

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/11-32

Ссылка для цитирования этой статьи:

Резчиков А.Ф., Богомолов А.С., Шоломов К.И. Моделирование динамики причинно-следственных связей в человеко-машинных системах// Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2017. №1

УДК 501.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ

Резчиков А.Ф.¹, Богомолов А.С.², Шоломов К.И.³

¹ФГБУН Институт проблем точной механики и управления РАН,
Саратовский национальный исследовательский университет

им. Н.Г. Чернышевского,

Россия, Саратов, rw4cy@mail.ru

²ФГБУН Институт проблем точной механики и управления РАН,
Саратовский национальный исследовательский университет

им. Н.Г. Чернышевского,

Россия, Саратов, alexbogomolov@ya.ru

³ФГБУН Институт проблем точной механики и управления РАН,
Россия, Саратов, ksholomov@mail.ru

MODELING THE DYNAMICS OF CAUSE-EFFECT RELATIONSHIPS IN THE HUMAN-MACHINE SYSTEM

A. F. Rezchikov¹, A. S. Bogomolov², K. I. Sholomov³

¹Institute of Precision Mechanics and Control of RAS,
Saratov State University,

Russia, Saratov, rw4cy@mail.ru

²Institute of Precision Mechanics and Control of RAS,
Saratov State University,

Russia, Saratov, alexbogomolov@ya.ru

³Institute of Precision Mechanics and Control of RAS,
Russia, Saratov, ksholomov@mail.ru

Аннотация. Исследуется моделирование динамики причинно-следственных связей в сложных системах. Связи событий формируются в результате сопоставления значений соответствующих переменных. Модель реализована в разработанной программе и может использоваться для представления процессов в человеко-машинных и других динамических системах.

Ключевые слова: динамическая система, причинно-следственный подход, человеко-машинная система, критическое сочетание событий, авария, безопасность.

Abstract. We study the modeling of the causal relationships in complex systems. Dynamic linkages in the representation achieved by forming them on the basis of the values of the variables corresponding to system events. The proposed model is implemented in developed software that can be used to represent processes in the human-machine and other dynamic systems.

Keywords: causal relationship, critical combination of events, accident, catastrophe, fault tree, minimum cross-section, dynamic event tree, dynamic system.

Функционирование техногенных систем характеризуется сложным взаимодействием элементов и разнородных процессов. Актуальны проблемы анализа, прогнозирования и предотвращения аварий и катастроф в этих системах. Решение этих проблем невозможно без использования причинно-следственного подхода [1-2], позволяющего анализировать упомянутые разнородные взаимодействия в комплексе и обоснованно подходить к их математическому моделированию. При этом различные реализации причинно-следственного подхода (деревья отказов, событий, причинно-следственные комплексы) традиционно обладали ограничением в виде статического характера представления причинно-следственных связей.

В современных программных комплексах по расчету надежности динамика в определенном смысле учитывается, например, в RELEX (США) реализована возможность задания динамических операторов дерева отказов, учитываются временные соотношения. Находят широкое применение и другие программные комплексы: A.L.D.Group (Израиль), ISOGRAPH (Великобритания), Risk Spectrum (Швеция). Эти продукты реализуют достаточно широкий спектр функций, однако обладают такими недостатками, как высокая стоимость, технологическая зависимость, необходимость специального обучения персонала. Из отечественных разработок для структурно-логического моделирования надежности и безопасности отметим Арбитр, ПК АСМ, ПК Универсал, отличающиеся меньшим спектром предоставляемых инструментов, но в большей степени реализующие отдельные оригинальные функции и результаты.

Вместе с тем, в перечисленных и других программных комплексах не акцентированы возможности моделирования динамики причинно-следственных связей, которые могут возникать и распадаться в зависимости от возникающих условий функционирования. В то же время такие явления, как появление или исчезновение причинно-следственных связей в системе потенциально порождает новые уязвимости, за счет которых возникают критические сочетания событий [3-5], приводящие к запроектным авариям.

Ввиду сказанного актуальной является разработка математического и программного обеспечения для моделирования переменных связей в причинно-следственных структурах. Возникает необходимость в разработке математических моделей, которые будут использоваться при решении задачи.

Пусть задана система A , для которой характерна динамика переменных и в которой происходят события, понимаемые как в [1-2]. Для моделирования причинно-следственных связей в этой системе выберем множество событий

$E = \{e_1, \dots, e_n\}$ и множество переменных $C = \{c_1(t), \dots, c_m(t)\}$, принимающих значения из некоторых множеств $D = \{D_1, \dots, D_m\}$. Переменные и события могут относиться как к самой системе, так и к её внешней среде. Примем, что поведение системы и связи в ней определяется выбранными событиями и переменными.

Установим отношение $\rho \subseteq E \times C$ между событиями и переменными. В результате каждому событию $e_i \in E$ будет соответствовать некоторое множество переменных $C(e_i) \subseteq C$. Для любой переменной $c_j(t) \in C(e_i)$ её значение в момент времени t обозначим через $c_{i,j}(t)$.

Пусть событий e_i и e_j связаны с некоторой общей для них переменной. Данная переменная обозначается для этих событий через $c_{i,k}(t)$ и $c_{j,k}(t)$ соответственно. Если для некоторого значения c этой переменной справедливо $(c_{i,k}(t) = c) \rightarrow (c_{j,k}(t) = c)$, то говорим, что событие e_j следует из события e_i по данной переменной в значении c . Частным случаем такой связи является симметричная зависимость, когда события следуют друг из друга по некоторому значению общей переменной.

Приведенная выше модель была реализована в компоненте разработанного программного обеспечения [6]. Входными данными служат множество событий $E = \{e_1, \dots, e_n\}$, множество переменных $C = \{c_1, \dots, c_m\}$, множество связей событий и переменных $\rho \subseteq E \times C$, начальные данные $(c_1(0), \dots, c_m(0)) \in D_1 \times \dots \times D_m$ и выражения для определения динамики переменных, отрезок модельного времени $[t_0, t_1]$ и способ подсчета модельного времени. Выходные данные программы – значения схемы причинно-следственных связей в системе на отрезке $[t_0, t_1]$.

В качестве примера работы программы предлагается рассмотреть процесс образования причинно-следственных связей в системе с множеством событий $E = \{e_1, e_2, e_3\}$ и множеством переменных $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$, принимающих значения в области целых неотрицательных чисел. Отношение между переменными и событиями задано таким образом, что

$$C(e_1) = \{c_1, c_4, c_5\}, C(e_2) = \{c_2, c_5\}, C(e_3) = \{c_1, c_2, c_4\}.$$

В таб.1. представлены условия для определения динамики переменных, связанных с событиями системы. В таб.2. представлены выборочные результаты моделирования

Таблица 1.

	c ₁	c ₂	c ₄	c ₅
e ₁	$[328*\sin(\pi/t)]+47$	Не связаны	$27+3*t$	$500-t+t \bmod 50*[-10*\cos(\pi/t)]$
e ₂	Не связаны	$[(55*(t+1)^{1,2}/t-15*\sin(t))]$	Не связаны	$[100*\sin(t/5)]+0,5*t$
e ₃	$-150+0,5*t$	$150-0,2*t$	$-10+t \bmod 55/[\cos(\pi/t)]$	Не связаны

Таблица 2. Выборочные результаты моделирования

	c1,1	c2,2	c3,2	c1,5	c2,5	c3,1
108	57	128	128,4	312	92	-96
219	52	174	106,2	91	91,5	-40,5
255	51	175	99	195	194,5	-22,5
399	50	183	70,2	-389	104,5	49,5
400	50	196	70	100	101	50
401	50	196	69,8	89	100,5	50,5

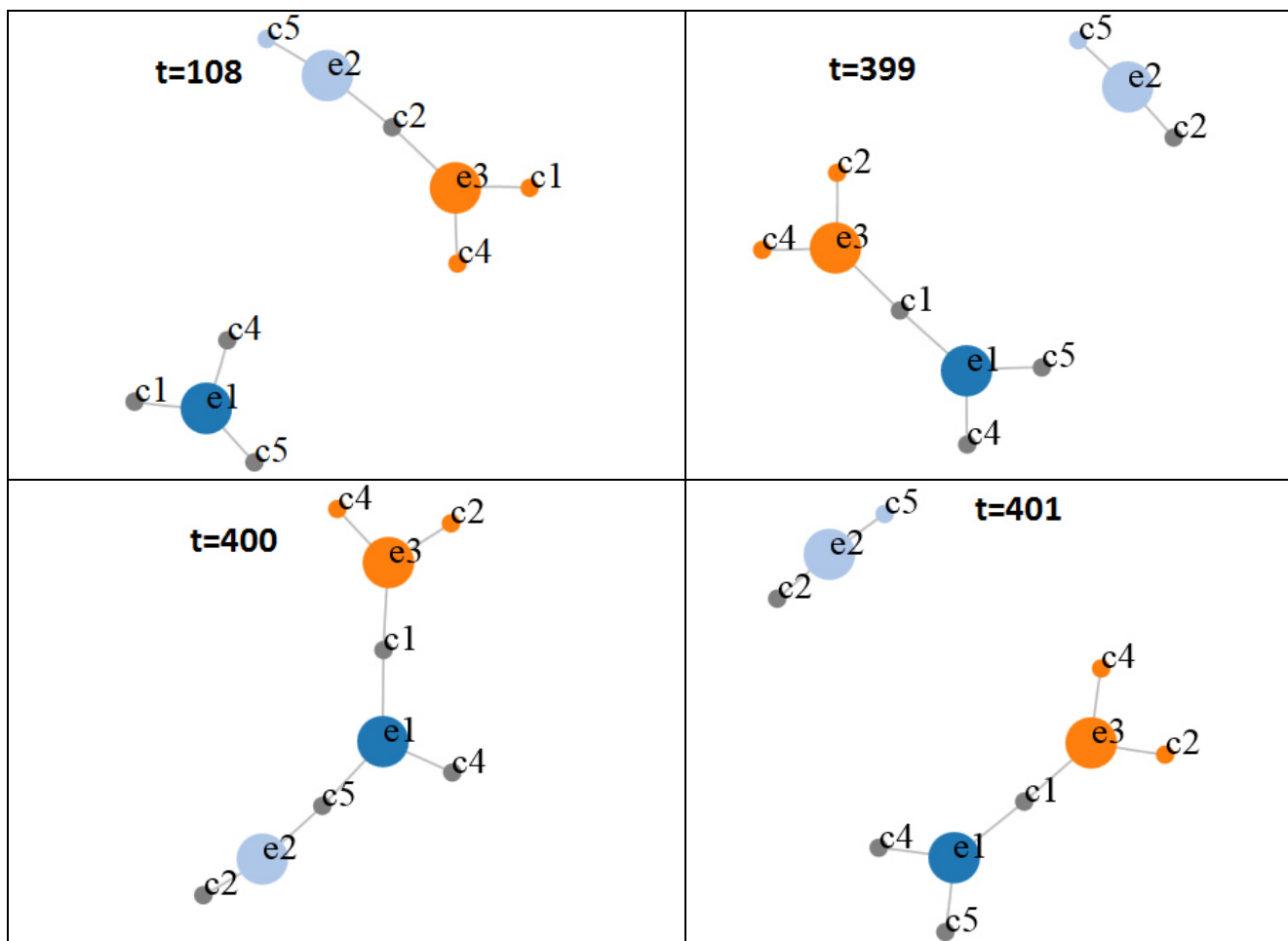


Рис.1. Фрагменты процесса моделирования динамики связей в системе.

Как видно из рисунка 1, процесс моделирования позволил определить момент времени ($t = 400$), когда связь существует между всеми тремя рассматриваемыми событиями. Воздействие на систему в этот момент может иметь более значительные последствия. В последующие моменты соотношение значений переменных изменяется и структура причинно-следственных связей становится другой.

Предложена математическая модель для представления динамических причинно-следственных связей. Связи между событиями формируются на основании сравнения значений соответствующих переменных. Показан пример моделирования с использованием разработанного программного обеспечения. В этом примере рассматривался случай, когда количество переменных и событий невелико, а их динамика задана элементарными выражениями. Наибольший интерес работа программы будет представлять в случаях большого числа событий и переменных, динамика которых задана разнородными условиями, включающими случайные процессы, сложные функции и многовариантность поведения переменных, в том числе в зависимости друг от друга. Программные комплексы, которые будут разработаны в рамках проводимых исследований, найдут применение при построении деревьев событий и отказов [7-8] с возможностью введения в них переменных связей, причинно-следственных графов для построения моделей системной динамики [9-15]. Эти комплексы могут быть использованы для анализа, прогнозирования и предотвращения критических сочетаний событий в человеко-машинных системах.

Литература

1. Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. Причинно-следственные комплексы как модели процессов в сложных системах. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 7. С. 1-9.
2. Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. Причинно-следственные комплексы взаимодействий в производственных процессах. // Проблемы управления. 2010. № 3. С. 51-59.
3. 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.
4. Новожилов Г.В., Резчиков А. Ф., Неймарк М.С., Богомолов А.С., Цесарский Л.Г., Филимонюк Л. Ю. Проблема критических сочетаний событий в системе «экипаж – воздушное судно – диспетчер» // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2015. № 2 (2). С. 10-16.

5. Клюев В.В., Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Твердохлебов В.А., Иващенко В.А., Богомолов А.С., Филимонюк Л.Ю. Анализ критических ситуаций, вызванных неблагоприятным стечением обстоятельств // Контроль. Диагностика. 2014. № 7. С. 12-16.
6. Шоломов К. И. Комплекс программ моделирования и анализа критических сочетаний событий на основе построения и обработки динамических причинно-следственных деревьев. // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2015. С. 300-304.
7. Новожилов Г.В., Резчиков А.Ф., Неймарк М.С., Цесарский Л.Г., Кушников В.А., Богомолов А.С., Филимонюк Л.Ю., Шоломов К.И. Управление авиационно-транспортными системами на основе причинно-следственных деревьев событий // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2015. № 6 (6). С. 13-17.
8. Клюев В.В., Байбурун В.Б., Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Богомолов А.С., Филимонюк Л.Ю. Модели и алгоритмы мониторинга глобальной безопасности на основе деревьев событий // Контроль. Диагностика. 2015. №8. С. 70-74.
9. Клюев В.В., Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Иващенко В.А., Богомолов А.С., Филимонюк Л.Ю., Яндыбаева Н.В. Математические модели для контроля, диагностики и прогнозирования состояния национальной безопасности России // Контроль. Диагностика. 2016. № 3. С. 43-51.
10. Резчиков А.Ф., Цвиркун А.Д., Кушников В.А., Яндыбаева Н.В., Иващенко В.А. Методы прогнозной оценки социально-экономических показателей национальной безопасности // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 37-44.
11. Яндыбаева Н.В., Кушников В.А. Математические модели, алгоритмы и комплексы программ для мониторинга эффективности образовательной деятельности вуза // Проблемы управления. 2015. № 1. С. 53-62.
12. Адамович К.Ю. Математическая модель для прогнозирования значений показателей безопасности транспортной системы // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2015. № 6 (76). С. 146-151.
13. Цвиркун А.Д., Резчиков А.Ф., Яндыбаева Н.В., Кушников В.А. Имитационное моделирование показателей национальной безопасности РФ // В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2014 Сборник научных трудов. Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. Москва, 2014. С. 155-163.
14. Яндыбаева Н.В., Кушников В.А. Математическая модель для прогнозирования показателей аккредитации вуза // Управление большими системами. Выпуск 41. М.: ИПУ РАН, 2013. С.314-343.
15. Кушников В.А., Яндыбаева Н.В. Модель Форрестера в управлении качеством образовательного процесса вуза // Прикладная информатика. 2011. № 3 (33). С. 65-73.