по техногенной безопасности и риск-анализу в учебные курсы «Основы физики прочности и механики разрушения», «Риск-анализ и проблемы техногенной безопасности», «Экспериментальная механика твердого тела», «Поляризационно-оптические методы анализа напряженно-деформированных состояний» и др.

Во всех этих курсах - на практических занятиях, на лекциях, на семинарах - обсуждаются проблемы техногенной безопасности, научных основ предотвращения аварий и катастроф, мониторинга технического состояния потенциально опасных объектов. Преподавателями НОЦ ИМАШ выпущен первый учебник для ВУЗов «Техногенный риск. Анализ и оценка». В журнале «Машиностроение и инженерное образование» опубликованы обзорные, научно-методические статьи на тему «Научные исследования и подготовка специалистов по обеспечению защищенности критически важных объектов», отражающие образовательный аспект проблемы безопасности..

3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-

педагогических кадров, достижение или превышение заданных индикаторов и показателей.

Согласно ТЗ и Календарному плану сотрудники НОЦ готовят на основе проводимых научных исследований учебно-методические материалы по анализу рисков и техногенной безопасности, которые будут способствовать повышению уровня подготовки специалистов по столь важному направлению как «технические средства мониторинга потенциально опасных объектов для предотвращения аварий и катастроф». Это особенно важно в связи с участившимися авариями и в связи с отсутствием соответствующих тем и программ в действующих образовательных стандартах. Работа сотрудников НОЦ по данному контракту призвана заполнить этот пробел в системе подготовки инженеров-прочнистов, конструкторов, проектантов. Запланированные индикаторы и показатели по этому разделу – достигнуты.

4. Выводы

Техническое задание и разделы Календарного плана по 1-му этапу выполнены полностью. Представленные отчетные материалы на основе анализа существующих достижений в области создания методик оценки рисков и снижения последствий техногенных аварий и катастроф позволяют сформулировать задачи дальнейших исследований и усовершенствовать методы преподавания студентам технических университетов дисциплин, связанных с анализом и снижением рисков техногенных аварий.

Руководитель работ
чл.-корр. РАН

_____ Н.А. Махутов

Зам. директора ИМАШ РАН
д.т.н., проф.

_____ А.Н. Романов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО 1 ЭТАПУ

В ходе выполнения 1-го этапа настоящего Госконтракта были получены следующие результаты:

1. Установлены критерии прочности, учитывающие направленный характер разрушения волокнистых композитов, позволяют более правильно интерпретировать экспериментальные данные и рассчитывать на прочность и проводить риск-анализ композитных элементов конструкций для повышения их безопасности.
2. Установлено, что нарастание спектра современных опасностей, угроз и вызовов, числа и тяжести ЧС во многих странах мира, в том числе и в государствах СНГ требует формирования согласованной национальной, региональной (межгосударственной) и международной научно-технической политики в области управления и снижения рисков для последующей реализации этой политики в период 2010 – 2015 гг. и на дальнейшую перспективу.
3. Показано, что использование национального и межгосударственного опыта представляется наиболее перспективным при решении правовых и нормативно-технических проблем обеспечения безопасности на национальном, межгосударственном и международном уровнях посредством использования многоуровневого правового и нормативного регулирования проблем обеспечения безопасности (через систему конвенций, международных соглашений, конституций, национального законодательства, норм, правил, стандартов), а научно-техническую поддержку этого реагирования – через национальные, межгосударственные и международные программы.
4. Выработаны подходы к структурной систематизации национальных законодательств государств СНГ в сфере обеспечения безопасности в ЧС.

Выработанная система классификационных оснований и признаков в основном позволила провести системный сравнительный анализ национальных и межгосударственных законодательств государств – участников СНГ в сфере обеспечения безопасности в ЧС по проблемам чрезвычайных ситуаций и сделать предложения, касающиеся выработки единых подходов к гармонизации и сближению национальных правовых систем, а также в области межгосударственной и национальной стандартизации.

5. Установлено, что в число основных методов определения рисков R в общем случае входят следующие: детерминированные, статистические, вероятностные, логико-вероятностные, методы нечетких множеств, экспертные или их комбинации. При реализации Федерального закона «О техническом регулировании» на современном этапе в качестве исходных могут быть использованы статистические и вероятностные методы (в т.ч. с использованием деревьев событий и деревьев отказов).

6. НОЦ ИМАШ РАН совместно с ведущими техническими университетами столицы: МГТУ им. Баумана, МГТУ «МАМИ», МАДИ, СТАНКИН и др. ведет подготовку инженеров-исследователей по специальности «Динамика и прочность». В рамках этой специальности в ИМАШ читается постоянно совершенствуются ряд специальных курсов, включающих в себя проблемы оценки рисков и обеспечения техногенной безопасности ответственных объектов и технических систем. К таким курсам относятся: «Основы физики прочности и механики разрушения» (проф. Полилов А.Н., проф. Матвиенко Ю.Г., проф. Каплунов С.М.), «Риск-анализ и проблемы техногенной безопасности» (проф. Алымов В.Т., д.т.н. Фомин А.В.), «Экспериментальная механика твердого тела. Поляризационно-оптические методы анализа НДС» (проф. Разумовский И.А., к.т.н. Одинцев И.Н.) и др.

Основным результатом работ по 1-му этапу выполнения госконтракта является анализ и обобщение многолетнего международного и

отечественного опыта, в том числе, опыта сотрудников НОЦ ИМАШ в области создания методик оценки рисков и обеспечения техногенной безопасности. Выявлены основные мировые тенденции создания методов и средств мониторинга потенциально опасных объектов. Проведены патентные исследования в области когерентно-оптических, голографических методов анализа полей деформаций в нагруженных элементах конструкций.

На основании полученных результатов и обобщений можно более точно сформулировать дальнейшие задачи исследований. Они касаются трех основных направлений:

- научно-методических исследований в области механики разрушения, расчетов надежности ответственных конструкций,

- методологии оценки рисков аварий и катастроф на потенциально опасных и особо опасных объектах,

- внедрения результатов исследований в учебный процесс подготовки специалистов – инженеров-исследователей, владеющих современными подходами к проблемам обеспечения техногенной безопасности. Стандартизованных учебных курсов по таким проблемам пока в масштабах страны не существует.

На последующих этапах выполнения Госконтракта планируется проводить расчеты и структурные исследования с целью решения комплексной проблемы определения напряженно-деформированных состояний в конструкции и состояния материала, как с точки зрения текущей дефектности, так и с точки зрения свойств трещиностойкости (вязкости разрушения) по текущему состоянию.

Одно из прорывных направлений в области повышения техногенной безопасности связано с применением новых конструкционных материалов: композитов и наноструктурных керамик и сплавов, обеспечивающих одновременный рост прочности и трещиностойкости, что дает возможность качественно повысить надежность и безопасность ответственных элементов

конструкций. Эти вопросы, рассмотренные в разделе 4 настоящего отчета, требуют дальнейших исследований.

Научной основой для оценки вероятности разрушений конструкции, наиболее опасные из которых вызваны спонтанным ростом хрупких трещин, должна служить современная нелинейная механика разрушения. Применительно к реальным конструкциям исследования должны охватывать проблему разрушения с трех сторон:

1. расчет или экспериментальный анализ реальных напряженно-деформированных состояний.
2. Дефектоскопия, неразрушающий контроль, анализ структуры материалов, например, в зоне сварных швов или в наиболее нагруженных местах крепления
3. Изучение свойств (пластичности, трещиностойкости) материалов в условиях эксплуатации, то есть «по текущему состоянию», а не «по состоянию поставки», как это делается сейчас в соответствии с действующими нормами.

Такой комплексный подход к проблеме анализа возможности разрушения конструкции позволяет повысить надежность экспертных оценок и обеспечить снижение рисков возникновения аварий на потенциально опасных объектах.

Разрабатываемая методология оценки рисков позволяет обосновать вероятность возникновения ущербов, что в свою очередь, является обоснованием для выделения необходимых средств на профилактику, диагностику, ремонт ответственных конструкций, а также на научные исследования в области техногенной безопасности. Эти средства определяются как установленная доля от математического ожидания потерь от возможных аварий. Исполнение данного контракта ставит своей целью не только создание комплексной методологии оценки рисков, но и внедрение этой методологии в учебный процесс подготовки российских инженеров XXI-го века.

**АННОТАЦИЯ РАБОТ,
ВЫПОЛНЕННЫХ НА ЭТАПЕ № 2**

«Разработка комплекса экспериментальных методов для оценки
характеристик трещиностойкости.»

государственного контракта с Федеральным агентством по науке
и инновациям от 15 июня 2009 г. № 02.740.11.0032

Шифр: «009-1.1-223-009-015»

Период 01 октября 2009 г. – 15 декабря 2009 г.

выполнения этапа

Исполнитель: Учреждение Российской академии наук Институт
машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ
РАН), г. Москва

Цель работы Комплексная теоретико-расчетно-
экспериментальная методология снижения рисков и
повышения безопасности работы сложных технических
систем (в сильно повреждённых состояниях) на основе
критериев прочности, трещиностойкости,
вибростойкости, долговечности и живучести с
приложением к образовательному процессу подготовки
специалистов высшей квалификации в области
техногенной безопасности.

1. Наименование разрабатываемой продукции

- Методология снижения рисков и повышения безопасности (безаварийности) критически важных потенциально опасных объектов в сильно повреждённых состояниях.
- Отчет о НИР, содержащий обоснование развиваемого

направления исследований, изложение методик проведения исследований, а также описание полученных результатов.

- установки и методы проведения испытаний по определению характеристик трещиностойкости

- методические рекомендации по проведению лабораторных работ по определению характеристик трещиностойкости

2. Характеристика выполненных на этапе работ по созданию продукции

2.1. Результаты работы на 2-м этапе, в том числе: методы и результаты исследований с указанием их характеристик, полученных, в том числе, по результатам испытаний, оценка соответствия этих характеристик требованиям задания.

Основными результатами работ второго этапа служат:

- созданные, модернизированные и отлаженные экспериментальные установки и стенды,

- разработанные расчетно-экспериментальные методы определения характеристик безопасности машин и конструкций,

- учебно-методические материалы, используемые в учебном процессе углубленной подготовки инженеров-исследователей XXI века.

Проведенные исследования и представленные результаты соответствуют требованиям Технического задания.

2.2. Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень.

В ходе выполнения 2-го этапа настоящего Госконтракта были получены следующие новые результаты:

1 Создан вибростенд для исследования длинномерных элементов конструкций.

- 2 Разработаны новые приспособления и оригинальные методики для испытаний сверхтвердых монокристаллов на основе диоксида циркония с целью определения прочности, модуля упругости и трещиностойкости.
- 3 Создан стенд для исследования частот и форм колебаний элементов конструкций с применением голографической интерферометрии.
- 4 Разработан экспериментальный метод оценки трещиностойкости на нестандартных образцах из трубных сталей.
- 5 Проведено компьютерное моделирование работы экспериментального стенда для испытаний тяжело нагруженных валов с возможными дефектами.
- 6 Развита методика оценки долговечности элементов конструкций за пределами расчетного ресурса на основе статистической обработки результатов испытаний сверхвысокой длительности (до 10^{11} циклов).
- 7 Обобщены и усовершенствованы методы трибологических испытаний, обеспечивающих безопасную работу трибосоединений.
- 8 Разработаны научные основы проведения лабораторных работ по определению коэффициентов интенсивности напряжений и других параметров трещиностойкости.

Полученные экспериментально-методические и расчетные результаты соответствуют мировому уровню и являются новыми для Российской Федерации. На основании разработанного комплекса методик можно более обоснованно подходить к оценкам безопасности ответственных конструкций и технических систем. Работы 2 этапа служат базой для разработки комплексной методики оценки рисков техногенных аварий и катастроф.

2.3. Особенности исследования, разработки, метода или методологии проведения работы на отчетном этапе.

В НОЦ ИМАШ создан и поддерживается в рабочем состоянии комплекс испытательных установок, позволяющих проводить исследования по трем основным направлениям:

1 Расчет или экспериментальный анализ реальных напряженно-деформированных состояний.

2 Дефектоскопия, неразрушающий контроль, анализ структуры материалов, например, в зоне сварных швов или в наиболее нагруженных местах крепления.

3 Изучение свойств (пластичности, трещиностойкости) материалов в условиях эксплуатации, то есть «по текущему состоянию», а не «по состоянию поставки», как это делается сейчас в соответствии с действующими нормами.

Такой комплексный подход к проблеме анализа возможности разрушения конструкции позволяет повысить надежность экспертных оценок и обеспечить снижение рисков возникновения аварий на потенциально опасных объектах.

3. Области и масштабы использования полученных результатов

3.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты).

Области применения полученных результатов представляют собой, с одной стороны, систему критически важных объектов с максимальной степенью потенциальной опасности, приводящей к катастрофам в техногенной, природной и социальной сферах, а, именно, объекты гражданского комплекса: ядерной, химической, металлургической и горнодобывающей промышленности, уникальные инженерные сооружения (плотины, эстакады, нефтегазохранилища), транспортные системы (аэрокосмические, надводные и подводные, наземные), перевозящие опасные грузы и большие массы людей, магистральные газо,-нефте,- и продуктопроводы; а также объекты оборонного комплекса - ракетно-космические системы и летательные аппараты с ядерными и обычными зарядами, атомные подводные лодки и надводные суда, крупные склады

обычных и химических вооружений.

С другой стороны, разрабатываемая методология оценки рисков техногенных аварий, научные основы обеспечения безопасности сложных технических систем, экспериментально-расчетные методы применяются при совершенствовании учебных программ для студентов технических университетов, обучающихся по специальности «Динамика и прочность».

3.2. Ход практического внедрения полученных результатов.

Полученные в ходе выполнения 2 этапа проекта используются в атомной энергетике, в транспортном и энергетическом машиностроении. Усовершенствован комплекс экспериментально-расчетного мониторинга безопасной работы системы трубопроводов атомных реакторов. Для проведения ресурсных испытаний приведена в рабочее состояние электрогидравлическая установка на циклическое нагружение при частотах до 100 Гц с усилием до 20 т.

Внесены специальные разделы по техногенной безопасности и риск-анализу в учебные курсы «Основы физики прочности и механики разрушения», «Риск-анализ и проблемы техногенной безопасности», «Экспериментальная механика твердого тела», «Поляризационно-оптические методы анализа напряженно-деформированных состояний». Во всех этих курсах - на практических занятиях, на лекциях, на семинарах - обсуждаются проблемы техногенной безопасности, научных основ предотвращения аварий и катастроф, мониторинга технического состояния потенциально опасных объектов. Созданы новые лабораторные работы и проект стандарта на методы определения межслойной трещиностойкости композитов. В ходе выполнения работ 2 этапа организованы и проведены 3 тематических молодежных семинара МЕСМУС, 1-я международная школа по компьютерным технологиям анализа инженерных задач механики - 2009 и XXI Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения МИКМУС-2009.

3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, достижение или превышение заданных индикаторов и показателей.

НОЦ АРТБ ИМАШ РАН совместно с ведущими техническими университетами столицы: МГТУ им. Баумана, МГТУ «МАМИ», МАДИ, РУДН, МФТИ, МГИУ, СТАНКИН и др. ведет подготовку инженеров-исследователей по специальности «Динамика и прочность». В рамках этой специальности в ИМАШ постоянно совершенствуются специальные курсы, включающие в себя проблемы оценки рисков и обеспечения техногенной безопасности ответственных объектов и технических систем. К таким курсам относятся: «Основы физики прочности и механики разрушения», «Риск-анализ и проблемы техногенной безопасности», «Экспериментальная механика твердого тела», «Поляризационно-оптические методы анализа НДС».

На основании полученных результатов можно более точно сформулировать дальнейшие задачи исследований. Они касаются трех основных направлений:

- научно-методических исследований в области механики разрушения, расчетов надежности ответственных конструкций,
- методологии оценки рисков аварий и катастроф на потенциально опасных и особо опасных объектах,
- внедрения результатов исследований в учебный процесс подготовки специалистов – инженеров-исследователей, владеющих современными подходами к проблемам обеспечения техногенной безопасности.

Согласно ТЗ и Календарному плану сотрудники НОЦ готовят на основе проводимых научных исследований учебно-методические материалы по анализу рисков и техногенной безопасности, которые будут способствовать повышению уровня подготовки специалистов по столь важному

направлению как «технические средства мониторинга потенциально опасных объектов для предотвращения аварий и катастроф». Это особенно важно в связи с участвовавшими авариями и в связи с отсутствием соответствующих тем и программ в действующих образовательных стандартах. Работа сотрудников НОЦ по данному контракту призвана заполнить этот пробел в системе подготовки инженеров-прочнистов, конструкторов, проектантов. **Запланированные индикаторы и показатели по этому направлению – достигнуты.**

4. Выводы

Техническое задание и разделы Календарного плана по 2-му этапу выполнены полностью. Представленные отчетные материалы по созданным экспериментальным установкам и методам испытаний. Результаты научно-методических исследований нашли применение в учебном процессе, в курсах специальных лекций и в лабораторном практикуме по определению характеристик трещиностойкости материалов и конструкций потенциально опасных объектов. Полученные результаты позволяют сформулировать задачи дальнейших исследований и усовершенствовать методы преподавания студентам технических университетов дисциплин, связанных с методами обеспечения техногенной безопасности.

Руководитель работ
чл.-корр. РАН

_____ Н.А. Махутов

Зам. директора ИМАШ РАН
д.т.н., проф.

_____ А.Н. Романов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО 2 ЭТАПУ

Запланированные работы по 2-му этапу выполнены полностью.

Основными результатами работ второго этапа служат:

- созданные, модернизированные и отлаженные экспериментальные установки и стенды
- разработанные расчетно-экспериментальные методы определения характеристик безопасности машин и конструкций,
- учебно-методические материалы, используемые в учебном процессе углубленной подготовки инженеров-исследователей XXI века.

В ходе выполнения 2-го этапа настоящего Госконтракта были получены следующие конкретные результаты:

- 1 Создан вибростенд для исследования длинномерных элементов конструкций.
- 2 Приведена в рабочее состояние электрогидравлическая установка на циклическое нагружение при частотах до 100 Гц с усилием до 20 т.
- 3 Разработаны новые приспособления и оригинальные методики для испытаний сверхтвердых монокристаллов на основе диоксида циркония с целью определения прочности, модуля упругости и трещиностойкости.
- 4 Создан стенд для исследования частот и форм колебаний элементов конструкций с применением голографической интерферометрии.
- 5 Разработан экспериментальный метод оценки трещиностойкости на нестандартных образцах из трубных сталей.
- 6 Усовершенствован комплекс экспериментально-расчетного мониторинга безопасной работы системы трубопроводов атомных реакторов.
- 7 Проведено компьютерное моделирование работы экспериментального стенда для испытаний тяжело нагруженных валов с возможными дефектами.
- 8 Развита методика оценки долговечности элементов конструкций за пределами расчетного ресурса на основе статистической обработки результатов испытаний сверхвысокой длительности (до 10^{11} циклов).

9 Обобщены и усовершенствованы методы трибологических испытаний, обеспечивающих безопасную работу трибосоединений.

10 Разработаны научные основы проведения лабораторных работ по определению коэффициентов интенсивности напряжений и других параметров трещиностойкости.

11 Созданы лабораторные работы и проект стандарта на методы определения межслойной трещиностойкости композитов.

12 Организованы и проведены 3 тематических семинара МЕСМУС, 1-я международная школа по компьютерным технологиям анализа инженерных задач механики - 2009 и XXI Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения МИКМУС-2009.

НОЦ АРТБ ИМАШ РАН совместно с ведущими техническими университетами столицы: МГТУ им. Баумана, МГТУ «МАМИ», МАДИ, РУДН, МФТИ, МГИУ, СТАНКИН и др. ведет подготовку инженеров-исследователей по специальности «Динамика и прочность». В рамках этой специальности в ИМАШ постоянно совершенствуются специальные курсы, включающие в себя проблемы оценки рисков и обеспечения техногенной безопасности ответственных объектов и технических систем. К таким курсам относятся: «Основы физики прочности и механики разрушения» (проф. Полилов А.Н.), «Риск-анализ и проблемы техногенной безопасности» (д.т.н. Фомин А.В.), «Экспериментальная механика твердого тела» (проф. Разумовский И.А.), «Поляризационно-оптические методы анализа НДС» (к.т.н. Одинцев И.Н.) и др.

На основании полученных результатов можно более точно сформулировать дальнейшие задачи исследований. Они касаются трех основных направлений:

- научно-методических исследований в области механики разрушения, расчетов надежности ответственных конструкций,

- методологии оценки рисков аварий и катастроф на потенциально опасных и особо опасных объектах,

- внедрения результатов исследований в учебный процесс подготовки специалистов – инженеров-исследователей, владеющих современными подходами к проблемам обеспечения техногенной безопасности.

На последующих этапах выполнения Госконтракта планируется проводить исследования по уточненному определению напряженно-деформированных состояний в конструкции и состояния материала, как с точки зрения текущей дефектности, так и с точки зрения текущей трещиностойкости.

Научной основой для оценки вероятности разрушений конструкции, наиболее опасные из которых вызваны спонтанным ростом хрупких трещин, должна служить современная нелинейная механика разрушения. Применительно к реальным конструкциям исследования должны охватывать проблему разрушения с трех сторон:

1 Расчет или экспериментальный анализ реальных напряженно-деформированных состояний.

2 Дефектоскопия, неразрушающий контроль, анализ структуры материалов, например, в зоне сварных швов или в наиболее нагруженных местах крепления.

3 Изучение свойств (пластичности, трещиностойкости) материалов в условиях эксплуатации, то есть «по текущему состоянию», а не «по состоянию поставки», как это делается сейчас в соответствии с действующими нормами.

Такой комплексный подход к проблеме анализа возможности разрушения конструкции позволяет повысить надежность экспертных оценок и обеспечить снижение рисков возникновения аварий на потенциально опасных объектах.

Исполнение данного контракта ставит своей целью не только создание комплексной методологии оценки рисков, но и внедрение этой методологии в учебный процесс подготовки российских инженеров XXI-го века.

1. Наименование разрабатываемой продукции

- Методология снижения рисков и повышения безопасности (безаварийности) критически важных потенциально опасных объектов в сильно повреждённых состояниях.
- Методические указания по применению электронной цифровой спекл-интерферометрии (ЭЦСИ).
- Алгоритм и программа ЭВМ для решения обратных задач.
- Отчет о НИР в области исследования напряженно-деформированных состояний конструкций с применением ЭЦСИ, а также в области решения некорректных обратных задач экспериментальной механики.
- Заявка на патент на специализированную ЭЦСИ установку для: регистрации полей перемещений, оценки параметров напряженно-деформированного состояния, дефектоскопии элементов конструкций.
- Методические рекомендации для проведения лабораторных работ по определению остаточных напряжений и напряженно-деформированного состояния методами ЭСИ

2. Характеристика выполненных на 3 этапе работ по созданию продукции

2.1. Результаты работы на __3__ этапе, в том числе: методы и результаты исследований с указанием их характеристик, полученных, в том числе, по результатам испытаний, оценка соответствия этих характеристик требованиям задания.

В рамках третьего этапа работ усовершенствован метод исследования полей перемещений на основе электронной цифровой спекл-интерферометрии (ЭЦСИ) и разработаны соответствующие методические указания. Сформулирована методология определения напряженно-деформированных состояний в ответственных элементах конструкций (в частности, в элементах атомных реакторов) на основе математической обработки зарегистрированных на поверхности конструкций экспериментальных данных (полей перемещений или деформаций), с

применением методов решения некорректных обратных задач механики твердого тела. Разработаны алгоритмы и универсальная программа для решения обратных задач по данным ограниченного числа экспериментов. Проведены патентные исследования в области разработки аппаратуры на основе ЭЦСИ для анализа напряженно-деформированных состояний (НДС) конструкций. Разработана и создана специальная компактная установка для анализа НДС и дефектности в лабораторных и натуральных условиях, на конструкцию которой подана патентная заявка на полезную модель. Созданы научные основы и методические указания для проведения лабораторных работ по определению напряженно-деформированного состояния, а также остаточных напряжений методами ЭЦСИ. Проведенные исследования и представленные результаты соответствуют требованиям Технического задания.

2.2. Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень.

Экспериментальные и аналитико-расчетные исследования, проведенные в рамках третьего этапа, находятся на мировом уровне и содержат элементы научной новизны. Разработанные алгоритмы и специализированные программы для ЭВМ по методам решения обратных задач превосходят аналогичные отечественные разработки. По этим результатам опубликованы статьи в ведущих (реферируемых) научных журналах, сделаны доклады на всероссийских и международных конференциях и школах. Применение результатов научных исследований в учебном процессе подготовки инженеров, специализирующихся на проблемах техногенной безопасности, является новым и принципиальным моментом для российской и зарубежной образовательной практики.

2.3. Особенности исследования, разработки, метода или методологии проведения работы на отчетном этапе.

Исследования 3-го этапа были связаны с:

- совершенствованием новых, высокоинформативных экспериментальных методов определения полей перемещений и деформаций,
- применением и совершенствованием когерентно-оптических методов (голографической интерферометрии, ЭЦСИ),
- разработкой аппаратуры, обеспечивающей практическую реализацию указанных методов при исследовании элементов конструкций в натуральных условиях,
- созданием методических подходов к решению обратных задач механики деформируемого твердого тела, а также соответствующих специализированных программных продуктов для их использования при решении практических задач.

В частности, решение некорректных обратных задач позволяет с наибольшей достоверностью восстановить поле напряжений на внутренней, недоступной поверхности трубопровода атомного реактора (или другой конструкции) на основе имеющейся неполной экспериментальной информации по температурному и деформационному полю на внешней поверхности.

Особенностью проведенных исследований является сочетание высокоточных методов регистрации больших объемов экспериментальной информации с глубокой математической проработкой компьютерных расчетных методов, позволяющих повысить точность результатов.

3. Области и масштабы использования полученных результатов

3.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты).

Область применения полученных результатов представляет собой систему критически важных объектов с максимальной степенью потенциальной опасности, приводящей к катастрофам в техногенной, природной и социальной сферах, а, именно, объекты гражданского комплекса: ядерной, химической, металлургической и горнодобывающей

промышленности, уникальные инженерные сооружения (плотины, эстакады, нефтегазохранилища), транспортные системы (аэрокосмические, надводные и подводные, наземные), перевозящие опасные грузы и большие массы людей, магистральные газо-, нефте- и продуктопроводы; а также объекты оборонного комплекса: ракетно-космические системы и летательные аппараты с ядерными и обычными зарядами, атомные подводные лодки и надводные суда, крупные склады обычных и химических вооружений. Полученные в результате выполнения проекта результаты будут использованы при переходе управления техногенной безопасностью на рисковую основу, что соответствует федеральному законодательству, федеральной и отраслевой нормативной документации, федеральным, региональным и отраслевым программам.

Разработанные методы экспериментального и расчетного анализа НДС в ответственных элементах конструкции используются для мониторинга состояний атомных реакторов и трубопроводов, а также для уточнения технических норм безопасной эксплуатации критических объектов.

Методология оценки рисков техногенных аварий, научные основы обеспечения безопасности сложных технических систем применяются при модернизации и совершенствовании учебных программ для студентов технических университетов, обучающихся по специальности «Динамика и прочность». Экспериментальные методы анализа НДС и поврежденности элементов конструкций использованы при совершенствовании лабораторного практикума.

3.2. Ход практического внедрения полученных результатов, в том числе, в образовательный процесс.

Экспериментальные установки и новые методы исследований, алгоритмы решения обратных задач используются при выполнении работ по определению остаточных напряжений и текущих напряженных состояний в ответственных элементах конструкций.

Разработан специальный курс (2 семестра) для студентов МГТУ им. Баумана по методам решения обратных задач экспериментальной механики с целью уточненной обработки экспериментальных данных по реальной нагруженности критических объектов (атомных реакторов). В программы учебных курсов «Основы физики прочности и механики разрушения», «Риск-анализ и проблемы техногенной безопасности», «Экспериментальная механика деформируемого твёрдого тела» включены разделы по техногенной безопасности и риск-анализу, по методам оценки реальной нагруженности конструкций (включая конструкции с трещинами), по деградации свойств материалов в процессе эксплуатации.

Во всех этих курсах - на практических и лабораторных занятиях, на лекциях, на семинарах – обсуждаются: проблемы техногенной безопасности, научные основы предотвращения аварий и катастроф, задачи и методы мониторинга технического состояния потенциально опасных объектов. В журнале «Машиностроение и инженерное образование» опубликована научно-методическая статья на тему «Научные исследования и подготовка специалистов по обеспечению защищенности критически важных объектов», отражающая образовательный аспект проблемы безопасности. В процессе выполнения работ по 3 этапу созданы методические рекомендации и практически поставлены 2 новые лабораторные работы по определению НДС и остаточных напряжений в элементах реальных конструкций.

3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, достижение или превышение заданных индикаторов и показателей.

Согласно ТЗ и Календарному плану сотрудники и преподаватели НОЦ готовят на основе проводимых научных исследований учебно-методические материалы по экспериментально-расчётной оценке нагруженности конструкций на различных стадиях их эксплуатации, по расчету их прочности и ресурса с учётом накопленных повреждений. Методы

исследования свойств и напряженных состояний металлических и композитных конструкций, включенные в учебные программы, будут способствовать повышению уровня подготовки специалистов по важному направлению анализа рисков и обеспечения техногенной безопасности потенциально опасных объектов для предотвращения аварий и катастроф. Это направление особенно важно в связи с участвовавшими трагическими авариями и в связи с отсутствием соответствующих тем в действующих образовательных стандартах. Работа сотрудников НОЦ ИМАШ РАН призвана восполнить этот пробел в системе подготовки инженеров-прочнистов.

Запланированные индикаторы и показатели по 3 этапу – достигнуты.

4. Выводы

Техническое задание и разделы Календарного плана по 3 этапу выполнены полностью. Представленные отчетные материалы по экспериментальным и расчетным методам анализа напряженно-деформированных и поврежденных состояний конструкций позволяют снизить опасность техногенных аварий и катастроф, сформулировать задачи дальнейших исследований и усовершенствовать методы преподавания студентам технических университетов дисциплин, связанных с анализом рисков техногенных аварий и обеспечением допустимого уровня техногенной безопасности критически важных объектов.

Руководитель работ
чл.-корр. РАН

_____ Н.А. Махутов

Зам. директора ИМАШ РАН
д.т.н., проф.

_____ А.Н. Романов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО 3 ЭТАПУ

Исследования, запланированные на 3-м этапе Календарного плана, выполнены полностью.

Основные результаты связаны:

- с разработкой аппаратуры для высокоинформативного анализа полей перемещений, деформаций, повреждений и напряжений в элементах конструкций,

- с созданием метода решения некорректных обратных задач экспериментальной механики по восстановлению напряженных состояний в ответственных изделиях на основании неполной и неточной экспериментальной информации,

- с разработкой компьютерных программ для обработки экспериментальной информации и для численного решения обратных задач,

- с проведением организационно-методической работы с молодыми учеными и студентами по проведению регулярных заседаний семинара МЕСМУС по проблемам техногенной безопасности,

- по модернизации лабораторного практикума путем создания научных основ и аппаратурной реализации для проведения новых лабораторных работ по изучению свойств анизотропных композитов и по оценке остаточных напряжений.

В отчете изложены основы методологии решения обратных задач, алгоритм и структура программы, осуществляющей непрерывный обмен данными между программными комплексами ANSYS (решение краевой задачи механики деформированного твёрдого тела) и MATLAB (минимизации целевой функции), что открывает возможности для решения обратных задач механики деформируемого твёрдого тела, связанных с математической обработкой экспериментальных данных. Рассмотрены особенности практического применения этих программ для оценки

нагруженности тонкостенных и пространственных конструкций с трещинами.

По материалам настоящего отчёта подготовлена серия лекций в рамках курсов «Экспериментальная механика деформируемого твёрдого тела» и «Прогнозирование остаточного ресурса конструкций» для студентов МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ» и МГСУ, обучающихся по специальности Динамика и прочность машин (071102) в Научно-образовательном центре ИМАШ РАН.

В 2010-2011 гг. будет выполнена дальнейшая отработка методических и аппаратурных вопросов получения необходимой экспериментальной информации для тяжело нагруженных элементов энергетического оборудования.

В дальнейшем на основе полученных научных и методических результатов планируется разработка лабораторного практикума по тематике «Определение параметров напряжённо-деформированного состояния элементов конструкций путем обработки экспериментальных данных как обратной задачи экспериментальной механики».

Материалы исследований, проведенных на 3-м этапе, будут использованы при продолжении работ по государственному контракту при построении моделей катастрофических разрушений и обосновании критериев допустимых и критических состояний на основе нелинейной механики роста трещиноподобных дефектов.

1. Наименование разрабатываемой продукции

- Методология снижения рисков и повышения безопасности (безаварийности) критически важных потенциально опасных объектов в сильно повреждённых состояниях.
- Методические указания по решению обратных задач экспериментальной механики.
- Пакет программ для ЭВМ для решения нелинейных задач механики разрушения.
- Расчетная схема турбонасосного агрегата газотурбинных двигателей, позволяющая повысить надежность их работы в аварийных ситуациях.
- Отчет о НИР в области исследования разрушений при контактных взаимодействиях тяжело нагруженных агрегатов, а также в области решения обратных задач экспериментальной механики.

2. Характеристика выполненных на 4 этапе работ по созданию продукции

2.1. Результаты работы на __4__ этапе, в том числе: методы и результаты исследований с указанием их характеристик, полученных, в том числе, по результатам испытаний, оценка соответствия этих характеристик требованиям задания.

В рамках четвертого этапа работ усовершенствован метод анализа процесса разрушения при контактных взаимодействиях в тяжело нагруженных подшипниках и разработаны соответствующие методические указания. Предложен метод сепарабельных (разделяющих) функций для решения задач нелинейной механики разрушения. Разработана методология определения температурных состояний в элементах атомных реакторов на основе математических методов решения обратных задач экспериментальной механики твердого тела. Разработана методика моделирования динамики турбонасосного агрегата газотурбинных двигателей в различных условиях его эксплуатации и в аварийных ситуациях. Получены принципиально новые

результаты моделирования оптимальной системы криволинейной укладки волокон около отверстия в композитной пластине. Проведена XXII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов МИКМУС-2010 «Будущее машиностроения России».

Проведенные исследования и представленные результаты соответствуют требованиям Технического задания.

2.2. Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень.

Экспериментальные и аналитико-расчетные исследования, проведенные в рамках четвертого этапа, находятся на мировом уровне и содержат элементы научной новизны. В задачах о контактном разрушении получены новые результаты по бифуркации (раздвоению) роста трещины. Разработанные алгоритмы решения обратных задач превосходят аналогичные отечественные разработки. В задаче об оптимальных траекториях армирования волокнами около отверстия получен принципиальный результат: численно показана возможность вдвое повысить несущую способность соединения за счет специальных траекторий укладки волокон. По всем этим проблемам опубликованы статьи в ведущих научных журналах, сделаны доклады на всероссийских и международных конференциях. Применение результатов научных исследований в учебном процессе подготовки инженеров, специализирующихся на проблемах техногенной безопасности, является новым и принципиальным моментом для российской и зарубежной образовательной практики.

2.3. Особенности исследования, разработки, метода или методологии проведения работы на отчетном этапе.

Исследования 4-го этапа были связаны с:

- созданием методических подходов к решению обратных задач механики деформируемого твердого тела, а также соответствующих специализированных программных продуктов для их использования при

решении практических задач. В частности, решение некорректных обратных задач позволяет с наибольшей достоверностью восстановить поле напряжений и температур на внутренней поверхности трубопровода атомного реактора на основе имеющейся неполной экспериментальной информации по температурному и деформационному полю на внешней поверхности;

- разработкой методики и апробацией МКЭ-программы для определения характеристик изнашивания контактирующих материалов, включая оценку характера влияния этих условий на процесс деформирования, заклинивания и разрушения взаимодействующих тел;

- разработкой аналитических критериев нелинейной механики разрушения при комбинированном нагружении;

- разработкой методов решения обратных задач теплопроводности с целью диагностики тепловых и термонапряженных состояний;

- разработкой методов и апробацией в лабораторных условиях аппаратуры для мониторинга термонапряженных состояний в аварийных и предаварийных условиях эксплуатации;

- разработкой методики моделирования динамики турбонасосного агрегата газотурбинных двигателей в различных условиях его эксплуатации и аварийных ситуациях;

- созданием алгоритмов практического применения пакета программ для решения нелинейных задач механики разрушения различных типов и с разработкой рекомендаций по их использованию в учебном процессе;

- созданием методических указаний по решению обратных задач теплопроводности;

- получением принципиальных результатов по моделированию оптимальной системы криволинейной укладки волокон около отверстия в композитном элементе;

- организацией и проведением XXII Международной инновационно- ориентированной конференции молодых учёных и студентов по проблемам машиноведения «Будущее машиностроения России» - МИКМУС-2010 с публикацией материалов конференции.

Разработанные методики, программы, модернизированное научно-исследовательское оборудование и аппаратура активно используются в учебном процессе для студентов ведущих инженерных Вузов г. Москва (МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ МАМИ, МГСУ МИСИ, СТАНКИН и др.), а также для аспирантов и специалистов.

Особенностью проведенных исследований является сочетание высокоточных методов регистрации экспериментальной информации с глубокой математической проработкой компьютерных расчетных методов, позволяющих повысить точность оценки реальных температурных и деформационных полей в натурных объектах.

3. Области и масштабы использования полученных результатов

3.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты).

Область применения полученных результатов представляет собой систему критически важных объектов с максимальной степенью потенциальной опасности, приводящей к катастрофам в техногенной, природной и социальной сферах, а, именно, объекты гражданского комплекса: ядерной, химической, металлургической и горнодобывающей промышленности, уникальные инженерные сооружения (плотины, эстакады, нефтегазохранилища), транспортные системы (аэрокосмические, надводные и подводные, наземные), перевозящие опасные грузы и большие массы людей, магистральные газо-, нефте- и продуктопроводы; а также объекты оборонного комплекса: ракетно-космические системы и летательные аппараты с ядерными и обычными зарядами, атомные подводные лодки и

надводные суда, крупные склады обычных и химических вооружений. Полученные в результате выполнения проекта результаты будут использованы при переходе управления техногенной безопасностью на рисковую основу, что соответствует федеральному законодательству, федеральной и отраслевой нормативной документации, федеральным, региональным и отраслевым программам.

Разработанные методы экспериментального и расчетного анализа НДС в ответственных элементах конструкции используются для мониторинга состояний атомных реакторов и трубопроводов, а также для уточнения технических норм безопасной эксплуатации критических объектов.

Методология оценки рисков техногенных аварий, научные основы обеспечения безопасности сложных технических систем применяются при модернизации и совершенствовании учебных программ для студентов технических университетов, обучающихся по специальности «Динамика и прочность».

3.2. Ход практического внедрения полученных результатов, в том числе, в образовательный процесс.

Алгоритмы решения прямых и обратных задач используются при выполнении работ по определению текущих напряженных состояний в ответственных элементах конструкций. В процессе выполнения работ по 4 этапу созданы методические рекомендации по решению обратных задач и по расчету напряженно-деформированных состояний в зонах контакта тел с трещинами.

Модернизирован специальный курс для студентов МГТУ им. Баумана по методам решения обратных задач экспериментальной механики с целью уточненной обработки экспериментальных данных по реальной нагруженности атомных реакторов. В программы учебных курсов «Основы физики прочности и механики разрушения», «Риск-анализ и проблемы техногенной безопасности», «Экспериментальная механика деформируемого твёрдого тела» включены разделы по техногенной безопасности и риск-

анализу, по методам оценки реальной нагруженности конструкций с трещинами. Во всех этих курсах - на практических и лабораторных занятиях, на лекциях, на семинарах – обсуждаются: проблемы техногенной безопасности, научные основы предотвращения аварий и катастроф, задачи и методы мониторинга технического состояния потенциально опасных объектов. НОЦ АРТБ ИМАШ организует ежемесячные заседания семинара МЕСМУС (Московский ежемесячный семинар молодых ученых и студентов), на котором обсуждаются научные основы обеспечения техногенной безопасности.

3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, достижение или превышение заданных индикаторов и показателей.

НОЦ АРТБ последовательно проводит работу с молодежью по трем организационным направлениям: 1) повышение качества инженерного образования на основе научных результатов и путем привлечения студентов к экспериментальным исследованиям, 2) привлечение талантливой молодежи в науку о машинах (этой цели служат ежемесячные семинары МЕСМУС и ежегодные конференции МИКМУС), 3) закрепление в Институте машиноведения молодых специалистов и ученых (специальная молодежная лаборатория, совет молодых ученых – это особая молодежная среда, которая дополняет чисто финансовую поддержку из грантов, госконтрактов и Программы поддержки молодых ученых РАН). Согласно ТЗ и Календарному плану сотрудники и преподаватели НОЦ готовят на основе проводимых научных исследований учебно-методические материалы по экспериментально-расчётной оценке нагруженности конструкций на различных стадиях их эксплуатации, по расчету их прочности и ресурса с учётом накопленных повреждений. Методы исследования свойств и напряженных состояний металлических и композитных конструкций, включенные в учебные программы, будут способствовать повышению

уровня подготовки специалистов по важному направлению обеспечения техногенной безопасности потенциально опасных объектов. Это направление особенно важно в связи с участвовавшими авариями и в связи с отсутствием соответствующих дисциплин в действующих образовательных стандартах. Работа сотрудников НОЦ ИМАШ РАН призвана восполнить этот пробел в системе подготовки инженеров-прочнистов 21 века, ориентирующихся в методах противодействия возрастающим угрозам техногенных аварий и катастроф.

Запланированные индикаторы и показатели по 4 этапу – достигнуты.

4. Выводы

Техническое задание и разделы Календарного плана по 4 этапу выполнены полностью. Представленные отчетные материалы по экспериментальным и расчетным методам решения обратных задач деформируемого твердого тела применительно к анализу работоспособности сильно поврежденных конструкций позволяют снизить опасность техногенных аварий, осуществлять мониторинг потенциально опасных объектов. Разработанные методы и подходы позволили повысить уровень преподавания студентам технических университетов дисциплин, связанных с анализом рисков и обеспечением допустимого уровня техногенной безопасности на потенциально опасных объектах. Были усовершенствованы лекционные курсы и лабораторные работы. Ряд студентов-дипломников привлечены в 2010 г. к научным исследованиям по определению уровня остаточных напряжений в реальных трубопроводах атомных реакторов.

Руководитель работ
чл.-корр. РАН

_____ Н.А. Махутов

Зам. директора ИМАШ РАН
д.т.н., проф.

_____ А.Н. Романов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО 4 ЭТАПУ

Основные результаты исследований, выполненных в соответствии с Техническим заданием по этапу 4 «Построение комплексных моделей катастрофических разрушений и критериев допустимых, критических, переходных и запредельных состояний конструкций и машин при наличии трещиноподобных дефектов» Государственного контракта от 20 июня 2009 г. № 02.740.11.0032 в рамках ФЦНТП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», кратко можно сформулировать следующим образом.

1. Разработана методика и проведена апробация на задачах, имеющих важное практическое применение, пакета МКЭ-программ для определения характеристик изнашивания контактирующих материалов, включая оценку характер влияния этих условий на процесс деформирования, заклинивания и разрушения взаимодействующих тел. Разработаны рекомендации по практическому применению пакета программ для решения нелинейных задач механики разрушения. Предложены аналитические критерии нелинейной механики разрушения при комбинированном нагружении.

3. Разработаны методические указания по решению обратных задач нестационарной теплопроводности с целью диагностики тепловых и термонапряженных состояний элементов энергетического оборудования.

4. Разработаны методики и апробированы в лабораторных условиях оборудование и аппаратура для мониторинга термонапряженных состояний в аварийных и предаварийных условиях эксплуатации.

5. Разработана методика моделирования динамики турбонасосного агрегата газотурбинных двигателей в различных условиях его эксплуатации и в аварийных ситуациях.

6. Проанализированы механизмы торможения трещины поверхностью раздела и указаны оптимальные упруго-прочностные свойства композита

для обеспечения нехрупкости композитных материалов (в том числе, при низких температурах).

7. Получены принципиальные результаты по моделированию оптимальной системы криволинейной укладки волокон около отверстия. Принципиальный результат связан с тем, что при прямолинейной укладке волокон напряжение в наиболее нагруженной зоне у дна отверстия, отнесенное к прочности волокон, оказывается примерно втрое выше (300%), чем на удалении от отверстия. То есть коэффициент концентрации напряжений с учетом локальной объемной доли волокон равен 3 в изотропном случае и примерно 4-5 для анизотропной пластины с упругими свойствами однонаправленного углепластика. В случае оптимально уложенных криволинейных волокон напряжение в расчете на волокно (с учетом переменной объемной доли волокон) в наиболее нагруженной зоне всего на 20% выше, чем в зоне равномерных напряжений. Таким образом, предварительный анализ показывает, что за счет специальной укладки волокон можно повысить несущую способность соединения более чем в 2 раза.

8. Организована и проведена XXII Международная инновационно-ориентированная интернет-конференция молодых учёных и студентов по проблемам машиноведения «Будущее машиностроения России» - МИКМУС-2010. Выпущен сборник материалов конференции.

Разработанные методики, программы, модернизированное научно-исследовательское оборудование и аппаратура активно используются в учебных процессах для студентов ведущих инженерных вузов г. Москва (МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ МАМИ, МГСУ МИСИ и др.), а также для аспирантов и специалистов.

По материалам настоящего отчёта подготовлена серия лекций в рамках курсов «Численные методы МДТТ», «Механика разрушения и физика прочности», «Механика композитов», «Методы вибрационных испытаний» для студентов МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ» и МГСУ,

обучающихся по специальности Динамика и прочность машин (071102) в Научно-образовательном центре по анализу рисков и техногенной безопасности (НОЦ АРТБ ИМАШ РАН).

В 2011 г. будет выполнена дальнейшая отработка методических и аппаратурных вопросов получения необходимой экспериментальной информации для тяжело нагруженных элементов энергетического оборудования.

Материалы исследований проведенных в рамках работ по 4-му этапу, будут использованы при продолжении работ по Государственному контракту (этапы 5 и 6) при разработке методов анализа рисков и оценки защищённости критически опасных объектов и прилегающих к ним территорий, а также при создании методологических основ анализа рисков и снижения последствий техногенных катастроф.

**АННОТАЦИЯ РАБОТ,
ВЫПОЛНЕННЫХ НА ЭТАПЕ № 5**

**«Методы анализа рисков и оценки защищенности критически
опасных объектов и прилегающих к ним территорий»**

государственного контракта с Федеральным агентством по науке
и инновациям от 15 июня 2009 г. № 02.740.11.0032 по теме:

**«Исследования НОЦ ИМАШ РАН в области снижения риска и уменьшения
последствий природных и техногенных катастроф»**

Шифр: «009-1.1-223-009-015»

Период 01.01.2011 – 30.06.2011

выполнения этапа

Исполнитель: Учреждение Российской академии наук Институт
машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ
РАН), г. Москва

Цель работы Комплексная теоретико-расчетно-
экспериментальная методология снижения рисков и
повышения безопасности работы сложных технических
систем (в сильно повреждённых состояниях) на основе
критериев прочности, трещиностойкости,
вибростойкости, долговечности и живучести с
приложением к образовательному процессу подготовки
специалистов высшей квалификации в области
техногенной безопасности.

1. Наименование разрабатываемой продукции

- Методология снижения рисков и повышения безопасности критически важных потенциально опасных объектов,
- Научно-методические рекомендации для Российского «Национального центра управления в кризисных ситуациях»,
Нормативные документы по методикам определения параметров риска и безопасности и по аудиту рисков,
- Учебное пособие «Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности» (авторы Н.А.Махутов, М.М.Гаденин). Издание Ассоциации «Спектр-групп», Москва, 2011. 187 с.,
- Сборник избранных трудов XXII Международной инновационно-ориентированной конференции молодых учёных и студентов МИКМУС-2010 «Будущее машиностроения России».
- Отчет о НИР в области анализа рисков развития аварийных ситуаций на критически опасных объектах.

2. Характеристика выполненных на 5 этапе работ по созданию продукции

2.1. Результаты работы на 5 этапе, в том числе: методы и результаты исследований с указанием их характеристик, полученных, в том числе, по результатам испытаний, оценка соответствия этих характеристик требованиям задания.

Основные результаты проведённых по 5-му этапу работ:

- **разработаны** принципы и методы космического мониторинга состояния критически важных опасных производственных объектов;
- **развита** методология комплексной оценки состояния потенциально опасных объектов и окружающей среды на основе данных наземного, морского, воздушного и космического мониторинга, включая вопросы состава, объёма и качества регистрируемой информации,
- **предложены** оптимальные способы математической обработки информации, получаемой в процессе мониторинга потенциально опасных

объектов на основе математико-статистических методов анализа временных рядов для диагностики сложных технических систем;

- **подготовлены** предложения по концепции и стратегии обеспечения заданного уровня безопасности по критериям рисков;

- **разработана** методика оценки рисков на основе анализа сценариев развития аварий с использованием дерева событий,

- **создана** научно-методическая база для разработки нормативных материалов по анализу и оценке рисков,

- **развита** методика оперативной диагностики и мониторинга аварийных ситуаций и поврежденных состояний технических систем в случае возникновения аварий и катастроф, имеющих глобальный, национальный или региональный характер,

- **разработаны** критерии прочности волокнистых композитов, учитывающие направленный характер разрушения, а также нелокальные энергетические критерии расслоения и расщепления;

- **разработаны** Нормативные документы и Научно-методические рекомендации по определению параметров риска и безопасности для независимой оценки и аудита рисков;

- **организованы и проведены** в 1-м полугодии 2011 г. 6 заседаний Московского ежемесячного семинара молодых ученых и студентов (МЕСМУС) по проблемам техногенной безопасности.

- **подготовлен и издан** сборник избранных трудов XXII Международной инновационно-ориентированной конференции молодых учёных и студентов МИКМУС-2010 «Будущее машиностроения России».

Проведенные исследования и представленные результаты соответствуют требованиям Технического задания.

2.2. Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень.

- **разработаны** рекомендации по изменению традиционных подходов к

оценке опасности условий эксплуатации потенциально опасных объектов на новые, основанные на использовании нормируемых параметров рисков и безопасности по критериям надежности, прочности, ресурса, живучести,

- **сформулированы** основные положения построения алгоритма анализа рисков, неблагоприятных событий и базовых параметров потенциально опасных объектов,

- **разработаны** новые методы расчета на жесткость и прочность профилированных композитных элементов, позволяющие учитывать направленный характер разрушения и масштабный эффект, что обеспечивает повышение надежности и безопасности композитных элементов конструкций, работающих в экстремальных условиях,

Экспериментальные, методические и расчетные исследования, проведенные в рамках пятого этапа, содержат элементы научной новизны. По всем указанным выше проблемам опубликованы статьи в ведущих научных журналах, сделаны доклады на всероссийских и международных конференциях. Применение результатов научных исследований в учебном процессе подготовки инженеров, специализирующихся на проблемах техногенной безопасности, является новым моментом для российской и зарубежной образовательной практики.

Проведенные исследования находятся на мировом уровне, что подтверждается результатами проведенных международных семинаров и конференций по проблемам безопасности.

2.3. Особенности исследования, разработки, метода или методологии проведения работы на отчетном этапе.

Исследования 5-го этапа были связаны с разработкой

- методов анализа рисков и оценки защищенности критически важных, потенциально опасных объектов и прилегающих к ним территорий на основе мониторинга состояния производственных объектов;

- сценариев развития аварий с использованием дерева событий;

- концепции и стратегии обеспечения безопасности по критериям рисков;

- нормативных документов и научно-методических рекомендаций по определению параметров риска и безопасности в кризисных ситуациях.

Разработанные методики, программы, модернизированное научно-исследовательское оборудование и аппаратура активно используются в учебном процессе для студентов ведущих технических университетов Москвы (МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ», МГСУ - МИСИ, СТАНКИН и др.), а также для подготовки аспирантов и молодых научных работников.

3. Области и масштабы использования полученных результатов

3.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты).

Область применения полученных результатов представляет собой систему критически важных объектов с максимальной степенью потенциальной опасности, приводящей к катастрофам в техногенной, природной и социальной сферах, а, именно, объекты гражданского комплекса: ядерной, химической, металлургической и горнодобывающей промышленности, уникальные инженерные сооружения (плотины, эстакады, нефтегазохранилища), транспортные системы (аэрокосмические, надводные и подводные, наземные), перевозящие опасные грузы и большие массы людей, магистральные газо-, нефте- и продуктопроводы; а также объекты оборонного комплекса: ракетно-космические системы и летательные аппараты с ядерными и обычными зарядами, атомные подводные лодки и надводные суда, крупные склады обычных и химических вооружений. Полученные в результате выполнения проекта результаты будут использованы при переходе управления техногенной безопасностью на рисковую основу, что соответствует федеральному законодательству, федеральной и отраслевой нормативной документации, федеральным,

региональным и отраслевым программам.

Разработанные методы экспериментального и расчетного анализа НДС в ответственных элементах конструкции используются для мониторинга состояний атомных реакторов и трубопроводов, а также для уточнения технических норм безопасной эксплуатации критических объектов.

Методология оценки рисков техногенных аварий, научные основы обеспечения безопасности сложных технических систем применяются при модернизации и совершенствовании учебных программ для студентов технических университетов, обучающихся по специальности «Динамика и прочность».

3.2. Ход практического внедрения полученных результатов, в том числе, в образовательный процесс.

. В процессе выполнения работ по 5 этапу: созданы методические рекомендации по анализу рисков на потенциально опасных объектах. Издано учебное пособие «Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности» (авторы Н.А.Махутов, М.М.Гаденин). Издание Ассоциации «Спектр-групп», Москва, 2011. 187 с.,

Модернизирован специальный курс для студентов МГТУ им. Баумана по методам

В программы учебных курсов «Основы физики прочности и механики разрушения», «Экспериментальная механика деформируемого твёрдого тела» включены разделы по техногенной безопасности и риск-анализу, по методам оценки реальной нагруженности конструкций с трещинами. Во всех этих курсах - на практических и лабораторных занятиях, на лекциях, на семинарах – обсуждаются: проблемы техногенной безопасности, научные основы предотвращения аварий и катастроф, задачи и методы мониторинга технического состояния потенциально опасных объектов. НОЦ АРТБ ИМАШ в ходе выполнения работ по 5 этапу проводил ежемесячные заседания семинара МЕСМУС (Московский ежемесячный семинар молодых

ученых и студентов), на котором обсуждались научные проблемы обеспечения техногенной безопасности. Всего в 1 полугодии 2011 г. проведено 6 заседаний семинара.

3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, достижение или превышение заданных индикаторов и показателей.

НОЦ АРТБ последовательно проводит работу с молодежью по трем организационным направлениям: 1) повышение качества инженерного образования на основе научных результатов и путем привлечения студентов к экспериментальным исследованиям, 2) привлечение талантливой молодежи в науку о машинах (этой цели служат ежемесячные семинары МЕСМУС и ежегодные конференции МИКМУС), 3) закрепление в Институте машиноведения молодых специалистов и ученых (специальная молодежная лаборатория, совет молодых ученых – это особая молодежная среда, которая дополняет чисто финансовую поддержку из грантов, госконтрактов и Программы поддержки молодых ученых РАН). Согласно ТЗ и Календарному плану сотрудники и преподаватели НОЦ готовят на основе проводимых научных исследований учебно-методические материалы по экспериментально-расчётной оценке нагруженности конструкций на различных стадиях их эксплуатации, по расчету их прочности и ресурса с учётом накопленных повреждений. Методы исследования свойств и напряженных состояний металлических и композитных конструкций, включенные в учебные программы, будут способствовать повышению уровня подготовки специалистов по важному направлению обеспечения техногенной безопасности потенциально опасных объектов. Это направление особенно важно в связи с участвовавшими авариями и в связи с отсутствием соответствующих дисциплин в действующих образовательных стандартах. Работа сотрудников НОЦ ИМАШ РАН призвана восполнить этот пробел в системе подготовки инженеров-прочнистов 21 века, ориентирующихся в

методах противодействия возрастающим угрозам техногенных аварий и катастроф.

Запланированные индикаторы и показатели по 5 этапу – достигнуты.

4. Выводы

Техническое задание и разделы Календарного плана по 5 этапу выполнены полностью. Представленные отчетные материалы по методическим и расчетным разработкам позволяют снизить опасность техногенных аварий, осуществлять мониторинг потенциально опасных объектов. Разработанные методы и подходы позволили повысить уровень преподавания студентам технических университетов дисциплин, связанных с анализом рисков и обеспечением допустимого уровня техногенной безопасности на потенциально опасных объектах. Были усовершенствованы лекционные курсы и лабораторные работы. Ряд студентов-дипломников привлечены в 2011 г. к научным исследованиям по определению уровня остаточных напряжений в трубопроводах атомных реакторов, турбинных лопатках, в композитных деталях..

Руководитель работ,
главный научный сотрудник ИМАШ РАН,
чл.-корр. РАН

_____ Н.А. Махутов

Зам. директора ИМАШ РАН
д.т.н., проф.

_____ А.Н. Романов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО 5 ЭТАПУ

Основные результаты исследований, выполненных в соответствии с Техническим заданием по этапу 5 «Методы анализа рисков и оценки защищенности критически опасных объектов и прилегающих к ним территорий» Государственного контракта от 20 июня 2009 г. № 02.740.11.0032 в рамках ФЦНТП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», кратко можно сформулировать следующим образом.

Разработаны:

1. методика оценки рисков с использованием дерева событий, учитывающая характерные особенности возникновения аварий, техногенных катастроф и чрезвычайных ситуаций и типы сценариев их дальнейшего развития.

2. способы обработки информации о состоянии критически важных потенциально опасных производственных объектов, получаемой на основе космического мониторинга, а также методы прогнозирования последующего развития событий.

3. методология комплексной оценки состояния потенциально опасных объектов и окружающей среды на основе данных наземного, морского, воздушного и космического мониторинга, включающая вопросы состава, объёма и качества регистрируемой информации.

4. предложения по концепции и стратегии обеспечения безопасности, основанные на нормируемых параметрах рисков, обосновываемых критериями надежности, прочности, ресурса и живучести.

5. комплекс методов математического моделирования процессов разрушения композитных конструкций, включающий нелокальные энергетические критерии расслоения и расщепления волокнистых композитов, учитывающие направленный характер разрушения, а также

методы расчёта на прочность и жёсткость типовых композитных конструкций.

6. методики оценки техногенных рисков на основе критериев механики разрушения.

7. научно-методические рекомендации для Российского «Национального центра управления в кризисных ситуациях».

8. нормативные документы по методикам определения параметров риска и безопасности для Ростехнадзора, Ростехрегулирования и МЧС России по независимой оценке рисков и по аудиту рисков в области промышленной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от техногенных чрезвычайных ситуаций.

Организованы и проведены в 1-м полугодии 2011 г. 6 заседаний Московского ежемесячного семинара молодых ученых и студентов (МЕСМУС) по проблемам техногенной безопасности.

Подготовлено и издано Учебное пособие «Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности» (авторы Н.А.Махутов, М.М.Гаденин). Издание Ассоциации «Спектр-групп», Москва, 2011. 187 с.

Изданы избранные труды XXII Международной Инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов (МИКМУС-2010).

Разработанные методики и нормативная документация активно используются в учебных процессах при обучении студентов старших курсов ведущих технических университетов Москвы (МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ», МГСУ-МИСИ, МФТИ-ГУ, МГТУ СТАНКИН, МАДИ-ГТУ и др.), а также при подготовке аспирантов и специалистов.

По материалам настоящего отчёта подготовлены главы спецкурсов «Основы физики прочности и механики разрушения», «Экспериментальная механика твердого тела» и «Механика композитов», изучаемых студентами МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ», МГСУ и др., обучающимися по

специальности Динамика и прочность машин (071102) в Научно-образовательном центре ИМАШ РАН.

Материалы исследований, проведенных в рамках работ по 5-му этапу, будут использованы на завершающем этапе работ по Государственному контракту (этап 6 «Создание методологических основ анализа рисков и снижения последствий техногенных катастроф»). В 2011 году будет разработана комплексная методология проведения проектно-конструкторских, эксплуатационно-технологических и организационных мероприятий для снижения вредных последствий техногенных катастроф, выполнен анализ и обоснование методик оценки техногенных рисков на основе критериев нелинейной механики разрушения, а также подготовлены к изданию новые нормативные материалы и учебное пособие.

**АННОТАЦИЯ РАБОТ,
ВЫПОЛНЕННЫХ НА ЭТАПЕ № 6**

**«Создание методологических основ анализа рисков и снижения
последствий техногенных катастроф»**

государственного контракта с Федеральным агентством по науке
и инновациям от 15 июня 2009 г. № 02.740.11.0032 по теме: «Исследования
НОЦ ИМАШ РАН в области снижения риска и уменьшения последствий
природных и техногенных катастроф»

Шифр: «009-1.1-223-009-015»

Период 01.07.2011 – 31.08.2011

выполнения этапа

Исполнитель: Учреждение Российской академии наук Институт
машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ
РАН), г. Москва

Цель работы Комплексная теоретико-расчетно-
экспериментальная методология снижения рисков и
повышения безопасности работы сложных технических
систем (в сильно повреждённых состояниях) на основе
критериев прочности, трещиностойкости,
вибростойкости, долговечности и живучести с
приложением к образовательному процессу подготовки
специалистов высшей квалификации в области
техногенной безопасности.

1. Наименование разрабатываемой продукции

- Методология снижения рисков и повышения безопасности критически важных потенциально опасных объектов.

- Научно-технические рекомендации на основе комплексной методологии проведения проектно-конструкторских, эксплуатационно-технологических и организационных мероприятий для снижения вредных последствий техногенных катастроф.

- Проект Сборника материалов XXIII Международной инновационно-ориентированной конференции молодых учёных и студентов МИКМУС-2011.

- Учебное пособие «Инженерная механика композитов» (электронная версия).

- Итоговый научно-технический отчет по проекту.

2. Характеристика выполненных на 6 этапе работ по созданию продукции

2.1. Результаты работы на 6 этапе, в том числе: методы и результаты исследований с указанием их характеристик, полученных, в том числе, по результатам испытаний, оценка соответствия этих характеристик требованиям задания.

Основные результаты проведённых по 6-му этапу работ:

- **разработана** комплексная методологии проведения проектно-конструкторских, эксплуатационно-технологических и организационных мероприятий для снижения вредных последствий техногенных катастроф;

- **проведен анализ и обоснование** методик оценки техногенных рисков на основе критериев нелинейной механики разрушения (НИР совместно с ВУЗаами (с участием аспирантов и студентов));

- **подготовлены** научно-методические материалы для оригинал-макета сборника «Безопасность России»;

- **предложена** экспериментально-расчетная методика анализа живучести композитных конструкций;

- **разработано** учебное пособие «Инженерная механика композитов»

(электронная версия);

- **предложены** расчетно-экспериментальные определения опасных состояний критически-важных объектов в штатных и аварийных состояниях;

- **разработаны** принципы создания системы организационных мероприятий для снижения вредных последствий техногенных катастроф, включающей мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций, меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций и защите населения;

- **разработана** методика оценки техногенных рисков на основе критериев нелинейной механики разрушения;

- **предложены** методы унификация моделей, критериев и методов расчета текущего, критического и безопасного состояний элементов с тупыми вырезами, надрезами, с трещинами на основе механики разрушения;

- **проанализированы** стратегические направления развития образовательной системы в сфере управления безопасностью, включая приоритеты реформирования образовательной системы и её роли в решении задач национальной безопасности и развития инновационной деятельности страны в целом;

- **проведена** работа по организации Международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов МИКМУС-2011;

- **организована** XXIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов МИКМУС-2011.

Проведенные исследования и представленные результаты соответствуют требованиям Технического задания.

2.2. Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень.

Экспериментальные, методические и расчетные исследования, проведенные в рамках шестого этапа в области научных основ анализа безопасности сложных технических систем, содержат элементы научной

новизны. Особое внимание уделено расчетно-экспериментальному определению опасных состояний критически-важных объектов в штатных и аварийных состояниях. По указанным выше проблемам опубликованы статьи в ведущих научных журналах, сделаны доклады на всероссийских и международных конференциях. Применение результатов научных исследований в учебном процессе подготовки инженеров, специализирующихся на проблемах техногенной безопасности, является новым моментом для российской и зарубежной образовательной практики.

Проведенные исследования находятся на мировом уровне, что подтверждается результатами проведенных международных семинаров и конференций по проблемам безопасности.

2.3. Особенности исследования, разработки, метода или методологии проведения работы на отчетном этапе.

Исследования 6-го этапа были связаны с разработкой

- комплексной методологии проведения проектно-конструкторских, эксплуатационно-технологических и организационных мероприятий для снижения вредных последствий техногенных катастроф;
- принципов создания новых защитных, дублирующих и резервных систем;
- методов обоснования увеличения сроков безопасной эксплуатации (продления ресурса) с учетом возникновения аварийных ситуаций;
- нормативных подходов к обеспечению защищенности критически важных опасных объектов (в рамках подготовки оригинал-макета сборника «Безопасность России»);
- методики анализа риска на основе Risk Based Inspection;
- двухстадийной модели устойчивого предразрушения композитов около отверстий;
- методики оценки работоспособности композитных конструкций после расслоения;

- научно-технических рекомендаций по применению методологии оценки техногенных рисков;
- концепции и проектов нормативных документов и научно-методических материалов НИР в части подготовки специалистов и руководителей в области управления рисками и безопасностью;
- учебного пособия «Инженерная механика композитов».

Разработанные методики, программы, модернизированное научно-исследовательское оборудование и аппаратура активно используются в учебном процессе для студентов ведущих технических университетов Москвы (МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ», МГСУ - МИСИ, СТАНКИН и др.), а также для подготовки аспирантов и молодых научных работников.

3. Области и масштабы использования полученных результатов

3.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты).

Область применения полученных результатов представляет собой систему критически важных объектов с максимальной степенью потенциальной опасности, приводящей к катастрофам в техногенной, природной и социальной сферах, а, именно, объекты гражданского комплекса: ядерной, химической, металлургической и горнодобывающей промышленности, уникальные инженерные сооружения (плотины, эстакады, нефтегазохранилища), транспортные системы (аэрокосмические, надводные и подводные, наземные), перевозящие опасные грузы и большие массы людей, магистральные газо-, нефте- и продуктопроводы; а также объекты оборонного комплекса: ракетно-космические системы и летательные аппараты с ядерными и обычными зарядами, атомные подводные лодки и надводные суда, крупные склады обычных и химических вооружений. Полученные в результате выполнения проекта результаты будут

использованы при переходе управления техногенной безопасностью на рисковую основу, что соответствует федеральному законодательству, федеральной и отраслевой нормативной документации, федеральным, региональным и отраслевым программам.

Разработанные методы экспериментального и расчетного анализа НДС в ответственных элементах конструкции используются для мониторинга состояний атомных реакторов и трубопроводов, а также для уточнения технических норм безопасной эксплуатации критических объектов.

Методология оценки рисков техногенных аварий, научные основы обеспечения безопасности сложных технических систем применяются при модернизации и совершенствовании учебных программ для студентов технических университетов, обучающихся по специальности «Динамика и прочность».

3.2. Ход практического внедрения полученных результатов, в том числе, в образовательный процесс.

В процессе выполнения работ по 6 этапу: созданы методические рекомендации по анализу рисков на потенциально опасных объектах. Издано учебное пособие «Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности» (авторы Н.А.Махутов, М.М.Гаденин). Издание Ассоциации «Спектр-групп», Москва, 2011. 187 с.,

Модернизирован специальный курс для студентов МГТУ им. Баумана по методам прогнозирования остаточного ресурса конструкций и риск-анализу.

В программы учебных курсов «Основы физики прочности и механики разрушения», «Экспериментальная механика деформируемого твёрдого тела» включены разделы по техногенной безопасности и риск-анализу, по методам оценки реальной нагруженности конструкций с трещинами. Во всех этих курсах - на практических и лабораторных занятиях, на лекциях, на семинарах – обсуждаются: проблемы техногенной безопасности, научные основы предотвращения аварий и катастроф, задачи и методы мониторинга

технического состояния потенциально опасных объектов. НОЦ АРТБ ИМАШ в ходе выполнения работ по 6 этапу подготовил 6 заседаний семинара МЕСМУС (Московский ежемесячный семинар молодых ученых и студентов), на котором будут обсуждены научные проблемы обеспечения техногенной безопасности.

3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, достижение или превышение заданных индикаторов и показателей.

НОЦ АРТБ последовательно проводит работу с молодежью по трем организационным направлениям: 1) повышение качества инженерного образования на основе научных результатов и путем привлечения студентов к экспериментальным исследованиям, 2) привлечение талантливой молодежи в науку о машинах (этой цели служат ежемесячные семинары МЕСМУС и ежегодные конференции МИКМУС), 3) закрепление в Институте машиноведения молодых специалистов и ученых (специальная молодежная лаборатория, совет молодых ученых – это особая молодежная среда, которая дополняет чисто финансовую поддержку из грантов, госконтрактов и Программы поддержки молодых ученых РАН). Согласно ТЗ и Календарному плану сотрудники и преподаватели НОЦ готовят на основе проводимых научных исследований учебно-методические материалы по экспериментально-расчётной оценке нагруженности конструкций на различных стадиях их эксплуатации, по расчету их прочности и ресурса с учётом накопленных повреждений. Методы исследования свойств и напряженных состояний металлических и композитных конструкций, включенные в учебные программы, будут способствовать повышению уровня подготовки специалистов по важному направлению обеспечения техногенной безопасности потенциально опасных объектов. Это направление особенно важно в связи с участвовавшими авариями и в связи с отсутствием соответствующих дисциплин в действующих образовательных стандартах.

Работа сотрудников НОЦ ИМАШ РАН призвана восполнить этот пробел в системе подготовки инженеров-прочнистов 21 века, ориентирующихся в методах противодействия возрастающим угрозам техногенных аварий и катастроф.

Запланированные индикаторы и показатели по 6 этапу – достигнуты.

4. Выводы

Техническое задание и разделы Календарного плана по 6 этапу выполнены полностью. Представленные отчетные материалы по методическим и расчетным разработкам позволяют снизить опасность техногенных аварий, осуществлять мониторинг потенциально опасных объектов. Разработанные методы и подходы позволили повысить уровень преподавания студентам технических университетов дисциплин, связанных с анализом рисков и обеспечением допустимого уровня техногенной безопасности на потенциально опасных объектах. Были усовершенствованы лекционные курсы и лабораторные работы. Ряд студентов-дипломников привлечены в 2011 г. к научным исследованиям по определению уровня остаточных напряжений в трубопроводах атомных реакторов, турбинных лопатках, в композитных деталях. Несколько студентов, защитившихся летом 2011 года, приняты в аспирантуру и на работу в ИМАШ РАН.

Руководитель работ,
главный научный сотрудник ИМАШ РАН,

чл.-корр. РАН

_____ Н.А. Махутов

Зам. директора ИМАШ РАН

д.т.н., проф.

_____ А.Н. Романов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО 6 ЭТАПУ

Основные результаты исследований, выполненных в соответствии с Техническим заданием по этапу 6 «Создание методологических основ анализа рисков и снижения последствий техногенных катастроф» Государственного контракта от 15 июня 2009 г. № 02.740.11.0032 в рамках ФЦНТП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», кратко можно сформулировать следующим образом.

Разработаны:

1. Комплексная методология проведения проектно-конструкторских, эксплуатационно-технологических и организационных мероприятий для снижения вредных последствий техногенных катастроф.
2. Система организационных мероприятия для снижения вредных последствий техногенных катастроф, включающая мониторинг, прогнозирование чрезвычайных ситуаций и меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций и защите населения.
3. Принципы создания новых защитных, дублирующих и резервных систем.
4. Методы обоснования увеличения сроков безопасной эксплуатации (продления ресурса) с учетом возникновения аварийных ситуаций.
5. Методы унификация моделей, критериев и методов расчета текущего, критического и безопасного состояний элементов с тупыми вырезами, надрезами, с трещинами на основе механики разрушения.
6. Комплекс экспериментально-расчетных методик анализа живучести ряда типовых композитных конструкций.
7. Нормативные подходы к обеспечению защищенности критически важных опасных объектов (в рамках подготовки оригинал-макета сборника «Безопасность России»).
8. Научно-технические рекомендации по применению методологии оценки техногенных рисков.

9. Концепция и проекты нормативных документов и научно-методических материалов НИР в части подготовки специалистов и руководителей в области управления рисками и безопасностью.

10. Предложения по выбору стратегических направлений развития образовательной системы в сфере управления безопасностью, включая приоритеты реформирования образовательной системы и её роли в решении задач национальной безопасности и развития инновационной деятельности страны в целом.

11. Учебное пособие «Инженерная механика композитов».

Организована Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов МИКМУС-2011.

Разработанные методики и нормативная документация активно используются в учебных процессах при обучении студентов старших курсов ведущих технических университетов Москвы (МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ», МГСУ-МИСИ, МФТИ-ГУ, МГТУ СТАНКИН, МАДИ-ГТУ и др.), а также при подготовке аспирантов и специалистов.

По материалам настоящего отчёта подготовлены разделы спецкурсов «Основы физики прочности и механики разрушения», «Экспериментальная механика деформируемого твердого тела» и «Механика композитов», изучаемых студентами МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ», МГСУ, и др., обучающимися по специальности «Динамика и прочность машин (071102)» в Научно-образовательном центре ИМАШ РАН.

Материалы исследований, проведенных в рамках работ по 6-му этапу, наряду с результатами НИР, выполненных в рамках этапов 1-5 Государственного контракта, обеспечили создание методологических основ анализа рисков и снижения последствий техногенных катастроф, включающие:

1. Критический анализ деятельности российских и международных организаций и научных центров в области снижения рисков

техногенных катастроф, методических подходов к прогнозированию рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера на критически важных опасных производственных объектах с учетом их состояния, а также патентных исследований в этих областях.

2. Разработку концептуальных положений системы оценки рисков для критически важных и потенциально опасных объектов и системы мониторинга опасных объектов для предотвращения техногенных катастроф.
3. Разработку комплекса экспериментальных методов для оценки характеристик трещиностойкости.

В рамках этого направления были разработаны:

- универсальный динамический стенд для исследований конструкций значительной протяженности;
- методика и комплекс приспособлений для испытаний на прочность и трещиностойкость монокристаллов;
- методика и комплекс современного оборудования для виброиспытаний элементов конструкций с применением когерентно-оптических методов;
- методические основы для создания системы оперативной диагностики и контроля термонапряженного состояния оборудования ядерных реакторов типа ВВЭР;
- экспериментально-расчетная методика оценки циклической прочности и безопасности конструкций;
- учебные пособия по проведению лабораторных работ по темам: «Определение коэффициентов интенсивности напряжений на основе обработки информации, получаемой интерференционно-оптическими методами», «Экспериментальная механика композитов», «Основы физики прочности и механики разрушения»;

- проект «Стандарта на определение вязкости межслойного разрушения композитов.

4. Разработку экспериментальных высокоинформативных методов и средств анализа неоднородных полей деформаций и напряжений в элементах конструкций с учетом поврежденности.

Были выполнены разработки следующих методик, программ и аппаратуры, для регистрации параметров напряжённо-деформированного состояния в зонах неоднородностей и дефектов:

- методика и аппаратура для исследования полей перемещений на основе электронной цифровой спекл-интерферометрии (ЭЦСМ);

- метод определения параметров напряженно-деформированного состояния натуральных элементов конструкций на основе обработки экспериментальных данных как обратной задачи механики;

- методология и вычислительный комплекс для определения параметров напряжённо-деформированного состояния натуральных элементов конструкций на основе минимизации расхождения между экспериментальными и расчётными данными;

- действующий макет специализированной компактной установки для дефектоскопии и регистрации параметров напряжённо-деформированного состояния конструкций в лабораторных и натуральных условиях;

- биомеханические принципы создания надежных способов крепления композитных элементов конструкций и методы оценки упруго-прочностных свойств анизотропных композитных материалов;

- учебно-методический комплекс дисциплины (УМКД) «Экспериментальная механика композитов», методические материалы по проведению лабораторных работ по темам: «Определение остаточных напряжений способом сверления с применением метода ЭЦСИ», «Определение напряжённо-деформированного состояния методом ЭЦСИ»

5. Построение комплексных моделей катастрофических разрушений и критериев допустимых, критических, переходных и запредельных состояний конструкций и машин при наличии трещиноподобных дефектов.

В рамках этого направления были разработаны:

- методы решения нелинейных задач механики трещин применительно к проблемам безопасности, живучести и ресурса сильно поврежденных машин и конструкций на основе аналитических решений и численного моделирования;

- методы диагностики тепловых и термонапряженных полей с целью мониторинга аварийных и предаварийных состояний в условиях эксплуатации, разработанные на основе решений обратных задач механики деформируемого твердого тела;

- принципы повышения безопасности композитных конструкций, основанные на использовании нехрупкости волокнистых композитов, содержащих слабые поверхности раздела;

- пакет программ для решения нелинейных задач механики разрушения;

- методические материалы по решению обратных задач, связанных с диагностикой тепловых и термонапряженных состояний.

6. Методы анализа рисков и оценки защищенности критически опасных объектов и прилегающих к ним территорий.

Были разработаны следующие методы мониторинга, математического моделирования и предложения в нормативные документы:

- методика оценки рисков путем анализа сценариев развития аварий с использованием дерева событий;

- принципы и методы мониторинга состояния критически важных опасных производственных объектов;

- предложения по концепции и стратегии обеспечения безопасности по критериям рисков;

- методы математического моделирования процессов разрушения композитных конструкций:

- научно-методические рекомендации для Российского «Национального центра управления в кризисных ситуациях» по вопросам сбора оперативной информации о чрезвычайных ситуациях (ЧС), прогнозной информации о тенденциях их развития и последствиях, а также оперативного управления действиями по экстренному предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций;

- предложения в нормативные документы по методикам определения параметров риска и безопасности для Ростехнадзора, Ростехрегулирования и МЧС России по независимой оценке рисков и по аудиту рисков;

- научно-методические материалы для семинаров по проблемам техногенной безопасности.

В рамках выполнения этапов 1-6 Государственного контракта организованы Международные инновационные конференции молодых ученых и студентов МИКМУС-2009, МИКМУС-2010 «Будущее машиностроения России» и МИКМУС-2011, а также проведены 15 заседаний Московского ежемесячного семинара молодых ученых и студентов (МЕСМУС) по проблемам техногенной безопасности.

Таким образом, можно заключить, что исследования и разработки, выполненные в рамках государственного контракта № 02.740.11.0032 «Исследования НОЦ ИМАШ РАН в области снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф», позволили разработать:

1. концепцию системы оценки рисков для критически важных потенциально опасных объектов, методы анализа рисков и оценки защищённости указанных объектов и прилегающих к ним территорий, включая принципы и методы мониторинга, а также стратегию обеспечения безопасности по критериям рисков.

2. комплекс современных высокоинформативных методов и средств экспериментальной регистрации параметров, характеризующих

нагруженность и поврежденность элементов конструкций в условиях эксплуатации.

3. методы и расчётные программы для диагностики силовых, тепловых и термонапряжённых состояний с целью мониторинга аварийных и предаварийных состояний в условиях эксплуатации на основе решений обратных задач механики деформируемого твердого тела.

4. комплекс экспериментальных и расчётных методов для оценки сопротивления разрушению и трещиностойкости конструкционных материалов различных типов, включая композиционные.

5. комплекс моделей катастрофических разрушений и критериев допустимых, критических, переходных и запредельных состояний конструкций и машин при наличии трещиноподобных дефектов.

6. комплексную методологию проведения проектно-конструкторских, эксплуатационно-технологических и организационных мероприятий для снижения вредных последствий техногенных катастроф.

7. предложения по созданию системы организационных мероприятий для снижения вредных последствий техногенных катастроф.

8. методы обоснования увеличения сроков безопасной эксплуатации (продления ресурса) с учетом возникновения аварийных ситуаций.

9. комплекс нормативных документов по вопросам обеспечения защищенности критически важных опасных объектов, методологии оценки техногенных рисков, сбора оперативной информации, управлению действиями по экстренному предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, методикам определения параметров риска и безопасности, по независимой оценке рисков и по аудиту рисков, обеспечению защищенности критически важных опасных объектов.

Кроме того, были созданы ряд новых методов испытаний и экспериментальных установок для оценки нагруженности, дефектности, параметров сопротивления разрушению и трещиностойкости конструкционных материалов.

Была разработана серия методических материалов, учебных пособий и дополнительных разделов учебных курсов, изучаемых студентами МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГТУ «МАМИ», МГСУ, МФТИ и др., обучающимися в Научно-образовательном центре ИМАШ РАН, а также аспирантами, специалистами предприятий и преподавателями технических вузов.

Ряд разработанных методических материалов и нормативных документов посвящены вопросам выбора стратегических направлений развития образовательной системы в сфере управления безопасностью, приоритетам реформирования образовательной системы и её роли в решении задач национальной безопасности, а также развития инновационной деятельности в стране в целом. Их изучение должно стать одним из важнейших направлений подготовки специалистов и руководителей в области управления рисками и безопасностью сложных технических систем.