

ПРОБЛЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ КОМБИНАЦИЙ СОБЫТИЙ В КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМАХ

Резчиков А.Ф.¹, Богомолов А.С.²

¹Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д. 65

²Институт проблем точной механики и управления РАН,
Россия, г. Саратов, ул. Рабочая д. 24
rw4cy@mail.ru, AlexBogomolov@ya.ru

Аннотация: Исследуется проблема критических ситуаций, возникающих в крупномасштабных системах вследствие развития комбинаций относительно неопасных по отдельности локальных событий. Сформулирована задача управления процессом предотвращения развития аварийных комбинаций событий. Предлагается подход к решению поставленной задачи.

Ключевые слова: крупномасштабная система, аварийная комбинация событий, критическая ситуация.

Введение

Развитие критических ситуаций в крупномасштабных системах [1] во многих случаях связано с возникновением неблагоприятных событий в их отдельных частях – человеко-машинных и организационно-технических системах – и образованием новых связей между этими событиями. Аварийная комбинация событий представляет собой их критическое сочетание [2 – 3] с учетом порядка следования событий и временных интервалов между ними.

При развитии аварийных комбинаций событий крупномасштабная система теряет ресурсы, необходимые для реакции на отдельные неблагоприятные события, что позволяет развиваться их последствиям. Таким образом, возникновение аварийной комбинации событий в крупномасштабной

¹⁰⁷ Жилкина Ю. В. Пути повышения экономической безопасности Российской Федерации // Финансовый бизнес. 2010. № 4. С. 17.

системе означает, что локальные критические режимы, приводящие к определенной последовательности неблагоприятных событий, являются причиной развития критического режима крупномасштабной системы в целом. Возникновение и развитие аварийных комбинаций событий является важной проблемой функционирования и развития крупномасштабных систем.

Для предупреждения развития аварийных комбинаций событий в крупномасштабной системе необходимо парировать неблагоприятные события в подсистемах и контролировать связи между этими событиями. Однако в процессе функционирования крупномасштабной системы возникает значительное число потенциально неблагоприятных событий и возможность реагировать на все такие события отсутствует по причине ограниченности располагаемых ресурсов.

В связи со сказанным актуальна задача разработки моделей, методов и алгоритмов анализа аварийных комбинаций событий при управлении крупномасштабными системами, позволяющих выявлять наиболее опасные комбинации событий и определять локальные воздействия для предотвращения их развития. Требуемые методы и алгоритмы будут использованы при разработке перспективных информационно-управляющих комплексов, позволяющих определять потенциальные критические режимы и пути предупреждения их развития в крупномасштабных системах.

1 Постановка задачи

Предлагается вариант формализованной постановки задачи по проблеме аварийных комбинаций событий в крупномасштабных системах. Пусть $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ – множество сценариев ситуаций, вызываемых аварийными комбинациями событий в крупномасштабной системе на отрезке времени $[t_n, t_k]$, $P(A_i, t)$ – функция, выражающая оценку степени опасности возникновения ситуации A_i в момент t , принимающая значения на отрезке $[0, 1]$, $s(t)$, $x(t)$ – состояние системы и ее внешней среды соответственно, $u(t)$ – управляющие воздействия на систему в момент t , $S(t)$, $X(t)$, $U(t)$ – множества возможных значений $s(t)$, $x(t)$, $u(t)$. Предполагается, что управляющие воздействия $u(t)$ включают в себя управляющие воздействия $u_0(t)$, оказываемые субъектом управления для достижения цели системы, и управляющие воздействия $u_1(t)$, при необходимости дополнительно оказываемые на систему для предотвращения аварийных комбинаций событий. Требуется при известной информации об управлении $u_0(t)$ определить управляющие воздействия $u_1(t_1), \dots, u_1(t_k)$, при которых для всех $t \in [t_n, t_k]$ будет выполнено

$$(1) \quad P(A_i, t) < \varepsilon, i = 1, \dots, n,$$

где ε – заданное число, и

$$(2) \quad \sum_{i=1}^k F(s(t_i), x(t_i), u(t_i), t_i) \rightarrow \min,$$

где $F(s(t), x(t), u(t), t)$ – целевая функция, используемая при управлении рассматриваемой системой, и выполняются граничные условия

$$(3) \quad F_n(s(t_n), x(t_n), u(t_n), t_n) = 0,$$

$$(4) \quad F_k(s(t_k), x(t_k), u(t_k), t_k) = 0,$$

где $F_n(s(t_n), x(t_n), u(t_n), t_n)$, $F_k(s(t_k), x(t_k), u(t_k), t_k)$ – заданные функции, и ограничения,

$$(5) \quad C(t) \leq F_1(s(t), x(t), u(t), t) \leq D(t),$$

связанные с целями и нормативами функционирования системы M , где $F_1(s(t), x(t), u(t), t)$, $C(t)$, $D(t)$ – заданные на $[t_n, t_k]$ функции.

Отметим, что в предлагаемой постановке функция $P(A_i, t)$ оценки опасности возникновения ситуации A может быть построена так, что ее значения будут вычисляться как вероятность или определяться иным выбранным способом как степень уверенности экспертов.

Условие (1) рассматривается как требование сдерживания риска развития аварийных комбинаций событий. Данное условие включает в себя соответствующие неравенства для ситуаций A_1, \dots, A_n , что отличает его от довольно часто рассматриваемых условий минимизации суммарных показателей, в которых степени опасности или вероятности аварий фигурируют с определенными весами и выполнение которых не гарантирует, что опасность или вероятность отдельных аварий будет находиться в приемлемых пределах. Число ε в условии (1) выбирается для ситуаций, возможный ущерб от которых считается сопоставимым. Если рассматриваются ситуации со значительно различающимся ущербом, то для каждого такого множества ситуаций A' будет решаться задача со значением ε' , соответствующем ущербу от ситуаций из A' .

Ограничения для ресурсов, используемых для решения, заложены в условиях (3 – 5). Функция $F_n(s(t_n), x(t_n), u(t_n), t_n)$ из условия (2) может интерпретироваться как время подачи и реализации требуемых управляющих сигналов или их стоимость в виде затрат других ресурсов.

2 Концепция и подход к решению задачи

Решение задачи предлагается осуществлять в реальном времени путем определения управляющих воздействий по предотвращению развития наиболее опасных аварийных с учетом тех событий, которые уже были зарегистрированы. Такие комбинации определяются путем анализа причинно-следственных структур, в частности, деревьев развития критических ситуаций. Минимальные сечения деревьев отказов позволяют определять множества событий, составляющих аварийные комбинации, а пути успешного функционирования (ПУФ, [4]) – для определения множеств событий, которые необходимо предотвратить для развития аварийных комбинаций.

Предлагаемый подход к решению задачи осуществляется в два этапа. Оперативная информация, получаемая о текущих или произошедших событиях, используется на втором этапе. Первый этап состоит из следующих шагов.

Определить множество $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ ситуаций, вызываемых аварийными комбинациями событий.

- Выделить множество событий $E = \{e_1, \dots, e_m\}$, влияющих на развитие сценариев из A .
- Определить причинно-следственные связи между событиями из E и множество причинно-следственных структур D развития сценариев A из событий E .
- Определить множество минимальных сечений и ПУФ для структур из D .
- Для каждого события $e \in E$ определить перечни управляющих воздействий $Q(e)$ по парированию этого события, временные интервалы реализации этих воздействий, а также списки лиц, принимающих решения об их реализации и лиц, осуществляющих эти воздействия. Установить соответствие между режимами осуществления воздействий $Q(e_1), \dots, Q(e_m)$ и интенсивностями, с которыми эти воздействия будут обеспечивать парирование событий e_1, \dots, e_m .
- Установить для каждого события $e \in E$ зависимости

$$(6) \quad P(e, t) = f_e(\mu(e_1), \dots, \mu(e_m), s(t), x(t), t)$$

значений $P(A_i, t)$ на рассматриваемом отрезке $[t_n, t_k]$ от режимов $\mu(e)$ парирования этого события. Зависимости устанавливаются аналитическими методами с использованием необходимых эмпирической, экспертной и статистической информации. Эти зависимости могут иметь вид аналитических соотношений, табличных значений или продукций, которые позволят оценить возможность наступления событий из множества E в зависимости от режимов осуществления воздействий из $Q(e_1), \dots, Q(e_m)$, а также состояний системы и среды.

Второй этап – управления предотвращением аварийных комбинаций событий – осуществляется в процессе функционирования системы. При регистрации неблагоприятных событий оценивается возможность развития аварийных комбинаций и для наиболее опасных комбинаций, у которых условие (1) не выполняется, рассматриваются ПУФ. На их основе ПУФ и информации о порядке определяются мероприятия для снижения оцениваемой возможности развития аварийных комбинаций до допустимого значения ε . Второй этап решения задачи состоит из следующих шагов.

- Регистрация информации о возникновении событий из множества E .
- Если в момент t зарегистрировано множество событий $E_t \subseteq E$, определить множество $N(E_t)$ всех минимальных сечений, пересекающихся с E_t и множество $\tilde{N}(E_t)$ дополнений сечений из $N(E_t)$ до множества E .
- Оценить возможность возникновения последовательностей событий из $\tilde{N}(E_t)$, соответствующих сценариям из множества A , и выделить множество $\tilde{N}_1(E_t) \subseteq \tilde{N}(E_t)$ таких последовательностей, возможность реализации которых вызывает нарушение условия (1). Если таких последовательностей нет, продолжить наблюдение с интервалом порядка, соответствующего прогнозируемой частоте возникновения событий из множества E .
- Построить множество $M(E_t)$ усеченных ПУФ для последовательностей из множества $\tilde{N}_1(E_t)$. Для этого из каждого ПУФ множества $M(E)$ для исходной причинно-следственной структуры удаляются события, не входящие в последовательности из $\tilde{N}_1(E_t)$. Предотвращение событий из любого усеченного ПУФ из $M(E_t)$ позволит предотвратить реализацию всех последова-

тельностью из множества $\tilde{N}_1(E_t)$. Выбор конкретных ПУФ из множества $M(E_t)$ для этой цели осуществляется на основе информации о ресурсах системы и условий (2) – (5).

- Осуществить воздействия по предотвращению развития аварийных комбинаций путем предотвращения событий из выбранного ПУФ с использованием определенных в 1.5 мероприятий.
- Вернуться к наблюдению с интервалом порядка, соответствующего прогнозируемой частоте возникновения событий из множества E .

Отметим, что в качестве событий из множества E могут рассматриваться локальные аварии и переходы в критические режимы менее масштабных человеко-машинных и организационно-технических систем, которые можно также рассматривать как следствие развития аварийных комбинаций событий. Подход к предотвращению развития аварийных комбинаций событий в человеко-машинных и организационно-технических системах предлагается в [5]. Масштабирование этого подхода может быть использовано при разработке концепции решения сформулированной задачи предотвращения аварийных комбинаций событий в крупномасштабных системах.

Литература

1. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука, 1997. – 256 с.
2. Резчиков А. Ф., Богомолов А.С. Критические сочетания событий – причины аварий в человеко-машинных системах. В книге: УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ MLSD'2015 // Материалы Восьмой международной конференции: в 2 томах. Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук; Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. 2015. – С. 130-135.
3. Bogomolov A. S. Analysis of the Ways of Occurrence and Prevention of Critical Combinations of Events in Man-machine Systems. Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Math. Mech. Inform. Vol. 17. 2017, № 2. – P. 219–230 (in Russian).
4. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем – М.: Мир, – 1984. – 318 с.
5. Bogomolov A. S. Prevention of Accidental Combinations of Events in the Control of Human-Machine Systems // Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Math. Mech. Inform. Vol. 19. 2019, № 2. – P. 196-206 (in Russian).