

Определение рисков возникновения опасных сближений морских судов в аварийных ситуациях путем прогнозирования нечетких «окон уязвимости»



Е. А. Куклев,
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой
механики, директор
Центра экспертизы
Санкт-Петербургского
государственного
университета гражданской
авиации

Оценивается безопасность эксплуатации морских судов на основе прогнозирования возможности возникновения опасных сближений при нарушении стандартов маневрирования в системе из двух объектов – морских судов. Устанавливается, что положения риск-ориентированного подхода к анализу свойств редких событий, разрабатываемого в авиации, применимы и на морском транспорте.

Введение

Понятие безопасности систем в мировом техническом сообществе из простого символа перешло в научную категорию в связи с выявлением серьезности проблемы «редких событий, которые возникают с вероятностью „почти ноль“» (по ИКАО, NASA и ИМО) [1–3]. Причиной катастроф являются «системные ошибки», которые удается оценить только на основе моделей исчисления рисков возникновения негативных событий, определяемых на «хвостах» распределений плотности вероятностей появления редких событий, по которым не существует достоверной статистики [2]. Математические ожидания, дисперсии и плотности распределения вероятности физических параметров, характеризующих возникновение редких

событий, практически не существуют. Причиной катастроф являются «системные ошибки». Редкие события – это элементы моделей исчисления рисков возникновения негативных событий, определяемых на «хвостах» распределений плотности вероятностей редких событий. «Опасные сближения» морских судов – редкие события.

События типа «опасных сближений» в авиации (при управлении воздушным движением) и на море редки и таковы, что традиционные показатели возможности непредсказуемого возникновения являются неопределенными. Значения ряда динамических величин, определяющих сближения морских судов, также лежат на «хвостах» распределений, поэтому приходится естественно переходить к методам типа Fuzzy Sets или минимакса [2].



Гибель лайнера «Титаник» после столкновения с айсбергом (1912 г.)



Столкновение сухогруза «Андреа Дориа» и лайнера «Стокгольм» (1956 г.)

Столкновение судов являются довольно редким событием. Как правило, такое событие вызвано ошибкой судоводителя. По обобщенным данным, доля гибели судна вследствие навигационной ошибки составляет менее 10 % от общего числа катастроф на морском флоте. При неблагоприятных внешних обстоятельствах, возможность ошибки неопределенна, а ущерб может быть большим. Тем не менее, наиболее известные катастрофы повлекли за собой гибель сотен людей:

- гибель лайнера «Титаник» после столкновения с айсбергом (1912 г.);
- столкновение сухогруза «Андрэа Дориа» и лайнера «Стогольм» (1956 г.);
- гибель лайнера «Адмирал Нахимов» вследствие столкновения с сухогрузом (1986 г.).

Можно отметить, что при УВД в ГА и на море – проявляются идентичные факторы и модели опасности и способы (схемы) управления безопасностью.

Так, конфликты, возникающие при управлении воздушным движением и при сближении (навалах) морских судов в море, близки между собой по физической сущности и математическим подходам и могут быть изучены с применением сходственных методов. Прежде всего, предлагается принять понятие «безопасность» в соответствии с международным определением этого термина как «состояние, в котором при наличии возникшей угрозы уровень возможного вреда имуществу или персоналу оценивается через категорию „риска“, значения которого не превышает допустимой (стандартной) величины». Управление безопасностью сложных технических систем формируется для структур и состояний, определенных в нечетких множествах в классе Fuzzy Sets на основе оценок уровней рисков. Новым является проверка логических условий возможности возникновения катастроф за счёт потери свойств функциональности систем под воздействием некоторого потока поражающих факторов, являющихся причиной отказов физических элементов систем с помощью «уравнения катастроф». Проблема редких событий трудно разрешима, однако в авиации найдены новые подходы к ее решению, что может быть полезно и в морской отрасли.

Постановка задачи

Предлагаемый в статье подход позволяет применить метод нестохастического динамического моделирования

процессов функционирования управляемых систем. Новый метод динамического моделирования позволяет применить способ FMEA для оценки [4] критичности сценариев событий без применения вероятностных показателей. Он может стать альтернативой методу «вероятностный анализ безопасности» (ВАБ) [3], который «не работает» при редких событиях. При этом категория «риск» определена, согласно работам Института проблем управления (ИПУ) РАН [5], как мера опасности (по Г. Г. Малинецкому) для сценариев, приводящих к точкам «уязвимости» и «окнам уязвимости» (по В. В. Кульбе). При этом понятие риска не может даваться 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 оценки интегральной величины риска. В качестве примера могут быть представлены некоторые результаты, предложенные в гражданской авиации, где нормы даны по классификации ИКАО (NASA) аналогично ИМО.

Причина аварий – цепочка событий или сценарий с попаданием системы в опасное состояние, вероятность возникновения которых не имеет никакого значения, если ущерб от аварии значимый и недопустим для пользователей систем [2]. Более того, в теории безопасности некорректно вводить по аналогии с теорией надежности «среднее время до катастрофы» в случае редких событий.

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

Безопасность систем может быть обеспечена на приемлемом уровне на основе методов управления рисками с учетом факторов опасности в соответствии с принципами теории систем-

ной безопасности [1, 2], которые используются в SMS (Safety Management System) [1].

Это путь создания баз данных по образцам NASA (принципам и подходам) с учетом ограниченности объемов статистики и неопределенности меры возможности (или случайности – в простых ситуациях) возникновения редких событий. NASA рекомендовано применять «предупредительное» (проактивное) управление состоянием сложных технических систем (СТС) с учетом факторов риска на основе алгоритмов ИКАО при ограниченности объемов статистики (т. е. при неопределенности меры возникновения редких событий).

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», «конкурентоспособность» и т. п. Известно, что наиболее распространенным подходом к решению подобных задач является метод поиска средневзвешенных оценок [3] на множестве аддитивных показателей значимости иницирующих факторов

$$K_z = \langle K_1, K_2 \rangle. \quad (1)$$

Трудность состоит в том, что ряд факторов показателей качества типа K_1 и K_2 не создает топологического пространства и образует кортеж, но не вектор. В связи с этим целесообразно по возможности альтернативно применять методы типа Fuzzy Sets или минимакса вместо ВАБ.

Схема решения задачи на основе концепции редких событий в теории системной безопасности (ТСБ)

В ТСБ изложены 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 оценке безопасности систем. Из положений классической теории надежности (ТН) [3] вытекает, что первый параметр K_1 для главного события существования «функциональности систем» численно близок к единице, так как система является высоконадежной. Но тогда вероятность обратного события $A(t)^*$, изучаемого с помощью K_2 ,

будет объективно всегда близка к нулю, статистика по подобному событию будет недостоверной вследствие малого объема необходимой для этой задачи информации.

Поэтому предлагается новое положение, обратное основным позициям классической ТН в области изучения редких событий, рассмотренных выше. Отказы, но только типа функциональных $A(t)^*$, обратных в логическом смысле главному событию $A(t)$ (множеству событий) нормальному функционированию в штатном режиме рассматриваются так же, как и в ВАБ [3]. 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» А. Н. Колмогорова, но исключительно для частного множества из σ -алгебры [2].

Основной вывод: нечеткость информации о неопределенности возникновения редкого события в СТС является научным объективным фактом. Главное направление исследований – изучение физических возможностей возникновения условий потери системой своих функций с некоторой нечеткой мерой уровня изучаемых возможностей без использования традиционной вероятностной концепции.

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».

Таким образом, в формуле (2) первичным является обнаружение источника опасности в виде каких-то физических объектов и условий, при которых по разным причинам возможно возникновение непредсказуемого по времени появления некоторого события. Событие еще не произошло, но если и произойдет, то возникнет ущерб с серьезными последствиями. Это определяет «окно уязвимости». Оценить степень опасности в рассматри-

ваемой ситуации можно на основе методологии исчисления риска и оценки нечетких границ областей или подобных «окон уязвимости» по В. В. Кульбе и Г. Г. Малинецкому [5], но при редких событиях такого вида (с вероятностью «почти ноль») – только на основе Fuzzy Sets [2].

Виды неопределенности информации в модернизированных SMS, которые условно можно обозначить в виде 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.

Случайная величина – это параметр или физическая величина, значение которой нельзя предсказать заранее, но ее вероятностные свойства детерминированные и четкие [1, 2]. Вероятность – мера случайности возникновения события; но эта мера неслучайная и четкая, определяющая в вероятностном смысле возможности появления события.

Неопределенность типа «случайности» (модель Гаусса) отражает свойство измеримости функций от случайного события в виде набора четких функций плотности распределения вероятностей, существования математического ожидания, дисперсии и т. д. при достоверной статистике.

Вероятностный подход привел к заблуждениям в математическом смысле и к абсурдным результатам в проблеме «редких событий» при определении уровня и значимости риска через понятие «среднего риска» по образцу из финансовой сферы и из теории надежности технических систем [3].

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

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

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

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.

Предупредительные (проактивные) управляющие решения находятся на основе категорий событий типа R, B . Значимость рисков предложено оценивать на основе двухмерной модели оценки риска (формулы Е. А. Куклева – аналог концепции ИКАО, но в математическом виде [1–4]), при этом предлагается принять соотношение:

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

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

где μ_1 – мера риска 1-го рода, обозначающая неопределенность (или случайность) появления (возникновения) рискового события, обозначенного здесь символом R , для которого выше даны оценки в двух формах – в (4) и (5) с негативным результатом H_R , например по [4]: HR – мера последствий или ущерба (цена риска – «тяжесть» вреда); Σ_0 – условия опыта или ситуация при эксплуатации системы (класс опасности системы и тип сценария, дерево событий по образцу FMEA) граф смены состояний для выявления катастрофических отказов системы производится по методу минимальных сечений отказов [4]; \hat{R} – интегральный риск при нечетких оценках по [1–3], т. е. это количество опасности в форме (3) в заданном состоянии системы [4].

При таком подходе удастся определять только индикаторные оценки (именно это и представляет ценность) уровня БП в состоянии СТС в форме $[0, 1, DR]$ для допустимых состояний СТС на основе БД: 0 – безопасно, 1 – опасно,



приемлемо (с нечеткими индикаторами типа «не очень», «вполне», «достаточно» и т. п.).

Аналогично можно ввести дополнительное понятие в виде «шанс – нечеткая (прогнозируемая) мера количества “удачи” в опыте или в состоянии системы при условии осуществления некоторого благоприятного прогнозного события (шанс «ничтожный», «малый», «мало шансов» и т. п., что широко используется в науке в случаях, когда невозможно определить четкие числовые (скалярные) показатели).

Приемлемые решения по предупредительному управлению состоянием систем (проактивно) принимаются на основе разных стратегий поведения лиц, принимающих решения (ЛПР) [2] путем «взвешивания рисков» и «шансов». В исследуемых состояниях систем должны быть выявлены четко прогнозируемые события в условных бинарных пространствах исходов. При этом показатели возможности возникновения событий из некоторых нечетких подмножеств оцениваются с помощью матриц анализа рисков по ИКАО (NASA) [2, 4]. Это позволяет создать упомянутые выше и очень важные для практики процедуры под названием «Взвешивание рисков и шансов».

Выводы

Предлагаемый риск-ориентированный подход к определению степени рисков используется в качестве дополнения к классическому методу

типа ВАБ (ничего радикального не выбрасывается, главное — найден способ гармоничного сочетания положений классической теории надежности и новых подходов в виде Fuzzy Sets, что позволяет преодолеть трудности решения проблемы редких событий в задачах по обеспечению безопасности полетов).

Перспективным представляется проведение анализа эффективности применения в сфере морского транспорта разработок по SMS из ГА РФ. Например, представляются крайне интересными известные «Таблицы рисков» следующего вида: таблица аварийности рельсовых путей (катастрофа в московском метро), медицинская карта рисков, платежная матрица рисков в точке Нэша [2] в экономике и др.

Сделана попытка доказать, что при решении вопросов редких событий в теории системной безопасности целесообразно искать условия «потери свойства функциональности» систем под действием поражающих факторов и определять нечеткие уровни рисков вместо поиска ничтожно малых значений «вероятностей», которых все рано нет и объективно быть не может (это и будет подход по NASA)! В [7] даже предлагается «гадать» на тему, какие числа назначить для малых вероятностей, что математически некорректно. ■

Литература

1. Amer Younossy. 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. моногр. М.: ФГУП ГосНИИ ГА, 2013. 232 с.
3. Аронов И. Э., 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). М., 2005
5. Малинецкий Г. Г., Кульба В. В., Косяченко С. А. и др. Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. М.: Наука, 2000. 431 с. Сер. «Кибернетика».
6. The Little Oxford Thesaurus. USA. 1994.
7. Вальдман Н. А. О применении экспертно – статистического метода при оценке риска морских работ // Транспорт РФ. 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. 2012. № 1 (38). 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 (УРРА). Порядок определения допустимого уровня риска. М., 2010.