

ИМИТАЦИОННОЕ НЕСТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ СБЛИЖЕНИЙ МОРСКИХ СУДОВ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Е.А. Куклев (Санкт-Петербург)

Введение. Понятие безопасности систем в мировом техническом сообществе из определения простого символа типа «заклинания» перешло в научную категорию в связи с выявлением серьезности проблемы «редких событий, которые возникают с вероятностью почти - ноль» (по ИКАО и NASA) и ИМО [1-3]. Причиной катастроф являются "системные ошибки", которые удастся оценить только на основе моделей исчисления рисков возникновения негативных событий, определяемых на «хвостах» распределений плотности вероятности появления редких событий, по которым не существует достоверной статистики [2].

События «опасные сближения» являются редкими, для которых традиционные показатели возможности непредсказуемого возникновения, являются неопределёнными. При этом математические ожидания, дисперсии и плотности распределения вероятности физических параметров и другие характеристики являются недостоверными из-за неустойчивых статистик. Значения ряда динамических величин, определяющих сближения морских судов, лежат на хвостах распределений, поэтому приходится естественно переходить к методам типа «Fuzzy Sets» [2].

Предлагается применить метод динамического моделирования, который отражает способ FMEA [4] и позволяет оценить проактивно критичность сценариев событий в процессах функционирования управляемых систем без применения вероятностных показателей. Это даёт альтернативу к методу ВАБ [3], который «не работает» при редких событиях. При этом категория «риск» определена, согласно работам ИПУ РАН [5], как мера опасности (по Малинецкому Г.Г.) для сценариев (по Кульбе В.В.), приводящих к точкам «уязвимости» и «окнам уязвимости». При этом понятие «риска» не может трактоваться как «вероятность», что абсурдно при редких событиях [2]. Определение риска формулируется в соответствии со здравым смыслом, например "по Oxford" [6]. Этому соответствует новая классификация взаимосвязи основных терминов в теории безопасности систем («безопасность», «опасность», «угроза», «уязвимость» и т.д.). Вводится формула оценивания интегральной величины риска. В качестве примера могут быть представлены некоторые результаты, почерпнутые из сферы гражданской авиации, где подобные «нормы» даны по классификации ИКАО (NASA), аналогично ИМО.

Причина аварий – цепочка событий или сценарий с попаданием системы в опасное состояние, вероятность возникновения которых совершенно не имеет никакого значения, если ущерб от аварии значимый и недопустим для пользователей систем [2].

Некорректно вводить по аналогии с надежностью «Среднее время до катастрофы» в случае редких событий и пр.

Задача обеспечения безопасности переходит в сферу поиска новых программ определение уровней безопасности эксплуатации морских судов (и промышленной безопасности при проектировании судов). Так, в публикации [7] предлагается экспертно «угадывать» вероятности возникновения редких событий, что противоречит аксиоматике вероятностных пространств по Колмогорову А.Н. [2,9]. Подобные утверждения представлены также и в стандартах РЖД, указанных в [10].

Безопасность систем может быть обеспечена в рамках приемлемых требований только путем снижения рисков возникновения катастроф на основе методов управления рисками с учетом факторов рисков в соответствии с методами теории

системной безопасности [1,2] и применения SMS (SMS – Safety Management System) [1].

Основная задача, связанная с поиском «окон уязвимости», вытекает из сущности методов многокритериальных оценок свойств систем единого обобщенного показателя типа «эффективность», «надежность», «безопасность», «уязвимость», «приемлемость», «экономичность», «эргономичность», «конкурентно – способность» и т.п. Известно, что наиболее распространенным подходом к решению подобных задач является метод поиска средне – взвешенных оценок [3] на множестве аддитивных показателей значимости инициирующих факторов.

$$K_{\Sigma} = \langle K1, K2 \rangle \quad (1)$$

Но трудность состоит в том, что ряд таких факторов показателей качества типа $K1$ и $K2$ не создают топологического пространства и образуют кортеж, но не вектор. Поэтому взвешенная сумма не даёт корректную значимость вследствие весьма сложного понятия безопасности процессов маневрирования судов, определяемых на основе традиционных концепций «риска».

В связи с этим ниже предлагается схема альтернативного применения методов Fuzzy Sets для решения сформулированных вопросов с помощью СУБ типа SMS-B на основе общей теории системы [1, 2] при условиях:

- не существуют м.о. и дисперсии величин, характеризующих бифуркации процесса;
- не известны п.р.в. и ф.р.в. ни в аналитической форме, ни в форме гистограммы.

1. Концепция редких событий в ТСБ

Термином ТСБ обозначено название «Теории системной безопасности», в которой даются основы построения СУБ нового типа в форме СМС-Б для комбинации методов ТН, ВАБ и Fuzzy Sets. В ТСБ показано, что понятие «безопасность» определяет объективность особых свойств редких событий, изучаемых при оценивании безопасности систем. Из положений классической теории надежности (ТН) [3] вытекает то, что первый параметр $K1$ для главного события (существования «функциональности систем») численно близок к "1", т.к. система является высоконадежной. Но тогда вероятность обратного события $A(t)^*$, изучаемого с помощью $K2$, будет объективно всегда близка к "нулю", статистика по подобному событию будет недостоверной вследствие малого объема необходимой для этой задачи информации.

К подобным «редким» событиям можно отнести катастрофы и аварии или серьезные происшествия на морском транспорте и в гражданской авиации. Последствия от событий типа катастроф оказываются весьма значимыми, что требует для определения $K2$ иного подхода, отличного от принятого в ТН в виде ВАБ [3].

Пример последствий от катастрофы вследствие неопределенности информации о положении транспортных объектов представлен на рисунке 1.

ГРАЖДАНСКАЯ АВИАЦИЯ
(Самолёт Ан-12 на рисовом поле –
из архива Гипича Г.Н.)



МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ
(Лайнер «Коста Конкордия» на рифах
– из Интернета)



Виды транспорта разные – результат одинаковый:
- катастрофы, аварии, редкие события "**вероятность почти–ноль**"
Причины: одинаковые – **отсутствует проактивное управление рисками**

Рис. 1 – Примеры транспортных катастроф

Возникает необходимость в разработке нового подхода, предложенного в данной работе применительно к анализу причин возникновения катастроф. При этом рассматриваются некоторые модели катастроф, отражающие свойства редких событий в технических системах со структурами соединения элементов надежности, определенных на булевых решетках [1]. Катастрофы с «синергетической природой происхождения» (по Арнольду В.И.) не рассматриваются [1].

Предлагается использовать дополнения к основным позициям классической ТН в области изучения редких событий. Рассматриваются так же, как и в ВАБ [3], отказы, но только типа функциональных отказов $A(t)^*$, обратных в логическом смысле главному событию $A(t)$ (множеству событий) – нормальному функционированию в штатном режиме. Однако, вместо "вероятностей" в системе с генеральной совокупностью событий предлагается искать условия «потери свойства функциональности» в некотором условном бинарном пространстве исходов из состава «вероятностного пространства» Колмогорова А.Н., но исключительно для частного множества из σ -алгебры [2], дополненные соглашениями из концепции Fuzzy Sets. Изложенная схема – это пока единственная схема решения рассмотренных задач, поскольку типовые по ВАБ вероятностные расчеты по оценке значимости риска произвести невозможно.

В указанно схеме способ оценки риска дает меру опасности или меры возникновения предполагаемого (возможного) негативного события, которое еще не произошло, но может произойти при выявленной угрозе, т.е. при известных четко определенных источниках опасностей. Эталоном для этого подхода может служить трактовка физического смысла опасности в следующем виде, принятом в самых разных документах как в технической, так и в финансовой сфере, в виде:

- «Опасная зона: Возможно падение предметов и нанесение травм персоналу и случайным посетителям».
- «Опасное сближение: Возможно соприкосновение морских судов с возникновением ущерба».
- (2)

В формуле (2) первичным является обнаружение существования источника опасности в виде каких-то физических объектов и условий, при которых по разным причинам возможно возникновение непредсказуемого по времени появления в будущем некоторого события.

2. Виды неопределенности информации в SMS-B

В теории системной безопасности могут быть выделены следующие группы видов неопределенностей (по функциональным признакам), которые дают ряд моделей

[1,4]: детерминированные; статистически определенные (четкие статистически детерминированные); нечеткие модели на нечетких подмножествах объектов. Например, событие еще не произошло, но если и произойдет, то возникнет ущерб с серьезными последствиями

Случайная величина – это неопределенная физическая величина, но измеримая и ее свойства статистически детерминированные и четкие [1,2]. Вероятность (модель Гаусса) – мера случайности возникновения события, определяющая в вероятностном смысле возможности появления события.

Подобная неопределенность типа «случайности» отражает свойство измеримости функций от случайного события, поскольку существует набор четких функций плотности распределения вероятностей, математическое ожидание, дисперсии и т.д. при достоверной статистике.

3. Общая схема выявления рисков в SMS-B (по Fuzzy Sets)

Теория системной безопасности (ТСБ) определяется через показатели неопределенности по методологии Fuzzy Sets [2,5]. Концепция «риск – вероятность...» при вероятности редких событий «почти-ноль» полностью отвергается из-за ее практической неосуществимости [1-3].

Упреждающий процесс в SMS «по смягчению рисков» по ИКАО (NASA) осуществляется с помощью корректирующих воздействий на систему на основе соответствующих процедур по алгоритму NASA [2] в виде:

Угроза – рисковое событие – прогноз сценария событий, ведущих к катастрофе – опасное состояние (идентификация опасностей) – оценка риска – управляющее воздействие. (3)

Предупредительные (проактивные) управляющие решения находятся на основе категорий событий типа R , B . Значимость рисков предложено оценивать на основе 2-х мерной модели оценки риска (формулы – аналог концепции ИКАО, но в математическом виде [1 - 4]) по соотношениям:

$$\tilde{R} = (\mu_1, H_R | \Sigma_0), \quad (4)$$

$$\hat{R} = \hat{f}(\tilde{R} | \Sigma_0) = \hat{f}(\mu_1, H_R | \Sigma_0), \quad (5)$$

где (4) – это образ (или символ) опасности), (5) – мера риска 1-го рода, обозначающая неопределенность (или случайность) появления (возникновения) рискового события R_c с негативным результатом H_R , например [4]; H_R , – мера последствий или ущерба (цена риска - «тяжесть» вреда); Σ_0 - условия опыта или ситуация при эксплуатации системы (класс опасности и модель опасности системы и тип «сценария», дерево событий по образцу FMEA.

В SMS, по предложенному определению, для ситуаций с редкими событиями необходимо принять: «Риск – нечеткая мера количества опасности в состояниях СТС при выявленной угрозе и опасных факторах» (риск – «большой», «малый», «допустимый»). По «OXFORD»: «Risk – possibility of occurrences (harm, damage)» upon the hazards or threats in any prognosis conditions. Аналогично: «Шанс – нечеткая (прогнозируемая) мера количества «удачи»» в опыте или в состоянии системы при условиях для осуществления благоприятного прогнозного события B (шанс – «ничтожный», «малый», « мало шансов», ...):

$$\tilde{B} = (c_1, c_2, \tilde{V}_B | \Sigma_0), \quad \hat{B} = \hat{f}_B(\tilde{B} | \Sigma_0). \quad (6)$$

В связи с этим показатель типа: «вероятность непоявления катастрофы» при опасных сближениях морских судов полностью исключен из рассмотрения в ТСБ.

Из этого следует: «Недопустимо заменять нечеткое понятие «возможность», словом «вероятность», которая объективно численно (четко) не обнаруживается в ситуациях с редкими событиями» (т.е. теория вероятностей универсальная наука, если не существует «проблемы редких событий»).

4. Взвешивание рисков и шансов

Приемлемые решения по предупредительному управлению состоянием систем (проактивно) принимаются путем «взвешивания интегральных рисков» и «шансов» возникновения событий на нечетких подмножествах с помощью матриц рисков ИКАО (NASA) [2,4]. Применение матрицы анализа рисков по МЧС или ИКАО дается на основе интерпретации введенных понятий в рамках концепций по Fuzzy Sets (Малинецкий Г.Г. «Hard Tails» from Risk Theory – ИПУ РАН).

Заключение

В предлагаемом подходе альтернативно использован классический метод типа ВАБ (ничего радикального не выбрасывается, но главное найден способ гармоничного сочетания положений классической теории надежности и новых подходов. Научная проблема в (1), (2) состоит в построении функций оценок качества (3) от множества элементов в (2), не входящих в общем случае в векторные пространства, всюду плотные. В общем случае (нечеткие оценки и пр.) множества (2), (3) недопустимо приводить к скалярной векторной свертке, т.к. элементы (2) не образуют топологического пространства [1]. Методические положения теории нечетких множеств (и подмножеств) подходов в виде Fuzzy Sets позволяют преодолеть трудности решения проблемы редких событий в задачах по обеспечению безопасности полетов. Перспективным представляется внедрение в сфере морского транспорта разработок по SMS из ГА.

Литература

1. **Amer Younosy.** «10 Things You Should Know about SMS». FAA, Washington, 2012.
2. **Гипич Г.Н., Куклев Е.А., Евдокимов В.Г., Шапкин В.С.** Риски и безопасность авиационных систем. Монография. ООО «Издательско-полиграфическое предприятие «ИНСОФТ». М.: ФГУП ГосНИИ ГА, 2013. С.232.
3. **Аронов И.З., Александровская Г.Г. и др.** Безопасность и надежность технических систем. М.: Логос, 2008.
4. ГОСТ Р 51901.13-2005. Анализ дерева неисправностей в сложных системах (FMEA).
5. **Малинецкий Г.Г., Кульба В.В., Косяченко С.А., Шнирман М.Г. и др.** Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. М.: Наука, 2000, 431 с. Серия Кибернетика, РАН.
6. The Little Oxford Thesaurus. USA. 1994. ISBN 0-19-869221-8.
7. **Вальдман Н.А.** О применении экспертно - статистического метода при оценке риска морских работ // Транспорт Российской Федерации. 2011, № 2(33). С.40–42.
8. **Смуров М.Ю., Куклев Е.А., Евдокимов В.Г., Гипич Г.Н.** Безопасность полетов воздушных судов гражданской авиации с учетом рисков возникновения негативных событий // Транспорт РФ. № 1(38). СПб: 2012. С. 54-58.
9. ГОСТ Р 55585-2013 Воздушный транспорт. Система управления безопасностью полетов воздушных судов. Термины и определения. М.: 2013.
10. Стандарт ОАО «РЖД» - СТО РЖД 1.02.035 –2010. Управление ресурсами на этапах жизненного цикла, рисками и анализом надежности (УРРАН). Порядок определения допустимого уровня риска. М.: 2010.