

ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И РИСКОВ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РАБОЧЕЙ
ГРУППЫ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ
РАН ПО АНАЛИЗУ РИСКА
И ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ,
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН

Николай Андреевич
Махутов



ВЕДУЩИЙ НАУЧНЫЙ
СОТРУДНИК ИНСТИТУТА
МАШИНОВЕДЕНИЯ ИМЕНИ
А.А. БЛАГОНРАВОВА РАН
Михаил Матвеевич Гаденин



ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА

Современное развитие фундаментальной теории безопасности диктует необходимость изменения действующих подходов к обеспечению требуемых условий эксплуатации потенциально опасных объектов (данные вопросы затронуты в материалах «Федерального справочника» №23, 24, 25). Новые, перспективные подходы должны базироваться на нормируемых параметрах рисков и безопасности, обоснованных по критериям надежности, прочности, ресурса, живучести и безопасности. Ключевым фактором в решении данной проблемы является использование

концепции мониторинга рисков, основанной на контроле, диагностике и мониторинге базовых параметров эксплуатации рассматриваемых объектов техносферы, а также комплексном анализе получаемых при этом результатов. Отсюда следует, что разработка и реализация крупномасштабных проектов в области машиностроения, обороны, энергетики, нефтегазохимии, транспорта требует принципиально новой постановки проблемы обеспечения надежности и комплексной безопасности проектируемых и эксплуатируемых машин, конструкций и механизмов с учетом потенциальной опасности объектов инфраструктуры и крупномасштабных ущербов от техногенных аварий. Базовым требованием к таким проектам и объектам становится обеспечение их безопасной работы по критериям приемлемых рисков.

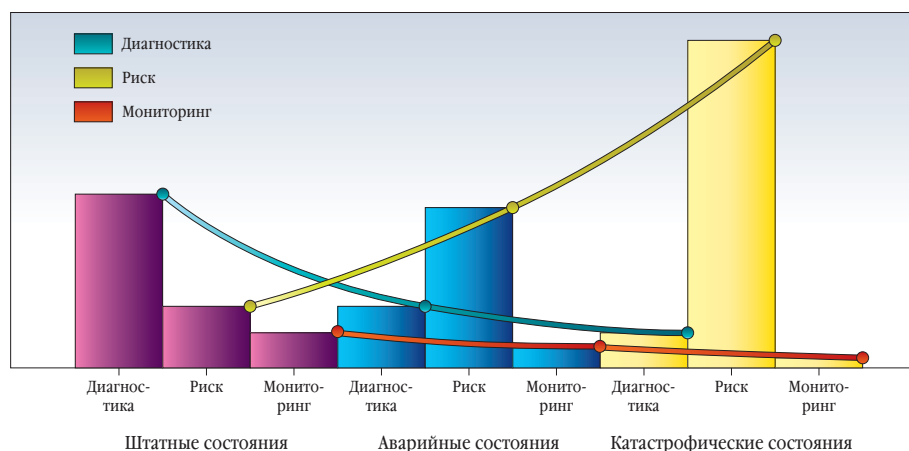
Результаты фундаментальных и прикладных исследований по проблемам техногенной безопасности и рисков являются основой перехода от традиционных методов и систем обеспечения прочности, ресурса и надежности к методам оценки и управления рисками. Важными элементами решения проблемы безопасности и рисков становятся:

- взаимозависимое развитие и использование комплексной системы диагностики и мониторинга в штатных и аварийных ситуациях;
- мониторинг формирующихся и реализуемых рисков эксплуатации на всех стадиях жизненного цикла объекта;
- автоматизированное включение комбинированных систем защиты таких объектов от аварий и катастроф по мере выхода рисков за пределы приемлемых и приближения их к предельным.

В настоящее время при обеспечении техногенной безопасности оборудования в промышленности гражданского и оборонного назначения выделяются три базовых направления:

- современная диагностика состояния объектов на всех стадиях жизненного цикла;

1



СТРУКТУРА ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ И РИСКОВ АВАРИЙНЫХ И КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

- определение рисков возникновения техногенных, природно-техногенных и антропогенных аварий и катастроф;
- мониторинг состояния объектов и рисков их эксплуатации.

С учетом потенциальных опасностей и технологической сложности рассматриваемых объектов указанные выше направления должны быть отнесены к следующим, складывающимся в процессе эксплуатации состояниям объектов:

- штатные состояния объектов и нормальные ситуации в эксплуатации;
- опасные аварийные состояния объектов и аварийные ситуации в эксплуатации;
- предельно опасные катастрофические состояния и катастрофические чрезвычайные ситуации.

Для обеспечения прочности, ресурса и безопасности объектов инфраструктуры следует учитывать три основные тенденции по мере перехода от штатных (нормальных) состояний к аварийным и катастрофическим (рис. 1):

- риски, характеризующие рассматриваемые процессы, экспоненциально нарастают;
- уровень и возможности диагностики существенно сокращаются;
- мониторинг состояний и рисков остается пока невысоким, особенно для катастрофических ситуаций.

Ниже более детально рассматриваются междисциплинарные и межотраслевые научные основы диагностики, мониторинга и нормирования состояний и рисков для условий эксплуатации объектов опасных производств.

Научную основу первоочередного междисциплинарного фундаментального анализа тяжелых катастроф, рисков и безопасности, включающих технические объекты, операторов, население и окружающую среду, составляют:

- физика, химия и механика катастроф;
- математическое моделирование сценариев аварий и катастроф;

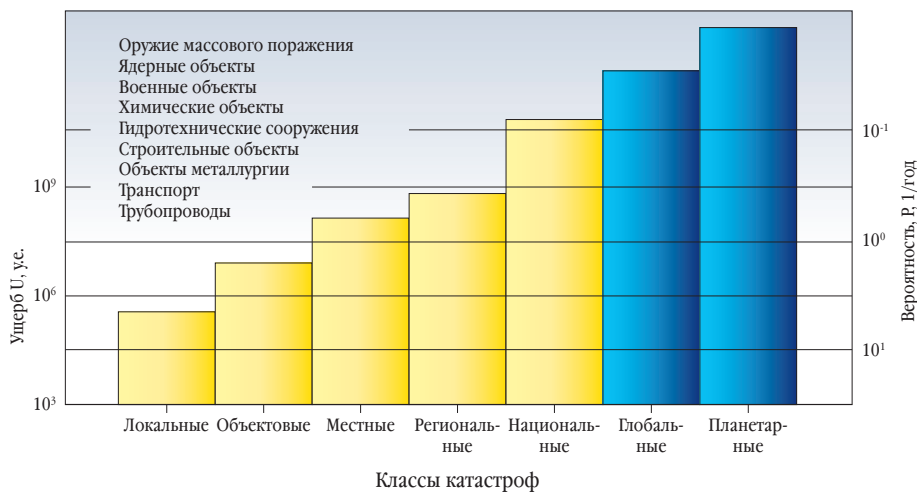
- методы и принципы аварийной диагностики и мониторинга чрезвычайных ситуаций;
- биомеханика взаимодействия операторов и технических объектов в аварийных ситуациях;
- методы и принципы защиты персонала, объектов и окружающей среды от аварий и катастроф;
- критерии нормативного обоснования и повышения безопасности.

В целях мониторинга и предотвращения аварийных ситуаций и катастроф, а также оперативной ликвидации их последствий используется диагностическое, информационно-математическое обеспечение и разрабатываются системные математические модели, ориентированные на построение обобщенных математических моделей сложных технических систем на разных стадиях возникновения и развития аварий и катастроф. Результаты фундаментальных исследований в этом направлении должны стать:

- разработка методов математического моделирования и диагностики развития аварий и катастроф в системе «человек – объект техносферы – окружающая среда»;
- построение математических моделей объекта и системы его управления для прогноза возможных аварийных ситуаций и анализа их последствий;
- разработка методов, алгоритмов и системы программного обеспечения для математического моделирования возникновения и развития аварий;
- математическое моделирование механического разрушения конструкций и систем защиты под действием механических и других типов нагрузок и окружающих сред;
- разработка универсальной синергетической модели динамики сложных технических систем при авариях и катастрофах;
- разработка методов моделирования нелинейных неизотермических процессов деформирования и разрушения трехмерных тел.



2



ТИПЫ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ С ВЕРОЯТНОСТЯМИ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ВОЗМОЖНЫМ УЩЕРБОМ

НАУЧНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА

Одной из важных научных проблем в рассматриваемом направлении является создание и развитие методов штатной и оперативной диагностики, мониторинга аварийных ситуаций и поврежденных состояний технических систем в случае возникновения аварий и катастроф, имеющих глобальный, национальный или региональный характер.

В состав задач при создании и совершенствовании систем оперативной диагностики входят:

- вывод концепции построения систем контроля и оперативной диагностики;
- определение совмещенной структуры поражающих факторов технических систем и природных явлений, состава и характеристик измерительной аппаратуры для их контроля и диагностики;
- установление поражающих факторов потенциально опасных технических систем и природных явлений и возможности их контроля;
- развитие новых концепций применимости и номенклатуры средств диагностики аварийных ситуаций при воздействии опасных природных процессов и внешних поражающих факторов природного и антропогенного характера (землетрясения, наводнения, цунами, террористические и военные действия и т.д.).

При создании систем диагностики потенциально опасных объектов на основе накопленного в нашей стране и за рубежом опыта анализа техногенных, природно-техногенных, социально-природно-техногенных катастроф следует учитывать два важных фактора:

- класс аварий и катастроф и их последствий;
- тип аварийных ситуаций.

Аварии и катастрофы в зависимости от тяжести возможных последствий (ущербов) и наблюдаемой периодичности их возникновения разделены на планетарные, глобальные, национальные, региональные,

местные, объектовые и локальные. Первые из них создают тяжелые социально-экономические и экологические последствия для сопредельных стран, последние затрагивают промышленные и санитарно-защитные площади объектов. Аварийные ситуации по степени снижения их последствий классифицированы как гипотетические, запроектные, проектные и режимные. Планетарные катастрофы имеют минимальную вероятность возникновения, но наиболее тяжелые последствия и создают максимальный риск; локальные аварии имеют большую вероятность возникновения при меньших последствиях. При этом уровень постановки и решения задач диагностики и мониторинга для гипотетических и запроектных аварий и катастроф остается пока крайне низким.

Расчеты показывают, что интегральные экономические риски, определяемые произведением единичных рисков на число эксплуатируемых объектов, оказываются сопоставимыми как для глобальных, так и для объектовых катастроф. Ущерб от единичных катастроф глобального и объектового масштаба отличается на 8–10 порядков, риски – на 4–6 порядков, а интегральный ущерб – на 1–3 порядка для семи классов техногенных и природно-техногенных катастроф (рис. 2).

Для всех стадий создания и эксплуатации потенциально опасных объектов (разработка технического задания, проектирование, изготовление и эксплуатация) системы диагностирования должны стать важнейшим фактором обеспечения безопасности. В целом системы диагностики условно можно разделить на следующие группы:

- встроенные системы, функционирующие на всех стадиях нормальной эксплуатации объектов и обеспечивающие срабатывание систем аварийной защиты;
- встроенные системы, включаемые в работу при возникновении и развитии режимных и проектных аварийных ситуаций, обеспечивающие срабатывание систем защиты и аварийную остановку объектов;



Таблица 1

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

Параметр	Напряжение			Температура			Дефекты		
Метод	Величина σ_a	Циклы N	Время τ	Величина t	Циклы $\tau_{ц}$	Время τ	Размер l	Форма a/l	Место S
УЗД	- +	-	-	-	-	-	++	- +	- +
МПД	-	-	-	-	-	-	+ -	-	-
Визуальный контроль	-	-	-	-	-	-	+ -	-	-
Рентген	- +	-	-	-	-	-	- +	- +	- +
Виброметрия	+ -	-	-	-	-	-	+ -	-	+ -
Акустический контроль	+ -	-	-	-	-	-	+ -	-	+ -
Акустическая эмиссия	++	-	-	-	-	-	++	+ -	++
Голография	+ -	++	+ -	+ -	-	-	-	- +	+ -
Термовидение	+ -	+ -	++	++	++	++	+ -	-	+ -
Томография	-	-	-	-	-	-	++	++	++
Натурная тензометрия	++	++	++	++	++	++	+ -	+ -	+ -
Расчетные соотношения									
$N_p = f(\sigma_a, t, \tau, l, \Phi)$ – натурная тензометрия;									
$T = f(\sigma_a, N, \tau, l)$ – термовидение;									
$AЭ = f(\sigma_a, e_p, K_{le}, l)$ – акустическая эмиссия;									
$G = f(\sigma_a, t, N, \tau)$ – голография									

- мобильные внеобъектовые системы диагностики предвестников тяжелых аварий или развития аварий, действующие непрерывно или периодически и включаемые в систему мониторинга проектных и гипотетических аварий;
- мобильные внеобъектовые и объектовые системы, доставляемые в зону проектных, запроектных и гипотетических аварий.

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ

При использовании действующих и разработках новых диагностических систем применительно к каждому классу катастроф и каждому типу аварийных ситуаций должны быть выделены следующие разновидности измеряемых характеристик:

- состояния наиболее важных систем потенциально опасных компонентов оборудования в штатных и аварийных ситуациях;

- повреждающих и поражающих факторов при возникновении и развитии аварийных ситуаций;
- непрерывного изменения состояния конструкционных материалов и их свойств.

К наиболее важным диагностируемым характеристикам и параметрам состояния эксплуатируемых объектов относятся имеющие место в их наиболее нагруженных элементах напряжение σ (деформация e), температура t , размер, форма и место возникновения дефектов (трещин) l , которые изменяются во времени τ . Эти параметры зависят от условий эксплуатационного нагружения (давление p , механические, тепловые и электромагнитные усилия, скорость, ускорение), геометрических форм и размеров конструктивных элементов, свойств конструкционных материалов.

Так как развитие практически всех аварийных ситуаций начинается с повреждений несущих элементов (разрушение, деформирование, разуплотнение, потеря устойчивости), в процессе диагностирования подлежат обязательному определению максимальные ($\sigma_{max}, e_{max}, t_{max}$) и амплитудные значения (σ_a, e_a, t_a) ба-



зовых параметров: напряжения, деформации, температуры.

Для измерений в реальном масштабе времени эксплуатации или при проведении регламентных работ с остановкой объектов могут быть использованы (знак «+» в таблице 1) как широко применяемые, так и новые методы и средства – оптические, физические, механические, электромеханические. К ним можно отнести: внешний визуальный контроль, осмотр, ультразвуковую (УЗД) и магнитно-порошковую (МПД) дефектоскопию, методы проникающих жидкостей и фотоупругости, тензометрию, виброметрию, термометрию, акустическую эмиссию, термовидение, рентгенографию, томографию, голографию и др. Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствуют (знак «–» в таблице 1) универсальные методы, позволяющие одновременно вести измерения всех вышеназванных определяющих параметров – σ , t , l – на различных стадиях жизненного цикла (по времени τ и числу циклов нагружения N).

В таблице знаком плюс (+) отмечены методы, позволяющие с достаточной достоверностью определить соответствующий диагностируемый параметр. Минус (–) показывает отсутствие у данного метода такой возможности. Сочетание двух плюсов (+ +) соответствует хорошей применимости и достоверности при определении этим методом данного диагностируемого параметра, сочетание минуса и плюса (– +) – пониженной возможности применения, но хорошей информативности, а сочетание плюса и минуса (+ –) показывает возможность использования метода, но с пониженной информативностью. Наибольшими возможностями в рассматриваемом направлении обладают методы натурной тензометрии, термометрии, акустической эмиссии, термовидения и голографии, разрабатываемые и развиваемые на протяжении многих десятилетий.

В общем случае для обеспечения требуемых прочности, ресурса, надежности, живучести, риска и безопасности технических систем можно воспользоваться определенными соотношениями механики деформируемого тела и механики разрушения, провести соответствующие расчеты и получить оценки технического состояния объекта. При этом базовыми расчетными параметрами являются именно параметры напряжения, температуры и дефектов, которые и должны быть определены с использованием систем диагностики и мониторинга.

Для параметра напряжения важны такие его характеристики, как амплитуда, число циклов нагружения и время, в течение которого реализуются эти амплитуды в циклах. Для параметра температуры важными характеристиками являются абсолютное значение этой температуры, форма теплового цикла, скорость изменения температуры и период температурно-временных выдержек в эксплуатационных циклах. Для параметра дефектов обязательным является знание размера, формы и места их расположения.

При постановке задачи многопараметрической диагностики состояния технических систем в первую очередь представляет интерес эксплуатационная информация об упомянутых выше параметрах с учетом

всех особенностей функционирования рассматриваемых объектов. Для реализации процедур диагностики и мониторинга состояния в процессе эксплуатации могут быть применены те или иные методы, которые известны в практике решения подобных задач. Однако отдельными методами далеко не всегда удастся получить комплекс рассматриваемой эксплуатационной информации в полном объеме. Из представленных в таблице 1 данных следует, что не существует суперуниверсального метода, способного решить данную задачу, а имеющиеся отдельные специализированные разработки, как правило, оказываются очень сложными, дорогостоящими и трудоемкими в применении.

При анализе состояния технической системы по результатам применения методов диагностики и мониторинга состояний опасных объектов следует учитывать, что только полная информация о комбинации всех требуемых параметров в их непосредственном взаимодействии позволяет провести оценку величины поврежденности системы, а дальнейшее развитие возникших дефектов зависит от характера повреждений. Учет взаимодействия диагностируемых параметров состояния системы очень важен, а получение объективных данных, отражающих такое взаимодействие, возможно лишь при комплексном применении различных методик наблюдения за состоянием системы. Так, например, использование широкоизвестного ультразвукового контроля позволяет получить достаточно полные сведения о размерах дефектов, но информация о месте их расположения и конфигурации оказывается не всегда достаточной для их надежной идентификации. Каждый из рассмотренных в таблице 1 методов имеет свой диапазон применения и позволяет непосредственно или по соответствующим расчетным соотношениям получить конкретный объем данных по специфическим для него анализируемым параметрам, включая рассмотренные выше, а также по разрушающему числу циклов N_p , номинальной напряженности σ_n , факторам агрессивной окружающей среды Φ , наличию зон пластических деформаций e_p , коэффициентам интенсивности деформаций K_{de} .

Комплексность диагностики и мониторинга исследуемой технической системы в наибольшей степени обеспечивает метод натурной тензометрии.

В целом ряде случаев в штатных и аварийных ситуациях важную роль приобретает диагностика структурных состояний и химического состава материалов с применением оптической и электронной микроскопии.

Встроенные системы штатной диагностики на таких потенциально опасных объектах могут включать непрерывную термометрию, виброметрию, измерение акустической эмиссии и внешних механических, тепловых и электромагнитных нагрузок.

МОНИТОРИНГ РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Углубленные исследования основ применения названных выше методов (табл. 1), первичной и вторич-



ной диагностической аппаратуры, систем регистрации, обработки и передачи информации создают исходную базу для создания и использования развернутых интегрированных систем диагностики аварийных ситуаций на объектах инфраструктуры новых поколений. Диагностика и мониторинг состояний позволяют поэтапно переходить к мониторингу рисков для обеспечения безопасных условий эксплуатации потенциально опасных объектов. Необходимо также проводить космическое, воздушное и наземное измерение параметров и основных характеристик возможных аварийных ситуаций на высокорисковых объектах с глобальными, национальными и региональными последствиями.

Под мониторингом рисков понимается сочетание расчетно-экспериментальных методов и систем непрерывного или дискретного получения информации о вероятностях возникновения отказов, аварий и катастроф и сопутствующих им ущербов на всех стадиях жизненного цикла анализируемых объектов. Для этого в ближайшей перспективе необходимо создать комплексную систему:

- распознавания и контроля начала развития аварий и катастроф;
- оперативного оповещения населения, национальных и международных сил противодействия авариям и катастрофам;
- управления действиями по ликвидации последствий аварий и катастроф;
- мониторинга краткосрочных и долговременных последствий аварий и катастроф.

Комплексный мониторинг и мониторинг рисков технических объектов повышенного ресурса и безопасности могут стать составным элементом в работе Национального центра управления в кризисных ситуациях МЧС России. Анализ крупнейших техногенных аварий и природных катастроф показал чрезвычайную важность развития систем оперативной мобильной диагностики и мониторинга состояния и рисков для зон чрезвычайных ситуаций, в которых эксплуатируются потенциально опасные промышленные объекты. Это в первую очередь касается систем обнаружения (термовизионных, лазерных, вибрационных, спектральных) пострадавших операторов, персонала и населения. Имеющиеся сложности применения технической диагностики в зонах аварийных ситуаций состоят:

- в необходимости оперативного начала диагностических мероприятий в начальных и последующих стадиях развития аварий и катастроф;
- в комплексном воздействии поражающих факторов (радиация, взрывы, пожары, заражения отравляющими веществами, высокие температуры, ударные волны, световые излучения, осколочные поражения, завалы, плохая и нулевая видимость);
- в высокой скорости и неопределенности изменения контролируемых параметров;
- в слабой защищенности систем измерений от воздействий поражающих факторов;
- в возникновении чрезмерных преград для обработки и передачи информации.

В число контролируемых параметров в дополнение к входящим в диагностику нормальных (штатных) ситуаций и рисков должны быть внесены:

- массы выброшенных и скорости выброса химических, биологически и радиационно опасных веществ;
- скорости распространения в воздухе, воде и почве химически, биологически и радиационно опасных веществ;
- плотность интегральных потоков (Φ) опасных излучений и истечений;
- максимальное давление и скорости изменения волн давления;
- максимальные температуры и скорости изменения температуры;
- тепловые, механические и электромагнитные нагрузки и скорости их изменения;
- деформации несущих конструкций;
- повторность действия нагрузок;
- масса и скорость летящих осколков;
- степень поврежденности несущих элементов конструкций.

В мобильных системах оперативной диагностики аварийных ситуаций решающее значение приобретают дистанционные бесконтактные многоточечные или полевые измерения. Такие измерения можно проводить с помощью:

- систем радиофизических измерений;
- термовизионных систем;
- систем голографической интерферометрии;
- систем фотоупругих и тензочувствительных покрытий;
- лазерных систем измерения деформаций и вибраций;
- телевизионных систем наблюдения и регистрации;
- систем лазерного спектрального анализа химически и биологически опасных выбросов;
- компьютерных систем с термо-, влаго-, пыле- и ударозащищенностью;
- систем измерения электрических и магнитных полей.

В дополнение к данным измерениям важные данные можно получить с применением мобильных контактных средств ультразвукового, магнитного, токовихревого, радиографического методов измерения толщин поврежденных и неповрежденных элементов, остаточных напряжений, дефектов и механических свойств.

Такие мобильные системы измерений представляются, как правило, портативными приборами, приемлемыми для транспортировки экспертами в зоны аварийных ситуаций.

При возникновении аварийных ситуаций на сложных технических системах для обеспечения мониторинга рисков необходимы специальные средства:

- для доставки экспертов и диагностической аппаратуры в потенциально опасные или аварийные зоны;
- установки измерительных комплексов в очагах развития аварийных и катастрофических ситуаций;



– защиты операторов и экспертов в опасных зонах диагностирования.

Такими средствами являются специализированные мобильные диагностические лаборатории (на базе автобусов, вертолетов, самолетов) для контроля воды, воздуха, почв, обрывов линий электропередачи. Универсальный измерительный комплекс для анализа аварийных ситуаций должен содержать встроенные системы автономного энерго- и водообеспечения, иметь защиту от ударов, перегрева, пыли и влаги и может быть оснащен указанными выше портативными диагностическими системами.

Таким образом, при создании систем диагностики опасных состояний и мониторинга рисков для обеспечения безопасности техногенных объектов инфраструктуры на основе развития и комплексного использования систем диагностики и мониторинга их эксплуатационных параметров должны учитываться как степень опасности объектов, типы катастроф и аварийных ситуаций (нормальные условия эксплуатации, отклонения от нормальных условий эксплуатации, проектные, запроектные, гипотетические аварии), так и набор поражающих факторов и комплексная система критериев безопасности. При реализации такого подхода к решению поставленной задачи должны быть предусмотрены следующие мероприятия:

- разработка методологии анализа и обоснования безопасности по критериям рисков;
- выработка единой системы критериев и параметров риска, живучести, устойчивости и безопасности сложных технических систем и объектов при возникновении аварий и катастроф;
- создание систем физических и математических моделей образования и развития аварий и катастроф;
- определение и классификация основных параметров поражающих факторов и их воздействия на человека, окружающую среду и сложные технические системы;
- построение и назначение критериев, определяющих безопасность людей, окружающей среды и объектов;
- выбор структуры унифицированных и специализированных методов диагностики, мониторинга и нормативно-технических документов, регламентирующих риск и безопасность объектов при техногенных и природных катастрофах;
- разработка алгоритмов и программ расчетного определения вероятностей и ущербов от аварий и катастроф, лежащих в основе математических выражений для количественной оценки рисков на заданной стадии жизненного цикла.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНИТОРИНГА РИСКОВ

В ближайшей перспективе проблемы контроля, диагностики, мониторинга состояния материалов и конструкций будут одними из определяющих при обосновании прочности, ресурса, живучести и безопасности

с переходом на мониторинг рисков для всех объектов инфраструктуры гражданского и оборонного назначения.

На первом этапе одной из ведущих в этом направлении будет проблема комплексного контроля, диагностики и мониторинга текущего состояния материалов и конструкций с учетом накапливающихся повреждений и внешних воздействий. В связи с этим контроль должен стать по крайней мере трехцелевым (для обеспечения прочности, ресурса и безопасности) и трехпараметрическим (неразрушающим, повреждающим и разрушающим). Только сочетание указанных видов контроля состояния объектов позволит достигнуть прогресса в мониторинге рисков и защите конструкций от техногенных аварий и катастроф.

Все виды неразрушающего контроля направлены на анализ прочности и дают ответ на вопрос, есть ли в конструкции повреждения, несовершенства, дефекты. Это имеет исключительно большое значение для определения и назначения предельных нагрузок и предельных состояний.

Для определения параметров ресурса необходима прямая информация о реальных условиях нагружения рассматриваемого объекта, характеризующих их основными параметрами – локальными и общими напряжениями и деформациями. Они с наибольшей степенью точности устанавливают ресурс безопасной эксплуатации объекта, имеющего заданную степень поврежденности и дефектности.

Оценка уровня эксплуатационных напряжений и деформаций является задачей повреждающего контроля, связанного с обязательными прямыми внешними и внутренними воздействиями на несущие элементы конструкции – механическими, тепловыми, электромагнитными, сейсмическими, аэрогидродинамическими. Тензотермометрический, акустико-эмиссионный, тепловизионный, голографический, рентгеновский, акустический, магнитный, вибрационный виды контроля позволяют получить спектры эксплуатационной нагруженности по параметрам времени, частот, циклов, амплитуд, коэффициентов асимметрии.

Указанные виды контроля дают исходную информацию для диагностики накопления определенных степеней повреждения и исчерпания ресурса в наиболее нагруженных зонах объекта. Разрушающий контроль необходим для уточненного комплексного определения прочности, ресурса и безопасности. Наиболее важным его элементом является прямое или косвенное измерение параметров механических свойств конструкционных материалов на текущей стадии эксплуатации. С этой целью из контролируемых объектов вырезаются лабораторные образцы-свидетели, которые доводятся до разрушения. Очень важными для определения механических свойств являются измерения твердости и микротвердости локальных поверхностных повреждений или разрушений.

В наиболее ответственных случаях для диагностики и мониторинга опасных состояний на втором этапе натурный объект или модель необходимо доводить до предельного состояния – недопустимых повреждений или разрушения. При этом контролируются пре-



дельные нагрузки, напряжения, деформации, повреждение и развитие разрушения – рост трещин и их переход в неустойчивые состояния. Разрушающие методы контроля имеют особое значение при создании новых потенциально опасных объектов. Результаты испытаний лабораторных образцов, моделей и штатных изделий позволяют определить запасы прочности, ресурса, живучести и безопасности.

Перспективы ближайшего десятилетия в этом направлении связываются с применением комбинированного неразрушающего, повреждающего и разрушающего метода контроля, диагностики и мониторинга состояния материалов и конструкций для ответа на наиболее важный и интегральный вопрос – вопрос о мониторинге техногенных рисков. Техногенные риски

определяются на основе вероятностных трактовок прочности, ресурса и живучести и в конечном счете количественно характеризуют безопасность техногенных систем повышенной опасности, к которым относятся критически и стратегически важные для национальной безопасности объекты.

Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты анализа и мониторинга рисков поэтапно освещаются в уникальной многотомной серии «Безопасность России». Они отвечают требованиям «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года».

Результаты разработок по проблемам диагностики и мониторинга будут предметом рассмотрения в последующих выпусках «Федерального справочника».