

О СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ЯДЕРНЫХ РИСКОВ И БЕЗОПАСНОСТИ НА АТОМНЫХ СТАНЦИЯХ

Джура С.Г., Чурсинов В.И., Чурсинова А.А.

Донецкий национальный технический университет

ovs@pop.dgtu.donetsk.ua

The paper clearly shows that the problem of nuclear risks is the multi criteria one. It can be referred to the incorrectly formulated task which has many solutions or, in some cases, doesn't have any at all. The ways of its solving are demonstrated. However, it should be emphasized that all bright and proper trends don't have endless of application. Only one part of the problem could be partially solved by each of approaches.

В связи с чрезвычайной важностью проблемы оценки ядерных рисков и управления безопасностью атомными станциями, а также целым рядом нерешенных проблем в этой области требуется найти общие принципы, некие стратегические направления исследований, которые позволят решить или наметить пути решения целого ряда задач. К этим задачам относятся создание моделей человек-машина при управлении АЭС. Практика показывает, что большинство аварий на АЭС происходит по вине человека – порядка 80% и только остальные 20% по вине оборудования. На сегодня большинство исследований направлено на решение меньшей части проблемы и совсем мало сконцентрировано на большей. Поиску путей решения основной части проблемы посвящена эта статья.

Еще недавно в бывшем СССР считалось, что одним из критериев развития научно-технического прогресса должна стать гарантия отсутствия опасности и риска для людей. В 1985г. на Всесоюзной конференции по методологии законодательного нормирования вредных факторов приемлем риска как категории регламентации был заклеен как "придуманный в интересах монополий стран Запада для обмана своих народов". Термина "риск" нет в последних изданиях Большой советской энциклопедии и Советского энциклопедического словаря, в пятитомной Философской энциклопедии, в Философском энциклопедическом словаре, в изданном в 1987г. Словаре "Научно-технический прогресс" и т.д. Только сравнительно недавно вышел словарь-справочник [1], в котором дается определение риска как темпа реализации опасностей определенного класса. "Риск может быть определен, как частота (размерность – обратное время) или как вероятность возникновения одного события при наступлении другого события (безразмерная величина, лежащая в пределах от 0 до 1)" [2].

В связи с тем, что проблема оценки ядерной безопасности многокритериальная, то и подходы к решению должны быть комплексные.

Системный анализ проблемы. Проблему оценки ядерной безопасности можно разбить на следующие задачи:

Построение модели риска аппаратной части АЭС.

Построение модели и определение риска совершить ошибку оператором (человеческий фактор). Эта проблема распадается на оценку психологической готовности оператора (работа психолога), подбора личного состава (медика), инженера, специалиста в области инженерной психологии, математика.

Создание модели "человек-машина".

Системный синтез.

Существо дела можно пояснить на примере концептуальной модели, возникшей вначале в совершенно конкретном контексте. Зададим общий вопрос – почему нам что-то удается описывать и предсказывать? В самом деле, человек "с технической точки зрения" сильно проигрывает ЭВМ. Скорость срабатывания нервных клеток – нейронов – у него в миллион раз меньше, чем у триггеров в персональном компьютере. Информация передается в нервной системе тоже в миллион раз медленнее, чем в вычислительной машине, поскольку связана и с электрическими и с химическими процессами. Да и "выходные параметры" у человека достаточно скромный. По данным психологов он может следить не более чем за семью непрерывно меняющимися во времени величинами, эффективно работать не более, чем с 5-7 людьми. Вместе с тем многие задачи человек решает гораздо лучше компьютера. Можно только удивляться тому, что понадобилось почти полвека интенсивного развития вычислительной техники, чтобы машины начали уверенно обыгрывать людей в шахматы.

Это означает, что наше мышление, восприятие, способность предвидеть опираются на иные, "некомпьютерные" алгоритмы. В отношении их была высказана следующая гипотеза. Рассмотрим фазовое пространство, в котором лежат переменные, описывающие нашу реальность. Оно очень велико и принять во внимание все переменные в нем человек не в силах. Но, очевидно, есть ситуации, области в фазовом пространстве, где для того чтобы понимать и предсказывать происходящие, достаточно несколько параметров. Другими словами, иногда существуют проекции на подпространство меньшего числа переменных, которые адекватно отражают происходящее во всем огромном пространстве переменных. Эти подпространства были названы руслами.

Размерность русла (т.е. число переменных в этой проекции реальности) невелико. Психологи говорят о семи переменных, но наш читатель знает, что вообразить себе нетривиальный четырехмерный объект уже не просто.

И если у нас для описания реальности есть подходящее русло, то тут можно строить достаточно простые и эффективные теории, понимать происходящее, просчитывать варианты, находить эффективные поведенческие стратегии. В синергетике эти наиболее важные переменные, характеризующие русла называют параметрами порядка.

Естественно, накопление опыта имеет прямое отношение к системному синтезу, к своеобразной самоорганизации в пространстве знаний и навыков. Сейчас математика позволяет выявить, какими категориями и "внутренними решающими правилами" пользуется опытный врач. Как они могут измениться после консилиума и обсуждения с коллегами, каково "русло", которое сформировалось в ходе многолетней практики. Заманчиво было бы учиться быстрее и лучше и главное – тому, что надо. Впрочем, и понимание механизмов системного синтеза нельзя сбрасывать со счетов /3/.

Использование нейросетей. Как ищут русла живые системы, как научить этому нейронные сети – это, на наш взгляд, фундаментальная задача нейронауки. (Нейронаукой все чаще называют междисциплинарный подход, родившийся на стыке когнитивной психологии, нейробиологии, вычислительной математики, теории рефлексивного управления, нейрофизиологии, других дисциплин, направленный на выявление механизмов работы мозга, моделирования элементов мышления, объяснение феномена сознания.) Другими словами там, где дело касается русел, сложные системы удается описывать просто.

Синергетический подход. Синергетика решила множество задач, в которых понятно, каковы эти параметры для различных физических, химических или биологических системы, как искать связи между этими параметрами, как "на пальцах" пояснить происходящее, не выписывая каких-либо уравнений.

Поскольку речь идет о выявлении и использовании общих закономерностей в различных областях, то этот подход предполагает междисциплинарность. Последнее означает сотрудничество в разработке синергетики представителей различных научных дисциплин.

В синергетике нет простых и ясных рецептов, что и как надо считать. Она, скорее, помогает задавать вопросы, искать системы, которые могут обладать необычными свойствами, выделять общие черты в конкретной задаче. Разумеется, в ней есть и концепции, и понятия, и модели, и аппарат. Но применимы ли они к той проблеме, с которой пришел в синергетику исследователь или которую он собирается поставить, обычно совершенно не ясно. В "хороших науках" дело обстоит не так – если есть задача в задачнике, то точно все должно быть применимо. И дело только в изобретательности и настойчивости применяющего. Во-вторых, междисциплинарность подразумевает два этапа. На первом специалист из какой-то области обращается к идеям и представлениям синергетики. Применяет их к своей проблеме. Это удается очень многим. На втором этапе он возвращается с полученным результатом в свою область и убеждается сам в нетривиальности последнего и демонстрирует ее коллегам. Со вторым этапом справляется гораздо меньшее количество ученых. "Искусству задавать вопросы" научить намного труднее, чем "искусству получать ответы". Первое в гораздо большей степени зависит от научного и общекультурного контекста, с которым работает ученый. Как говорят филологи и специалисты по машинному переводу, текст обычно содержит лишь 10% информации, 90% определяется контекстом, который мы привносим, воспринимая сообщение. По-видимому, этот синергетический эффект относится и к научному творчеству. С другой стороны, междисциплинарные подходы очень обогащают тот контекст, в котором работает ученый /4/.

Более подробно использование синергетики для энергетики описано авторами в работе /5/.

Использование теории катастроф. Как показывает опыт, серьезные успехи в прикладной науке и технических дисциплинах часто являются результатом применения новых математических идей и методов. Можно с уверенностью утверждать, что активно развивающаяся в последние годы прикладная математическая теория – теория катастроф – в сочетании с современными методами системного анализа станет полезным и эффективным средством качественного анализа различных процессов, включая такие сложные, которые рассмотрены в статье /6/.

Марковская модель безопасности АЭС. Концепция глубокоэшелонированной защиты предусматривает общую стратегию мер и средств безопасности на атомных электростанциях. Она гарантирует, что ни одна единичная ошибка человека или механический отказ не ведет к ущербу для населения и даже комбинации отказов, являющиеся маловероятными, не приводят к какому-либо значительному ущербу. АЭС как заверченный, сложный технический объект хорошо вписывается в окружающую среду, не нарушая экологии, и приносит хороший доход ее владельцу. Единичные ошибки человека или механические отказы оборудования в вероятностном анализе безопасности (ВАБ) рассматриваются как случайные процессы /10/. Под безопасностью будем понимать свойство объекта не допускать ситуаций, опасных для людей и окружающей среды /8/. Аварии на АЭС с некоторой степенью приближения можно представить, как случайный процесс совпадения в пространстве и времени конечного числа случайных событий, имеющих различную частоту появления и длительность существования /9/.

Такой подход к решению проблем по обеспечению безопасности. АЭС позволит оценить уровень его безопасности и определить, при какой надежности средств защиты и сроков их профилактики частота появления аварий на данном технологическом объекте будет величиной маловероятной, т.е. интенсивность аварий (степень риска) $H_1 \leq 1 \cdot 10^{-6}$ 1/год /10/.

В работах /11, 12/ предложена методика оценки надежности (безопасности) структурно-сложных систем, элементы которых могут находиться в трех состояниях: нормальная работа, отказ типа «обрыв линии» и отказ типа «короткое замыкание».

Остаются нерешенными класс задач комплексного системного подхода к проблеме. Так сделаем в этой статье постановку задачи определения модели системы «человек-машина» и проведем ее анализ на предмет возможности решения проблемы в целом.

Ошибка персонала — единичное непреднамеренное неправильное воздействие на управляющие органы или единичный пропуск правильного действия; или единичное непреднамеренное неправильное действие при техническом обслуживании оборудования и систем, важных для безопасности.

Это случайная механическая ошибка, совершаемая в результате какого-либо неверного действия или пропуска правильного действия.

Возможность совершения ошибки устанавливается в результате анализа руководства по действиям персонала в тех или иных условиях.

Ошибочное решение - неправильное непреднамеренное выполнение или невыполнение ряда последовательных действий из-за неверной оценки протекавших технологических процессов.

Это является логической ошибкой оператора или другого исполнителя работы, влекущая за собой целую последовательность неправильных действий, составляющих алгоритм ошибочного решения, реализуемый в соответствии с технологическим регламентом и инструкциями по эксплуатации.

Как следует из определения, ошибки человека обусловлены нежелательным действием или бездействием, возникающим по ряду причин: не тот порядок действий, несвоевременные действия, незнание того, что нужно сделать; плохое оборудование, плохие процедуры. В результате ошибок люди и оборудование подвергаются риску.

В работе /13/ предложена поведенческая модель человека для моделирования на компьютерах.

Блоками на рисунке выделены процессы, соответствующие физическим особенностям мозга человека и имеющие реальные кибернетические модели. Информация через пять органов чувств человека поступает в блок кратковременной памяти, где происходит ее объединение в виде процесса восприятия. Затем через блок выбора она поступает в память. Память условно разделена на рабочую, где происходит обработка информации, и долгосрочную память.

При моделировании процесса выработки решения учитываются реальные характеристики памяти и ограничения. К ним относятся прежде всего ресурсы памяти, ограниченный объем рабочей памяти, непродолжительное время нахождения информации в рабочей памяти, индивидуальные особенности памяти и реакции. Известно, например, что для рабочей памяти оптимальным является объем информации, состоящий из 7 ± 2 различных "пакетов", время сохранения "пакетов" в рабочей памяти 30-40 с. Человек может воспринимать и работать с ограниченным количеством информации. Если число поступающих сигналов велико, происходит избирательность восприятия информации.

Изучены также различные внутренние и внешние факторы, способствующие или мешающие процессу восприятия, и элементы "контекста".

К внутренним факторам, определяющим процесс принятия решения и, следовательно, действия оператора, относятся: умственные способности, способности удерживать в памяти информацию, знания и навыки, особенности реакции. Эти факторы индивидуальны. Влияние стресса чаще всего также относят к внутренним факторам. Внешние факторы — это:

- Характер и тип оборудования.
- Условия окружающей среды.
- Сложность задачи.

Как видим, существует привыкание к шуму в течение 20-30 мин, но количество ошибок при этом намного больше.

"Контекст" авторы [14] определяют как психологические факторы, зависящие от прошлого опыта оператора. Это: прошлый опыт; подготовка, эвристический подход; ситуационное окружение; цели и конечные задачи деятельности.

Для анализа путей возникновения ошибок оператора важное значение имеет представление человеко-машинной системы, схематично изображенной на рис. 1.

Из рис. 1. следует, что пути ошибки не всегда зависят от человека, а зачастую происходят от неправильных измерений, индикации, неэффективного управления. Система представления информации человеку и возможности управления (организация органов управления) в технике имеет специальный термин — интерфейс (Human — Machine Interface — HMI). Очевидно, что эффективность управления и количество ошибок операторов зависят от интерфейса. На рис. 1 эта система условно изображена двумя вертикальными линиями.

Методы анализа и учета человеческого фактора. - В США разработано и внедрено в практику анализа ошибок оператора несколько методик. Наиболее распространенные из них:

- THERP - Определение значимости ошибок человека в технике - Technique for Human Error Rate Prediction.
- HCR - Надежность человека как функция его способностей - Human Cognitive Reliability.
- SLIM - Метод индексов вероятности успеха — Succes Likelihood Index Method.
- DNE - Прямые числовые оценки-мнения (экспертные оценки) - Direct Numerical estimation.

MAPPS - Метод моделирования действий (ошибок) при техобслуживании Maintenance Personnel Performance Simulation.

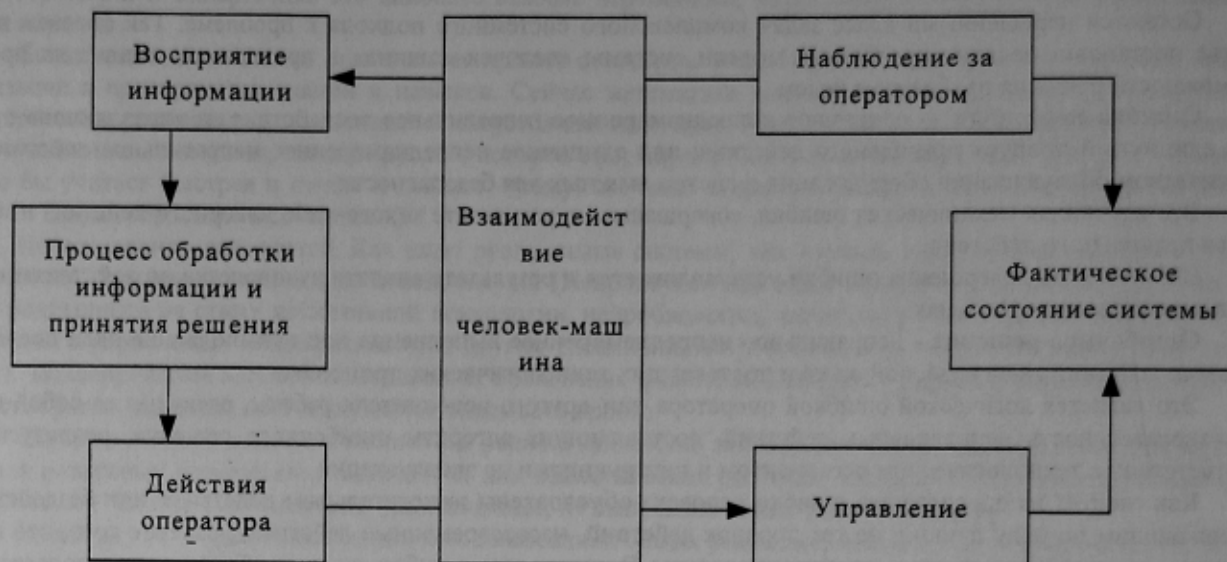


Рис. 1. Система человек-машина

Выводы. Проблема оценки ядерных рисков многокритериальная. Показаны пути ее решения. Однако из всех направлений, нужно отметить не одно не имеет бесконечной области приложений и только та или иная часть проблемы может быть частично решена каждым из подходов. Перспективным видится подход разбиения проблемы на части (системный анализ), и если не получается решить проблему в целом, то путем внесения некоторых допущений все же получить решение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кармазинов Ф.В., Русак О.Н., Гребенников С.Ф., Осенков В.Н. Безопасность жизнедеятельности: словарь-справочник. - СПб.: Издательство «Лань», 2001. - 304 с.
2. Ваганов П.А. Ядерный риск. - СПб.: Издательство С.-Петербургского ун-та, 1997. - 112 с.
3. Синергетика и прогнозы будущего. Серия "Синергетика: от прошлого к будущему". Изд.3.2003. 288 с. "Еditorиал УРСС" Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.
4. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Новое в синергетике: Взгляд в третье тысячелетие. - М.: Наука, 2002. - 478с.
5. Апухтин А.С., Джуга С.Г. Синергетический подход к энергетике // сб. трудов ДонНТУ вып. 28., серия «Электротехника и энергетика». - Донецк, ДонНТУ, 2001. - с. 110-113.
6. Курдюмов С.П., Князева Е.Н. Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. - СПб.: Изд-во: Алетейя. - 414 с.
7. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент (Введение в нелинейную динамику). Изд.3.2002.. "Еditorиал УРСС"- 256 с.
8. Надежность систем энергетике. Терминология: Сборник рекомендованных терминов / АН СССР, комитет научно-технической терминологии. Научный совет по комплексной проблеме энергетике. - М., 1980. -Вып. 95. - 44с.
9. Ковалев А.П. О проблемах оценки безопасности электрических объектов / Электричество, №8,1991. - с. 50-54.
10. Ковалев А.П., Шевченко О.А. О вероятности возникновения аварий на промышленных предприятиях при эксплуатации электрооборудования. Материалы международной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности - 2000». - Алчевск: ВОМАНЭБ, ДГМИ, 2000. - 205 с.
11. Ковалев А.П., Спиваковский А.В. О преобразовании «звезда-треугольник» при расчетах надежности сложных по структуре схем / Электричество, №10, 1998. - с. 70-74.

Надано до редакції:
Рекомендовано до друку:

10.10.2003
д.т.н., проф. Ковальов О.П.