

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНФЛИКТА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Ю. Л. Козирацкий, А. Ю. Козирацкий, А. И. Гревцев, М. Л. Паринов, С. С. Куцев

*Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж)*

Поступила в редакцию 24.04.2008 г.

**Аннотация.** Приведен подход к компьютерному моделированию конфликта сложных систем, основанный на представлении моделируемого процесса в виде динамической системы взаимосвязанных между собой инерционных звеньев, операторные передаточные функции которых определяются преобразованием Лапласа от соответствующих вероятностных и вероятностно-временных характеристик полумарковского процесса.

**Ключевые слова:** сложные системы, моделирование, преобразование Лапласа, полумарковский процесс.

**Abstract.** The approach is led to computer modeling of the conflict of the complex systems, based on representation of modeled process in the form of dynamic system of the inertial parts interconnected among themselves, operational which transfer functions are determined by Laplace transformation from probability and time- probability characteristics of *semi-Markov* process.

**Key words:** complex systems, modeling, Laplace transformation, *semi-Markov* process.

### ВВЕДЕНИЕ

Проектирование, разработка и эксплуатация различного рода сложных организационно-технических систем как военного, так и гражданского назначения производится с учетом условий действия различного рода факторов внешней среды, которую следует рассматривать в общем случае как конфликтную по отношению к ним [1].

При моделировании подобного рода конфликтов, как показано в [2], как правило, используются методы теории живучести и теории многоуровневых иерархических систем, на основании которых производится структурная декомпозиция моделируемого конфликта на взаимосвязанные между собой частные конфликты отдельных элементов (подсистем) рассматриваемых конфликтующих систем, выделяемых по их функциональности. Динамическая модель формируется в виде ориентированных структурно-взаимосвязанных мультиграфов, состояния которых отражают возможные, существенные с точки зрения моделирования, исходы частных конфликтов [2, 3]. Аналитическое описание процесса конфликта производится с использованием математического аппарата теории полумарковских случайных процессов (ПМП), в виде прямых интегро-диффе-

ренциальных уравнений относительно вероятностей и плотностей вероятностей распределения времени переходов между состояниями графа, представляющего собой динамическую модель. При этом получение численных значений интересующих вероятностных показателей зачастую вызывает достаточно серьезные затруднения, в особенности, когда законы распределения отличается от экспоненциальных, что вызывает необходимость определенной алгоритмизации вычислительного процесса.

Таким образом, целью настоящей работы является формирование подхода к моделированию конфликта сложных систем путем представления рассматриваемого процесса в виде ПМП с последующим приведением аналитического описания которого к форме удобной к реализации на ЭВМ.

### 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНФЛИКТА ДВУХ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрим обобщенный конфликт двух сложных систем [2]. В соответствии с теорией многоуровневых иерархических систем представим каждую из рассматриваемых конфликтующих сторон в виде конечного числа взаимосвязанных подсистем [4]. При этом различают следующие взаимосвязи: внутрисистемные – между подсистемами (элементами) одной системы; внешнесистемные – между подсистемами (элементами) конфликтующих сторон. Суще-

© Козирацкий Ю. Л., Козирацкий А. Ю., Гревцев А. И., Паринов М. Л., Куцев С. С., 2008

ность и характер проявления этих связей определяется уровнем, содержанием и способами достижения целей, поставленными перед моделируемыми в конфликте системами. Наличие внешнесистемных связей позволяет рассматривать процесс конфликта в виде единой конфликтной системы, обладающей самостоятельными свойствами, не присущими ни одной из конфликтующих систем. Не нарушая общности, пользуясь методами теории живучести [1], выделим в составе каждой из систем две подсистемы: первая из которых реализует основной функционал системы, а вторая формирует условия его реализации. В соответствии с этим осуществим декомпозицию конфликта на два взаимосвязанных «вверх» частных конфликта соответствующих подсистем, в результате чего структурную модель конфликта получим в виде, представленном на рисунке 1. Взаимосвязь «вверх» означает, что конфликт нижнего уровня определяет условия протекания конфликта верхнего уровня — одностороннее формирование условий [2, 4].

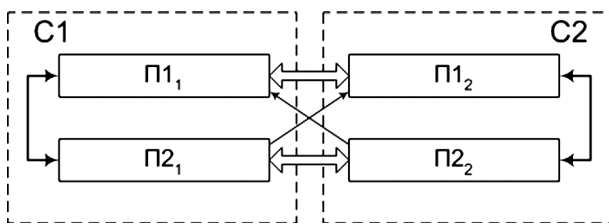


Рис. 1. Структурная модель конфликта.

Динамическая модель конфликта в соответствии с [4] представим в виде мультиграфа состояний (рис. 2). На рисунке 2 приняты следующие обозначения:  $Z_0(0)$  — исходное состояние конфликта нижнего уровня (НУ);  $Z_1(1)$  — выигрыш в конфликте НУ элементов системы С1;  $Z_2(2)$  — выигрыш в конфликте НУ элементов системы С2;  $S_0(3)$  — исходное состояние конфликта верхнего уровня (ВУ);  $S_1(4)$  — выигрыш в конфликте ВУ элементов системы С1;  $S_2(5)$  — выигрыш в конфликте ВУ элементов системы С2.

Аналитическая модель конфликта, при условии рассмотрения динамики переходов частных конфликтов из состояния в состояние в виде полумарковского случайного процесса, представлена в виде следующих выражений [3]:

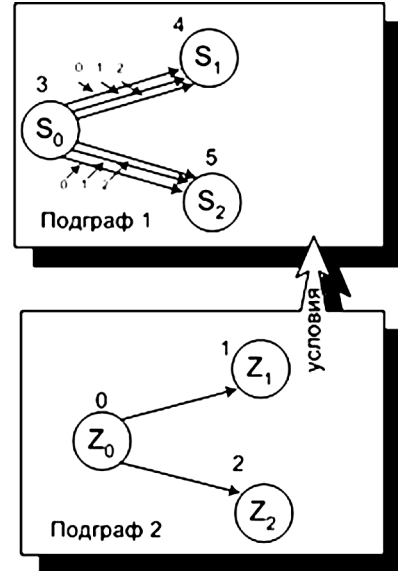


Рис. 2. Динамическая модель конфликта

$$\begin{cases}
 P_4(t) = P_{4H} + P_{3H}(P_0(t) \int_0^t f_S^{C2}(\tau, Z_0)[1 - F_S^{C1}(\tau, Z_S)]d\tau + \\
 + P_1(t) \int_0^t f_S^{C2}(\tau, Z_1)[1 - F_S^{C1}(\tau, Z_1)]d\tau + \\
 + P_2(t) \int_0^t f_S^{C2}(\tau, Z_2)[1 - F_S^{C1}(\tau, Z_2)]d\tau) \\
 P_5(t) = P_{5H} + P_{3H}(P_0(t) \int_0^t f_S^{C1}(\tau, Z_0)[1 - F_S^{C2}(\tau, Z_0)]d\tau + \\
 + P_1(t) \int_0^t f_S^{C1}(\tau, Z_1)[1 - F_S^{C2}(\tau, Z_1)]d\tau + \\
 + P_2(t) \int_0^t f_S^{C1}(\tau, Z_2)[1 - F_S^{C2}(\tau, Z_2)]d\tau) \\
 P_1(t) = P_{1=} + P_{0H} \int_0^t f_Z^{C1}(\tau)[1 - F_Z^{C2}(\tau)]d\tau \\
 P_2(t) = P_{2=} + P_{0H} \int_0^t f_Z^{C2}(\tau)[1 - F_Z^{C1}(\tau)]d\tau \\
 P_0(t) = P_{0=} - P_1(t) - P_2(t) \\
 P_3(t) = P_{3=} - P_4(t) - P_5(t)
 \end{cases} \quad (1)$$

где  $P_4(t), P_5(t)$  — вероятности достижения преимущества системой С1, С2 соответственно;  $f_i^j(t), F_i^j(t)$  — плотность вероятности и функция вероятности времени выполнения функциональных задач подсистемой  $i$ -того уровня системы  $j$ ;  $P_0(t) - P_3(t)$  — вероятности соответствующих состояний;  $P_{0H}(t) - P_{5H}(t)$  — начальные условия.

Понятие преимущество в соответствии с функциональностью системы может трактоваться по-разному.

Решение системы (1) даже в случае экспоненциальных законов распределения представляет достаточно трудоемкую задачу, что вызвало необходимость разработки подхода к моделированию рассматриваемых процессов, заключающегося в замещении переходов процесса из состояния в состояние инерционными звеньями с передаточными функциями, определяемыми преобразованием Лапласа от соответствующих плотностей вероятностей распределения времени переходов. При этом искомый закон распределения вероятности представляет собой реакцию полученной таким образом динамической системы на дельта-функцию, подаваемую на ее вход. В случае необходимости получения вероятностно-временной зависимости на вход системы подается интегрирующее воздействие в виде единичной функции (единичное ступенчатое воздействие). Следует особо подчеркнуть, что предлагаемый подход удобен при моделировании на ЭВМ, в частности с использованием среды MATLAB (Simulink) [5].

В соответствии с изложенным выше подходом к моделированию введем в рассмотрение следующие операторные функции [3]:

$$F'_{01}(s) = L_s \{f_Z^{C1}(t)[1 - F_Z^{C2}(t)]\};$$

$$F'_{02}(s) = L_s \{f_Z^{C2}(t)[1 - F_Z^{C1}(t)]\};$$

$$F'_{34}(s/Z_i) = L_s \{f_s^{C1}(t, Z_i)[1 - F_s^{C2}(t, Z_i)]\}, \quad i = \overline{0, 2}; \quad (2)$$

$$F'_{35}(s/Z_i) = L_s \{f_s^{C2}(t, Z_i)[1 - F_s^{C1}(t, Z_i)]\}, \quad i = \overline{0, 2}.$$

В соответствии с этим, а также учитывая топологию графа состояний (рис. 2), динамическую систему, описывающую процесс конфликтного функционирования получим в следующем виде (рис. 3).

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MATLAB (SIMULINK)

Реализация модели в среде MATLAB (Simulink) представлена на рис. 4. Передаточные функции (рис. 3) реализовывались в виде инерционных звеньев, параметры которых определялись в соответствии с параметрами законов распределения времени. В качестве генератора входного воздействия использовался генератор ступенчатого напряжения величиной 1В. Выход полученной схемы подключался к осциллографу, показания которого соответствовали искомой вероятности. На рисунке 5 представлены графики вероятности  $P_4(t)$ , полученной на аналитической модели (рис. 5а) и показания осциллографа на выходе схемы, параметры элементов которой соответствовали параметрам аналитической модели (рис. 5б).

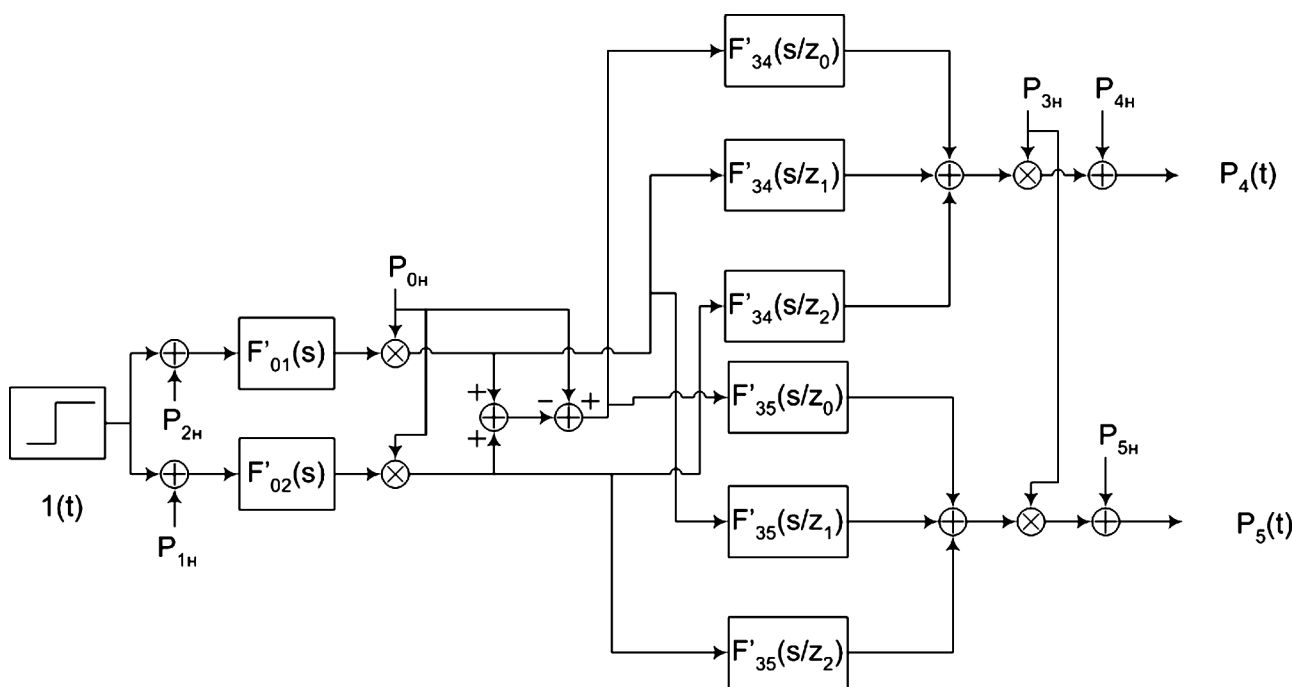


Рис. 3. Модель конфликта в виде передаточных функций

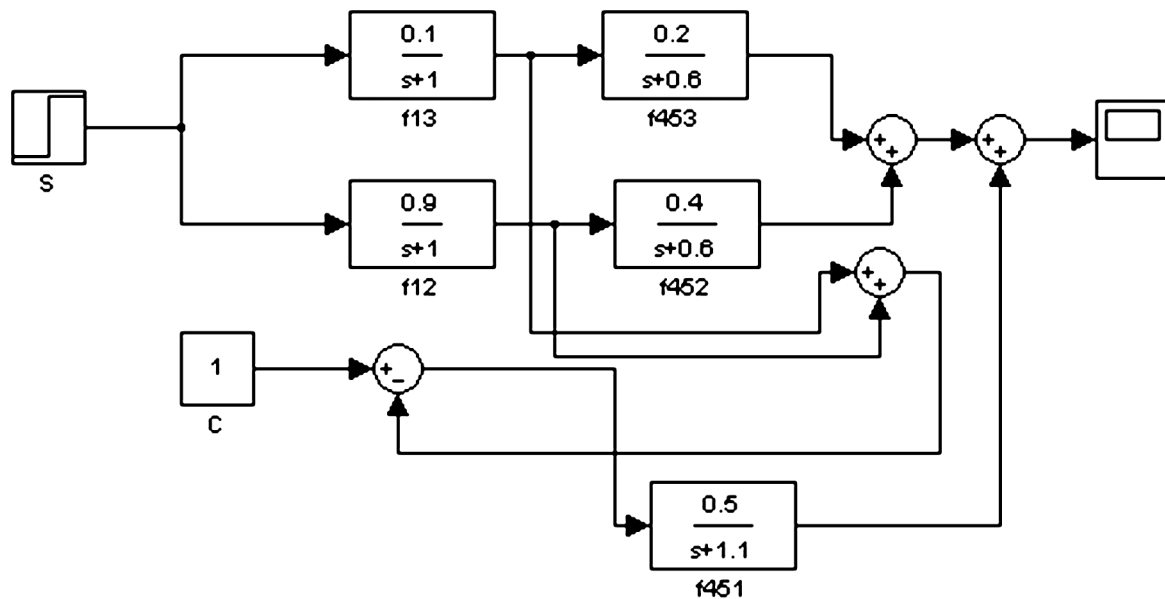


Рис. 4. Модель конфликта в среде MATLAB

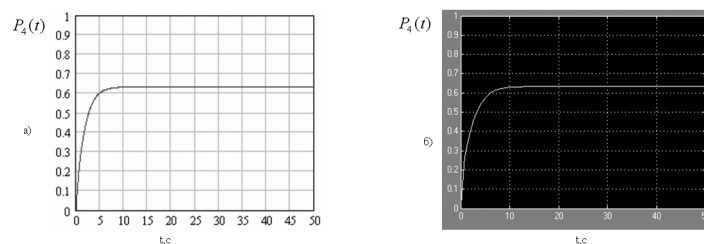


Рис. 5. Результаты моделирования

Таким образом, использование при формировании модели конфликта сложных систем математического аппарата ПМП с непрерывным временем и дискретным множеством состояний позволило: снять существенное ограничение на вид закона распределения времени выполнения функциональных задач подсистем рассматриваемых конфликтующих систем, обеспечило корректный учет (“вложение”) показателей нижнего уровня, характеризующих эффективность функционирования элементов систем, при определении показателей, отражающих протекание и исход конфликта, в виде вероятностей достижения преимущества в конфликте каждой из систем к моменту времени  $t$ .

Применение преобразования Лапласа к интегро-дифференциальным уравнениям ПМП позволило ввести понятие передаточной функции перехода в операторной форме, что в свою очередь определило возможность представления моделируемого процесса в виде динамической системы взаимосвязанных между собой

инерционных звеньев с соответствующими переходам передаточными функциями, и последующего моделирования полученной таким образом системы на ЭВМ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что компьютерная модель конфликта позволяет помимо получения безусловных вероятностей выигрыша в конфликте без дополнительных преобразований (путем подключения виртуального осциллографа в соответствующих точках) определять вероятности выигрыша при различных исходах обуславливающих частных конфликтах нижнего уровня.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саати Т.Л. Математические модели конфликтных ситуаций. Пер. с англ. Под ред. Ушакова И.А. — М.: “Сов. Радио”, 1977. — 170 с.
2. Козирацкий А.Ю., Паринов М.Л. Вероятностная модель конфликта сложных систем.// Материалы VI международной научно-методической конференции.: Информатика: проблемы, методология,

технологии. — Воронеж, ВГУ, 2006. — С. 315—319.

3. *Козирацкий А.Ю., Паринов М.Л. и др.* Обоснование характеристик конфликтно-обусловленных переходов в полумарковских вероятностных моделях. — Радиотехника №9, 2006. — С. 84—87.

4. *Козирацкий Ю.Л., Подлужный В.И., Паринов М.Л.* Методический подход к построению вероятностной модели конфликта сложных систем. Вестник ВИРЭ № 3 /— Воронеж: ВИРЭ, 2005. — С. 4—16.

5. *Сирота А.А.* Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем. — М.: Техносфера, 2006. — 279 с.

---

**Козирацкий Юрий Леонтьевич** — д.т.н., профессор кафедры, Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж).

**Козирацкий Александр Юрьевич** — д.т.н., доцент, зам. нач. кафедры, Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж)

**Гревцев Александр Иванович** — адъюнкт, Военный авиационный инженерный университет. E-mail: grevets1@rambler.ru.

**Паринов М.Л.** — к.т.н., преподаватель, Военный авиационный инженерный университет.

**Куцев С.С.** — адъюнкт, Военный авиационный инженерный университет.

**Koziratsky Ju. L.** — Doctor of Technic Sciences, Professor, Voronezh Military Aircraft Engineering College.

**Koziratsky A. Ju.** — Doctor of Technic Sciences, Professor, Voronezh Military Aircraft Engineering College.

**Grevtcev A.I.** — Post-Graduate Student, Voronezh Military Aircraft Engineering College. E-mail: grevets1@rambler.ru.

**Parinov M.L.** — Candidate of Technic Sciences, Associate Professor, Voronezh Military Aircraft Engineering College.

**Kuschev S. S.** — Post-Graduate Student, Voronezh Military Aircraft Engineering College.