

## О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

А.В. Обручников (НТЦ ЯРБ)

Под понятием “безопасность” в нормативных документах понимается состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, как указано в Законе Российской Федерации “О безопасности” [1]. В качестве жизненно важных интересов выступает совокупность потребностей, удовлетворение которых надежно обеспечивает существование и возможности прогрессивного развития личности, общества и государства.

Антоним понятия “безопасность” – понятие “беззащитность” как состояние незащищенности жизненно важных интересов субъектов от внешних и внутренних угроз.

В зависимости от специфики рассматриваемых угроз в различных законодательных актах дается определение того или иного вида безопасности:

- радиационная безопасность населения (или радиационная безопасность) состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения [2];
- пожарная безопасность – состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров [3];
- промышленная безопасность опасных производственных объектов (или промышленная безопасность) – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий [4];
- экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий [5].

Как видно из представленных определений понятия “безопасность”, оно относится только к состоянию потребностей живых существ.

С точки зрения системного анализа личность, общество и государство (как совокупность субъектов) представляются в зависимости от цели отражения (моделирования) в виде сложных открытых динамических систем [6]. При этом наиболее адекватно (по отношению к реальному объекту) понятие “безопасность” будет отнесено к состоянию системы, образованной при моделировании жизненно важных потребностей личности или общества. С большими допущениями понятие “безопасность” может являться свойством какой-либо системы, внешней по отношению к субъекту (т.е. не включать его).

Рассматривая исследуемую систему с точки зрения безопасности субъекта, можно использовать термин “безопасное состояние” как состояние, при котором не уменьшена ниже определенного предела защищенность жизненно важных интересов субъекта. Состояние системы при нарушении жизненно важных интересов субъекта в работе [7] определено как “опасное состояние”. Событие перехода системы из безопасного в опасное состояние определяется как “авария”.

Обычно системный анализ проводится для прогноза свойств системы.

Авторами монографии [8] процесс функционирования системы  $S$  описывается во времени оператором  $F_s$ , который преобразует независимые переменные в зависимые в соответствии с соотношением (1):

$$\vec{y}(t) = F_s(\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t), \quad (1)$$

где  $\vec{x}$  – вектор входных воздействий;  $\vec{v}$  – вектор воздействий внешней среды;  $\vec{h}$  – вектор внутренних параметров системы;  $\vec{y}$  – вектор выходных характеристик системы.

Соотношение (1) может быть задано различными способами: аналитически (с помощью формул), с помощью графиков, таблиц и т. д. Такие соотношения называются состояниями системы для конкретного момента времени.

Если рассматривать процесс функционирования системы как последовательную смену состояний, характеризующихся векторами:

$$\vec{z}' = (z'_1, z'_2, \dots, z'_k), t' \in (t_0, T),$$

$$\vec{z}'' = (z''_1, z''_2, \dots, z''_k), t'' \in (t_0, T),$$

то вектор выходных состояний системы может быть представлен в виде:

$$\vec{z}(t) = \Phi(\vec{z}^0, \vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t), \quad (2)$$

а вектор выходных характеристик как:

$$\vec{y}(t) = F(\vec{z}, t). \quad (3)$$

Уравнение (2) устанавливает связь между начальными характеристиками состояния системы  $\vec{z}^0$ , экзогенными (независимыми) переменными  $\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}$  и вектор-функцией  $\vec{z}(t)$ . Уравнение (3) связывает значения состояний  $\vec{z}(t)$  с эндогенными (зависимыми) переменными на выходе системы  $\vec{y}(t)$ .

Представленная последовательность уравнений (вход–состояние–выход) позволяет определить характеристики системы:

$$\vec{y}(t) = F \left[ \Phi(\vec{z}^0, \vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t) \right]. \quad (4)$$

Факторами, значительно осложняющими прогноз состояния системы, являются вероятностное во времени представление вектора  $\vec{v}$  и невозможность прогноза во времени вектора  $\vec{h}$ . Невозможность прогноза во времени вектора  $\vec{h}$  обусловлена наличием у объекта состояний бифуркации и положительных обратных связей, причем более сложен анализ состояния объекта при наличии положительных обратных связей.

Наличие в структуре объекта положительных обратных связей или возможность их образования в ходе эволюции объекта может привести к тому, что при воздействии на объект или в результате его эволюции могут возникать состояния объекта, которые практически невозможно предсказать логическим путем (в отличие от реализации состояния бифуркации).

Самым минимальным последствием перехода объекта в не предусмотренное проектом и логически не предсказуемое состояние является локальный рост энтропии и образование хаоса (пусть даже в локальном масштабе).

Из работы [9] известно, что у объектов, представляемых в виде открытых систем, находящихся в состоянии хаоса, возникают временно упорядоченные структуры с переносом энергии в окружающее пространство. Следствием переноса энергии может быть механическое воздействие или, что обычно имеет бо-

лее разрушительные последствия, возникновение ошибок управления (несоблюдение регламентов, потеря управления, неадекватность реакции у персонала и т. д.). Такие последствия в большинстве случаев приводят к образованию структур с положительными связями, что значительно усугубляет последствия. Упорядоченное строение хаотической области чаще всего определяется действием каких-либо сил, имеющих внешнюю по отношению к объекту глубинную природу (силой тяжести, магнитным полем Земли, базовыми инстинктами человека и т.д.).

При использовании системного анализа для исследования объектов атомной промышленности, создание и ввод в эксплуатацию которых жестко регламентированы, можно полагать, что исходное состояние системы обладает проектными характеристиками  $\vec{z}^0$ . Из этого следует, что объект, представляемый в виде системы, имеет исходное безопасное состояние, обусловленное решениями (техническими и организационными), заложенными в проекте объекта и реализованными при его строительстве и введении в эксплуатацию. Учитывается и проведенная после создания объекта доработка проекта.

Параметром, который может быть использован для измерения\* степени отдаленности безопасного состояния проектируемого или вводимого в эксплуатацию объекта от опасного состояния, может являться рассматриваемая в статье [11] вероятность нарушения пределов и условий его безопасной эксплуатации. Методическая сторона нахождения этой вероятности достаточно хорошо разработана в ВАБ (PSA) – вероятностном анализе безопасности, что рассмотрено в работах [12, 13]. Сравнивая величины вероятности нарушения безопасной эксплуатации, полученные при анализе систем, можно обоснованно выбрать как конкурирующее проектное решение, так и оптимальный вариант технического решения в проекте.

Для объекта, находящегося в эксплуатации, поддержание его безопасного состояния посредством постоянного исследования свойств системы с проведением ВАБ и коррекции параметров состояния объекта является даже теоретически невозможной задачей из-за существования фундаментального принципа неопределенности.

Поэтому принято обеспечивать безопасность на производстве установлением эксплуатационных пределов и условий для наиболее опасных участков, оборудования и т.д., а также контролем медицинских параметров заступающего на работу персонала. В случае несоблюдения эксплуатационных пределов и условий или пределов безопасной эксплуатации включается сигнализация и/или останавливается технологический процесс. Большое значение для обеспечения безопасного состояния объекта имеет проектирование оборудования и технологических процессов с применением принципа внутренней самозащищенности.

Такой подход позволяет достаточно эффективно обеспечивать безопасное состояние промышленных объектов, несмотря на увеличение их энергонапряженности и сложности реализуемых на них технологических процессов.

Однако одновременно с усложнением производственных объектов происходит рост требований к обеспечению безопасности и снижению числа аварий. В связи с этим перечисленные выше меры становятся недостаточными из-за их статичности.

---

\* Измерение – это алгоритмическая операция, которая данному наблюдаемому состоянию объекта ставит в соответствие определенное обозначение: число, номер, символ. Определение приведено авторами работы [10].

Анализ аварий показывает, как отмечено в работе [14], что коренной причиной большинства аварий, происходящих в настоящее время, становится низкая эффективность управления и прямо проистекающий из нее так называемый человеческий фактор.

Решением возникшей проблемы могло быть введение каким-либо способом непрерывного контроля за текущими параметрами  $\vec{v}$  и  $\vec{h}$  (2). Тогда при известном  $\vec{z}^0$  можно было выполнить оперативный прогноз в направлении эволюции системы (и предположительно объекта) и предпринять меры с помощью средств автоматизации или экстренного управления по недопущению перехода системы (объекта) в опасное состояние.

Очевидно, что непрерывный контроль за внешними воздействиями и состоянием в каждой точке системы невозможен. Однако решение проблемы может заключаться в применении следствия из закономерности, сформулированной У.Р. Эшби и получившей название “закон необходимого разнообразия” [15]. Это следствие автором работы [16] формулируется следующим образом: “...создавая систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным, известным разнообразием (сложностью), нужно обеспечить, чтобы система имела еще большее разнообразие (знания методов решения), чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать в себе это разнообразие...”

Использование приведенного следствия из закона Эшби для получения информации об отклонении состояния системы от режима нормальной эксплуатации предполагает создание или наличие подсистемы, способной воспринимать параметры состояния системы, обрабатывать их и переводить результат в информационную форму, подлежащую передаче и обработке в специальном центре управления. Сложность достижения поставленной перед подсистемой цели и условия функционирования подсистемы позволяют определить вид этой подсистемы. Последняя не может быть техническим устройством. Единственным объектом, который может быть представлен в виде подсистемы с такими возможностями, является человек. Предполагается использование не только свойств человеческого сознания, а, в первую очередь, использование его подсознания.

Если при подготовке и тренировке у персонала будет выработан некоторый психофизический образ состояния нормальной эксплуатации подсистемы или элемента, то несоответствие этого образа и образа, синтезированного человеком на основе ощущений, приведет к появлению физиологических реакций (увеличение частоты сердечных сокращений, давление крови, потоотделение, изменение электропроводности участков кожи и др.). Физиологические реакции организма могут быть легко преобразованы в электрические сигналы и восприняты управляющей системой.

Можно предположить, что увеличение частоты изменения сигнала от индивидуума и рост потока сигналов от персонала, находящегося в определенном месте объекта, будут свидетельствовать о нарушении нормальной эксплуатации и эволюции системы в направлении опасного состояния.

Для удобства контроля за системой можно использовать параметр – дистанцию текущего состояния системы от опасного состояния. Этот параметр определить как долю текущего физиологического параметра у персонала от величины этого параметра в состоянии паники. Однако это требует дальнейшего изучения и экспериментального подтверждения.

На основе приведенного выше подхода для контроля состояния системы можно предложить сравнительный интегральный критерий, характеризующий безопасность различных производственных объектов:

$$S(t) = S_f + S_p(t), \tag{5}$$

## Статьи

где  $S_f$  – проектная частота нарушения пределов безопасной эксплуатации объекта, событий/год;

$S_p(t)$  – частота реализации на объекте панического состояния персонала, событий/год. Причем

$$S_p(t) = \sum_N S_p(t)_i \quad (6)$$

является суммой событий за рассматриваемый период.

## Литература

1. Закон Российской Федерации “О безопасности” от 6 мая 1992 г. № 2446-1.
2. Федеральный закон “О радиационной безопасности населения” от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ.
3. Федеральный закон “О пожарной безопасности” от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ.
4. Федеральный закон “Об охране окружающей среды” от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ.
5. Федеральный закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ.
6. Двинских С.А., Бельтюков Г.В. Возможность использования системного подхода в изучении географических пространственно-временных образований. Иркутск, Из-во Иркутского университета, 1992.
7. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000.
8. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 2005.
9. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1988.
10. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М.: Высшая школа, 1989.
11. Гордон Б.Г. Об использовании понятия риска в различных отраслях промышленности//Вестник Госатомнадзора России. 2003. № 1.
12. Procedures for conducting probabilistic safety assessment for non-reactor nuclear facilities. IAEA-TECDOC-1267. Vienna: IAEA.
13. Швыряев А.В. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения. М.: ИАЭ им. Курчатова, 1992.
14. Мусаев В.К., Замышляев Б.В., Кловач Е.В. и др. Анализ потенциальных опасностей и нормативной базы в высокорисковых отраслях и объектах гражданского комплекса//Сборник “Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях”. М.: ВИНТИ, 2001, выпуск №1.
15. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М.: ИЛ, 1959.
16. Волкова В.Н. Системный анализ и принятие решений. М.: Высшая школа, 2004.