

БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ АЕРОПОРТІВ

УДК 621.039.58 – 351.354

Ю.В. Верюжский**НОВЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Разработана методология решения проблем экстремальных объектов, построенная на межотраслевом уровне. Развита универсальный комплексный аппарат детерминистически-вероятностного численного моделирования, оценок рисков, экспериментальных и проектно-изыскательских работ.

К классу экстремальных объектов (ЭО) относятся здания, сооружения, машины, аппараты, оборудование и средства индивидуальной защиты человека, специально предназначенные или случайно попавшие в естественные или искусственно образованные области повышенного риска – экстремальные условия и среды. Частным случаем ЭО являются объекты, поврежденные запланированными или сверхнормативными воздействиями и предназначенные для продолжения эксплуатации в поставарийном или частично реконструированном состояниях. С развитием человеческой деятельности этот класс ЭО непрерывно расширяется, поскольку к нему относятся объекты в районах стихийных бедствий и экологических катастроф, в труднодоступных и неблагоприятных для обитания зонах, в подземном, подводном, воздушном и космическом пространствах. Проблематика ЭО инициировала создание многих эффективных рациональных конструкций и технологий.

Однако распространение ЭО связано не только с научно-техническим прогрессом, но и с вступлением человечества в эпоху повышенного риска самоуничтожения. Существование в новых условиях предопределяет необходимость управления рисками не только на основе традиционного исследования реализованных факторов опасности. Требуется прогнозировать и предупреждать события, которые могут развиваться в тяжелые аварийные ситуации и нанести значительный ущерб. В результате поиска средств ослабления воздействий при реализации негативного потенциала ЭО и разработки адекватных компенсирующих механизмов сформировалось научное направление, методологическую основу которого составляет теория рисков ЭО.

Оценка рисков включает в себя анализ и идентификацию опасности исходных событий и отказов, моделирование негативных процессов, прогнозирование размеров ущерба и компенсационных затрат, выработку рекомендаций по управлению или снижению уровня опасности возникающих явлений и механизмов. Сложность проблемы требует привлечения наукоемких методов, в которых сочетается фундаментальность подходов с учетом уникальности каждого типа ЭО.

Выделяют пять основных особенностей ЭО:

- стандартно недопустимая запредельность испытанных или постулируемых состояний объекта и окружающей среды;
- чрезвычайная ответственность функционального назначения;
- доминирующее значение решения основной задачи (доминанты ЭО), которой подчиняются все другие цели;
- исключительная сложность и индивидуализированность проблемы, имеющей комплексный межотраслевой характер;
- определяющая роль исследований, которые должны исключать ошибки со значительными негативными последствиями.

Особенности ЭО настолько усложняют задачу, что регламентированные методики оказываются неприемлемыми и требуется выполнение интенсивных разработок средств анализа, позволяющих достоверно оценивать риски на всех этапах работы ЭО.

Вероятностные методы рассматриваются как наиболее перспективная основа таких исследований, поскольку они стали обобщающим межотраслевым направлением определения количественных оценок рисков негативных последствий. Такие величины представляются в виде произведения вероятности проявления негативных исходных событий на уровень опасностей, оцениваемых по параметрам выбросов и загрязнений, мощностям экспозиционных доз и другим основным негативным показателям, которые затем приводятся к экономическому масштабу прямых и косвенных затрат на гипотетическое полное восстановление доаварийного состояния или на реальную ликвидацию последствий аварии.

В качестве функций риска постулируемых исходных событий принимаются величины

$$R_k = p\{E_k\} S_k, \quad k = \bar{1}, \bar{N},$$

где E_k – отдельное постулируемое исходное событие; $p\{E_k\}$ – его вероятность; S_k – функция негативных последствий.

Например, для объекта "Укрытие" (ОУ) принималась суммарная активность радиоактивных веществ, покидающих ОУ в результате развития аварийного события. Таким образом, функция риска R_k отражает средние ожидаемые за некоторый период негативные последствия исходных событий.

Однако возможности вероятностного аппарата ограничиваются по трем основным причинам. Первая – методология базируется на положениях классической теории надежности, которая предназначена для исследований однотипных, а не уникальных объектов. Вторая причина – отраслевые методики сформированы для анализа технологических операций, которые принципиально отличаются от процессов ЭО. Третья причина – регламентированные методики во многих отраслях существенно устарели и находятся на уровне отживших идей максимальных возможных событий, глубокоэшелонированной обороны и других неэффективных концепций.

Детерминистические методы являются альтернативным направлением, потенциально пригодным для исследования рисков ОУ. Этот подход приводит к однозначным оценкам многочисленных вариантов развития негативных механизмов. Стохастическая природа исходных данных учитывается при формировании нормативных критериев и проектных параметров, но сами вероятностные характеристики в вычислениях отсутствуют и математические модели считаются адекватными исследуемым процессам. Однако попытки строгой реализации детерминистических методик также оканчиваются неудачей, поскольку невозможность преодоления неполноты и некорректности постановок граничных задач на уровне базы данных ЭО исключает применение стандартных расчетных схем и средств реализации дискретных и функциональных аналитических аппаратов, а восполнение этого недостатка требует значительного времени.

Гибридные методы часто становятся выходом из положения, когда отдельные компоненты системного анализа оказываются недостаточно универсальными. В наиболее эффективных вариантах исследований динамическая система рассматривается в развитии причинно-следственного процесса фрагментации детерминистического и стохастического моделирования. Согласование этих взаимодополняющих подструктур в общем алгоритме позволяет решать локальные задачи как связанные разделы проблемы. Однако комплексные подходы в настоящее время реализованы лишь в исследованиях объектов, сложность которых существенно ниже ЭО. Такие упрощенные аналоги могут лишь указывать на

принципиальную возможность реализации гибридных подходов в анализе ЭО, но их осуществление требует преодоления значительных трудностей.

Методы экспертных оценок в практике исследований ЭО являются скорее доминирующей альтернативой, чем дополнением к численным методам [1]. Такому положению способствует наличие развитой базы теоретико-множественных экспертных подходов, различных по чувствительности упорядочения объектов по предпочтению.

Однако этап преобразования "внешних" проявлений в "глубинные" показатели в варианте экспертных оценок может привести к существенным ошибкам, когда усредненные выводы оказываются даже хуже индивидуального прогноза. "Богатство" методов обобщения отдельных заключений может только завуалировать, но не исправить сравнительную "бедность" этого подхода: для условий ЭО точность варианта экспертных оценок может лишь приблизиться к точности численного моделирования.

Анализ и отбор исходных событий текущей эксплуатации ЭО или разработка проектов является основным содержанием первого этапа оценки рисков. Регламентирующая документация должна содержать полный перечень и параметры нагрузок и воздействий для детерминистических расчетов и исходных событий или отказов – для вероятностного варианта. Эти данные нормируются на основе статистических обобщений результатов прямых измерений, обследований и экспериментов по обширным группам однотипных объектов, однако здесь выявляются существенные недостатки регламентирующей документации. С одной стороны, начальные мероприятия должны быть реализованы в кратчайшие сроки и рассчитываются на сравнительно небольшой период действия ЭО. С другой стороны, необходимость удовлетворения требований норм учета маловероятных, но весомых негативных событий приводит к затратным проектам при сравнительно невысокой эффективности защитных барьеров.

Для устранения этих противоречий целесообразно исключать из рассмотрения исходные события, вероятность возникновения которых сравнительно невелика для плановых сроков существования ЭО. При определении ведущих критериев оценки рисков состояний ЭО используется "мягкий" вариант, сокращающий регламентированный список исходных событий. Однако такие предложения требуют серьезного обоснования, поскольку частотная компонента является лишь одним из двух ведущих сомножителей, используемых при определении функции риска. Если из списка исходных событий механически исключить все реализации, маловероятные для существования ЭО, то из анализа выпадут процессы, имеющие наиболее тяжелые последствия. Поэтому следует разработать несколько

различных по капитальности технических и технологических предложений и принимать управляющие решения только в результате анализа требуемых затрат и сроков реализации, а также оценки вероятности и тяжести негативных последствий, социально допускаемых в рассматриваемом варианте.

Обобщенная реакция ЭО на втором этапе анализа рисков определяется в результате моделирования развития штатных и экстремальных ситуаций процессов с негативными последствиями. Представляется ЭО в виде сложной комбинированной системы с высоким уровнем неопределенности характеристик составных элементов и узлов. Эти предпосылки определяют выбор основного варианта численного моделирования отказов и переходных процессов, приводящих к изменениям системы. В общем случае система составляется из элементов различной структуры, описывается связанными нелинейными динамическими разрешающими функциями разной физической природы. Используются гибридные численно-модельные расчеты компонентов ЭО и вероятностные оценки случайных воздействий и изменений характеристик при подтверждении результатов вычислений натурными данными по реперным узлам.

Основным средством анализа является метод конечных элементов, который приспособлен для определения сложных процессов деформирования. Для исследования массивных элементов и концентрации напряжений используется численно-аналитический метод потенциала. Нестационарное взаимодействие твердых тел с жидкостью или газом под действием быстро изменяющихся нагрузок описывается разностными методами численного моделирования полиагрегатных сред. Для учета параметров, задаваемых на основе статических обобщений, используется разветвление аппарата сочетания детерминистических и вероятностных подходов.

Оценки возможных негативных последствий и выработка управляющих решений завершают процесс анализа рисков. С этой целью моделируются характерные варианты реализации исходных событий с развитием процессов, приводящих к аварийным отказам компонентов системы ЭО.

Примером ЭО является ОУ, которому в полной мере присущи свойства таких объектов. Система характеризуется высоким уровнем рисков реализации комплекса опасностей. Значительная часть ОУ состоит из элементов разрушенного четвертого блока, и безопасность системы во многом определяется надежностью ее конструкций, обрушение которых может привести к изменению конфигурации ядерноопасных материалов, к выбросу радионуклидов в окружающую среду и к другим негативным последствиям. Объект не

соответствует требованиям нормативных документов. Для его расчета нельзя применять стандартные процедуры расчета конструкций. Для выяснения уровня негативного потенциала ОУ необходима модернизация отраслевых методик. Доминантой ОУ согласно его статуса является первоочередная задача приведения аварийного блока в контролируемое состояние, необходимое для обеспечения ядерной и радиационной безопасности [1]. Основной ее компонент – стабилизация структуры или использование таких технологий ликвидации опасностей ОУ, при которых обрушение конструкций не вызовет существенных негативных последствий.

Для иллюстрации представляется один из характерных параметров использования анализа ЭО – оценки результатов падения летательного аппарата на ОУ.

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

Доминирующие в настоящее время методы экспертных оценок и ряда других стандартных подходов [1] не позволяют получать количественные оценки рисков, отражающие реальное состояние ЭО. Опасность их использования заключается в возможности занижения уровня рисков эксплуатации ЭО, что иногда находит отражение даже в официальных документах.

Для анализа безопасности ЭО целесообразно использовать системный подход, в котором ЭО описывается многоуровневой структурой и связанными задачами различных отраслей. Эффективность оценки риска достигается рациональным сочетанием детерминистических и вероятностных методов численного моделирования с целенаправленными натурными обследованиями и испытаниями ЭО при минимизации экспертных оценок.

Целесообразность такого подхода обосновано в результате выполнения полного регламентированного цикла пионерных исследований безопасности ОУ.

Список литературы

1. *Отчёт* по безопасности (оценка риска) объекта "Укрытие реактора №4 Чернобыльской АЭС" : (Отчет) / МНТЦ "Укрытие" по ген. договору 1/95, тема 4, арх. № 3501. – Чернобыль, 1995. – 291 с.
2. *Probabilistic Risk Assesment: Applications for Nuclear Reactor Inspection*// D.J. Kelly, T.J. Leahy etc. OCT. 1992, Idaho National Engintring Laboratories, Idaho Falls, ID. Prep. For the U.S. Nuclear Regulatory Commission under DOE contract №. DE-AC07-761DO1570. – 280 p.
3. *Верюжский Ю.В.* и др. Исследование и численное моделирование ответственных конструкций и грунтов основания объекта "Укрытие": (Отчет)/ НИИМБП в 10 книгах. – К., 1996.