

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНФЛИКТА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В КИБЕРПРОСТРАНСТВЕ

MATHEMATICAL MODEL OF THE CONFLICT OF SPECIAL-PURPOSE INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS IN CYBER SPACE

**K. Lukin
A. Sagdeev
I. Staheev
O. Titova**

Summary. A mathematical model of the ITCS SN conflict in cyberspace is presented, which allows for various values of periods of conflict interaction, parameters of the initial state of the ITCS SN, system performance and the implementation of information technology impacts by the enemy to investigate the effectiveness of combat cybernetic complexes.

Keywords: information and telecommunication system, cyberspace, information warfare, combat cybernetic system.

Лукин Константин Игоревич

*К.т.н., генеральный директор, ОАО «Супертел»,
Санкт-Петербург
ki@supertel.ru*

Сагдеев Александр Константинович

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
brother-aks@yandex.ru*

Стахеев Иван Геннадиевич

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
kisasig@yandex.ru*

Титова Ольга Викторовна

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
olga1110.spb@mail.ru*

Аннотация. Представлена математическая модель конфликта ИТКС СН в киберпространстве, которая позволяет для различных значений периодов конфликтного взаимодействия, параметров начального состояния ИТКС СН, производительности системы и реализации противником информационно-технических воздействий исследовать эффективность боевых кибернетических комплексов.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная система, киберпространство, информационное противоборство, боевая кибернетическая система.

При применении ИТКС СН {К} (стратегия «красных»), актуальной является задача обеспечения заданной эффективности их функционирования в условиях реализации противоборствующей стороной программно-аппаратных воздействий (ПАВ). Предполагается, что из состава ИТКС СН {К} выделяется ресурс организационно объединяемый в боевые кибернетические системы (БКС). БКС включает совокупность функционально объединенных единством цели элементов информационно-телекоммуникационной инфраструктуры (ИТКИ), которые обеспечивают управление, добывание информации, создание, хранение, передачу исполнительного элемента (ИЭ) (программного кода)

и средства и комплексы защиты информации (СКЗИ) (для общности — оборонительный элемент (ОБЭ)) для обеспечения действий ИТКС СН {К} в конфликте методами и средствами информационного противоборства в киберпространстве. [1]

ИТКС СН {С} (стратегия «синих») для обеспечения своих действий симметрично применяет БКС, структурно включающую:

- ♦ подсистему управления (ПУ);
- ♦ подсистему добывания информации (ПДИ), использующей множество различного типа ИС добывания информации об элементах ИТКС СН {К};

$$a_{sj} = \begin{cases} n_j, & \text{если } n_j \text{ элементов } j\text{-го типа работоспособны в } s\text{-ом состоянии} \\ \text{ИТКС СН } \{K\}, & n_j \overline{1}, \overline{N}_j, j = \overline{1}, \overline{J}, s = \overline{1}, \overline{S}; \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Рис. 1

- ♦ подсистему наступательных действий (ПНД), использующей множество различного типа ИЭ для воздействия на элементы ИТКС СН {K};
 - ♦ подсистему оборонительных действий (ПОД), использующей множество различного типа ОБЭ для пресечения ИЭ противника.

В условиях случайностей начала, продолжительности и исхода конфликта процесс функционирования ИТКС СН {K} оказывается стохастическим на конечном интервале времени до достижения одной из сторон минимального уровня эффективности функционирования. Для исследования этого требуется разработка модели функционирования ИТКС СН {K} в условиях использования для обеспечения эффективных действий БКС, эффект применения которой состоит в воздействии на элементы управляющей, информационной и исполнительной подсистем ИТКС СН {C} и ее БКС на различных этапах конфликта для неустановившегося переходного стохастического процесса конфликтного взаимодействия противоборствующих систем. [2]

Предлагается гипотеза: эффективность функционирования ИТКС СН применительно к условиям конфликта в киберпространстве возможно оценить через эффективность обеспечивающей ее системы — БКС. Причем оценке подлежит как «внешняя» эффективность БКС по показателям, характеризующими способность ИТКС СН выполнять функциональные задачи в условиях реализации противником информационно-технического воздействия (ИТВ) (в частности ПАВ), так и «внутренняя» эффективность БКС по показателям, характеризующими степень достижения цели функционирования при реализации оборонительных и наступательных действий. Полученные оценки позволят научно обосновывать оперативно-технические требования (ОТТ) непосредственно к ИТКС СН.

Состав и структуру ИТКС СН — К представим из виде совокупности N элементов различного целевого назначения:

$$N1\text{-ИЭ}, N2\text{-ОЭ} \text{ и } N3\text{-УЭ}, N = \sum_{j=1}^J N_j j = \overline{1}, \overline{J}.$$

ИТКС СН — К применяется в конфликте в течение времени T, состоящего из K этапов. Каждый этап вклю-

чает получение информации и принятие решений на применение ИЭ и обеспечивающего элемента (ОЭ) (функционируют управляющие элементы (УЭ)), обеспечение применения ИЭ (функционируют ОЭ), реализацию действий по подавлению средств ПДИ и защиты от средств ПНД ИТКС СН — С (функционируют ИЭ и СКЗИ) и смену конфигурации (участвуют УЭ, ОЭ, ИЭ и СКЗИ) ИТКС СН — К.

На всех этих этапах эффективно применению ИТКС СН — К противодействует БКС {C}, состоящая из двух последовательно функционирующих подсистем. Первая подсистема — ПДИ производит на основе Z информационных средств (ИС) добывания информации вскрытие (поиск, обнаружение и распознавание) элементов ИТКС СН — К с вероятностями p_{1j} , $j = \overline{1}, \overline{J}$ и передает эти данные на ПНД, которая, в свою очередь, осуществляет распределение ограниченного ресурса ИЭ по вскрытым элементам ИТКС СН — К согласно их места и роли (функциональному назначению) в обеспечении действий ИТКС СН — К. На основе информации от ИС добывания информации ПНД производит применение ИЭ по вскрытым элементам ИТКС СН — К, которое приводит к нарушению их работоспособности с вероятностью p_{2j} , $j = \overline{1}, \overline{J}$ и снижению эффективности действий ИТКС СН — К или прекращению её функционирования вовсе. ПНД, обладая ограниченным количеством Y ИЭ, стремится так их распределить по K, $k = \overline{1}, \overline{K}$ этапам функционирования Y_k и на y_{kj} элементы j-го типа, чтобы свести к минимуму эффективность выполнения задач ИТКС СН — К за время T или вовсе прекратить ее функционирование. Разработка модели осуществляется в предположении, что:

- ♦ в течение времени T восстановление нарушенной работоспособности элементов ИТКС СН — К не происходит и отсутствует возможность их замены; [3]
- ♦ одним ИЭ может нарушиться работоспособность только одного элемента;
- ♦ функционирование ИТКС СН — К определяется её состоянием, под которым понимается наличие определенного количества работоспособных элементов каждого типа и каналов связи между ними. [4]

Представим состояние ИТКС СН — К в виде вектора A_s , состоящего из J составляющих

$$F_K(i, A_s, Y) = \min_{\{y_{kj}\}} \left\{ \sum_{l=1}^K \left\{ \prod_{k=1}^l \left[\sum_{r=1}^S P_B(A_s(k), A_r(k), P_1(i)) \times \left[\sum_{m=1}^S P_{II}(A_s(k), A_r(k), A_m(k), P_2(i), Y_k) \times \left[b(k) f(A_m(k) + (1-b(k))) \right] \right] \right] \right\} \right\} \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{kj} = Y_k; \quad \sum_{k=1}^K Y_k = Y; \quad y_{kj} > 0 \forall a_{rj} > 0 \text{ и } y_{kj} = 0 \forall a = 0 \quad (1.2)$$

$$A_s = \|a_{sj}\|_J, a_{sj} \geq 0 \forall s = \overline{1, S},$$

где a_{sj} — целочисленный параметр, характеризующий количество работоспособных элементов j -го типа в s -ом состоянии ИТКС СН — K (рис. 1).

где S — возможное количество состояний, в которых может пребывать ИТКС СН — K за K периодов функционирования

$$S = \prod_{j=1}^J (1 + N_j).$$

Для сохранения в работоспособном состоянии элементов ИТКС СН — K применяет методы и средства ПАВ на ИС ИТКС СН — C , снижая вероятности p_{1j} и p_{2j} до значений $\overline{p_{1j(i)}}$, $\overline{p_{2j(i)}}$ на основе применения i -ых вариантов БКС, $j = \overline{1, J}$, $i = \overline{1, I}$, где I — возможное количество вариантов БКС $\{K\}$.

В этих условиях в качестве показателя эффективности (ПЭ) в модели информационного противоборства целесообразно исходя из физической сущности исследуемого процесса принять среднее количество задач (переданных сообщений, оказанных услуг связи) $F_k(i, A_s, Y)$, выполненных ИТКС СН — K за все K этапов функционирования при A_s начальном её состоянии и оптимальном использовании БКС $\{C\}$ Y ИЭ в условиях применения i -го, варианта БКС $\{K\}$ (формула 1.1) при ограничениях (формула 1.2).

Данный ПЭ фактически отражает все основные особенности функционирования ИТКС СН в условиях конфликта, являясь функцией этапов функционирования, начального состояния и распределения по этапам Y ИЭ противостоящей стороны, переводящих ее в каждом периоде из начального состояния $A_s(k)$ в любое $A_m(k)$ состояние, что приводит к ветвящемуся затухающему стохастическому процессу функционирования ИТКС СН. [5]

В выражении (1) приняты следующие условные обозначения:

P_B — вероятность вскрытия ПДИ противника состояния ИТКС СН, находящейся в состоянии $A_s(k)$ в k -ый, $k = \overline{1, K}$ этап;

$A_s(k) = \|a_{sj}(k)\|_J$ — начальное состояние ИТКС СН на k -ом этапе функционирования,

$$A_s(1) = A_s, s = \overline{1, S}, a_{sj}(k) \geq a_{sj}(k+1), k = \overline{1, K}, i = \overline{0, I}, j = \overline{1, J};$$

$A_r(k)$ — вектор состояния ИТКС СН, вскрытой ПДИ на k -ом этапе

$$A_r(k) = \|a_{rj}(k)\|_J, r = \overline{1, S}, k = \overline{1, K};$$

$A_{rj}(k)$ — количество вскрытых ПДИ противника элементов ИТКС СН j -го типа на k -ом этапе, по которым применяется Y средств ПНД противника в этом же этапе, $0 \leq a_{rj}(k) \leq a_{sj}(k)$;

$P_1(i)$ — эффективность функционирования Z средств ПДИ противника в условиях применения i -го варианта БКС $\{K\}$,

$$P_1(i) = \|p_{1j}(i)\|_J \forall i = \overline{0, I}; [6]$$

P_{II} — вероятность перехода ИТКС СН из состояния $A_s(k)$ в состояние сохраненных работоспособных элементов $A_m(k)$ к концу k -го этапа;

$A_m(k)$ — состояние ИТКС СН на k -ом, $k = \overline{1, K}$ периоде после применения по вскрытым элементам средств ПНД противника (Y_k),

$$A_m(k) = \|a_{mj}(k)\|_j;$$

$$A_s(k) = A_m(k-1) \quad (2)$$

$A_{mj}(k)$ — количество элементов j -го типа, сохраненных в работоспособном состоянии на k -ом этапе функционирования ИТКС СН после воздействия по ним средств ПНД противника:

$$P_{II} (A_s(k), A_r(k), A_m(k), P_2(i), Y_k) = \begin{cases} \prod_{j=1}^J \psi_j (a_{sj}(k), a_{rj}(k), a_{mj}(k), p_{2j}(i), y_{kj}) \\ \text{если } a_{sj} \geq a_{rj} \geq a_{mj} \geq y_{kj}; \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases} \quad (5.1)$$

$$\psi_j (a_{sj}(k), a_{rj}(k), a_{mj}(k), p_{2j}(i), y_{kj}) = \left[\sum_{\xi=\xi_0}^{a_{mj}^*} C_{y_{kj}}^{\xi} \left(1 - (1 - p_{2j}(i))^{y_{kj}^0 + 1} \right)^{\xi} \times (1 - p_{2j}(i))^{(y_{kj}^0 + 1)(y_{kj} - \xi)} \times \right. \\ \left. \times C_{a_{rj} - y_{kj}}^{a_{mj}^* - \xi} \left(1 - (1 - p_{2j}(i))^{y_{kj}^0} \right)^{a_{mj}^* - \xi} \times (1 - p_{2j}(i))^{y_{kj}^0 (a_{rj} - y_{kj} - a_{mj}^* + \xi)} \right] \times \\ \times y_{kj}^* + (1 - y_{kj}^*) \times C_{y_{kj}}^{a_{mj}^*} (1 - p_{2j}(i))^{y_{kj} - a_{mj}^*} \times p_{2j}^{a_{mj}^*}(i) \quad (5.2)$$

$$a_{mj}(k) = a_{sj}(k) - a'_{mj}(k) \quad (3)$$

$a'_{mj}(k)$ — количество j -го типа элементов, потерявших работоспособность в результате воздействия по ним ПНД противника на k -ом этапе, $0 \leq a'_{mj}(k) \leq a_{rj}(k)$;

$P_2(i)$ — эффективность функционирования средств ПНД противника в условиях применения i -го варианта БКС {K},

$$P_2(i) = \|p_{2j}(i)\|_J \quad \forall i = \overline{0, I};$$

$f(A_m(k))$ — количество задач, выполненных ИТКС СН в k -ом этапе, оказавшейся в состоянии $A_m(k)$ $A_m(k)$:

$$f(A_m(k)) \geq 0 \quad \forall k = \overline{1, K}, m = \overline{1, S} \quad (4)$$

$b(k)$ — бинарная переменная,

$$b(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } k = l, \\ 0, & \text{если } k < l. \end{cases}$$

Вероятность вскрытия $A_r(k)$ состояния ИТКС СН, находящейся в $A_s(k)$ состоянии при $P_1(i)$ эффективности функционирования средств ПДИ противника определяется зависимостью:

$$P_B (A_s(k), A_r(k), P_1(i)) = \begin{cases} \prod_{j=1}^J C_{a_{sj}}^{a_{rj}} p_{1j}^{a_{rj}} (1 - p_{1j}(i))^{a_{sj} - a_{rj}}, \\ \text{если } 0 \leq a_{rj} \leq a_{sj} \quad \forall j = \overline{1, J}; \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

где $C_{a_{sj}}^{a_{rj}}$ — число сочетаний из a_{sj} по a_{rj} , причем $C_{a_{sj}}^{a_{sj}} = 1$.

Вероятность перехода ИТКС СН из состояния $A_s(k)$ в состояние $A_m(k)$ при оптимальном использовании ИТКС СН — $C Y_k$ ИЭ на k -ом этапе по $A_r(k)$ вскрытым элементам при $p_2(i)$ эффективности функционирования средств ПНД противника в условиях применения i -го варианта БКС {K} рассчитывается в соответствии с выражением (формула 5.1), где (формула 5.2)

$$\text{если } a_s \geq a_r \geq a'_m > y_{kj},$$

где y'_{kj} — количество j -го типа элементов, на которые назначено по $(y_{kj}^0 + 1)$ ИЭ, а на остальные $(a_{rj} - y'_{kj})$ из вскрытых j -го типа элементов назначено по y_{kj}^0 ИЭ, $y_{kj}^0 = E[y_{kj}/a_{rj}]$, $y'_{kj} = y_{kj} - a_{rj} \times y_{kj}^0$;

$E[a]$ — целая часть числа a ;

y_{kj} — количество ИЭ, назначенных ПНД противника на k -ом этапе на вскрытые средствами ПДИ противника j -го типа элементы ИТКС СН {K}; [7–8]

a'_{mj} — количество элементов j -го типа, потерявших работоспособность, $a'_{mj} = a_{sj} - a_{mj}$

$$y_{kj}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } y_{kj} > a_{rj} \text{ (то есть } y_{kj}^0 > 0); \\ 0, & \text{если } y_{kj} \leq a_{rj}; \end{cases}$$

$$a_{mj}^* = \min\{y_{kj}^*, a'_{mj}\}; \quad \xi_0 = \max\{0, a'_{mj} + y'_{kj} - a_{rj}\}.$$

Таким образом, разработанная математическая модель ИП в киберпространстве на основе методов оптимального распределения ресурсов и стохастического динамического программирования позволяет для различных значений периодов конфликтного взаимодействия, параметров начального состояния ИТКС СН — К, производительности системы и реализации противником информационно-технических воздействий исследовать эффективность i -ых вариантов БКС {К} в прямой

постановке задачи и, соответственно, задавая значения эффективности i -ых вариантов БКС {К} предъявлять требования к производительности ИТКС СН — К, например, по своевременности доставки сообщений и/или обеспечиваемой пропускной способности, в зависимости от различных значений периодов конфликтного взаимодействия, параметров начального состояния и реализации противником информационно-технических воздействий, в обратной постановке задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сагдеев А.К., Чукариков А.Г. Обоснование оперативно-технических требований к информационно-телекоммуникационным сетям специального назначения, функционирующих с использованием ресурсов ЕСЭ РФ, в условиях конфликта в киберпространстве // Труды учебных заведений связи: сб. науч. ст. том 2 № 4/ под ред. С.В. Бачевского, М.В. Буйневич, Е.А. Аникевич — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 103 с. С. 99–103.
2. Кощеев А.В., Лашин Ю.Ф., Сагдеев А.К., Халепа С.Л. Вопросы конфликтологии в системах военного назначения // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки № 1–2 2022. С. 27–31.
3. Горбачева М.А., Сагдеев А.К. Проблемы обеспечения защищенности инфотелеком-муникационной сети военного назначения при ведении информационной войны // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. — Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2015, 552с. С. 426–429.
4. Лепешкин М.О., Лепешкин О.М., Сагдеев А.К. Анализ возможности реализации ролевого разграничения доступом в системах государственного управления // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т./ под ред. С.В. Бачевского, сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич, Л.М. Минаков. — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 550 с. С. 290–294.
5. Лепешкин М.О., Лепешкин О.М., Сагдеев А.К. Методологический подход оценки функциональной безопасности критической социотехнической информационной системы // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т./ под ред. С.В. Бачевского, сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич, Л.М. Минаков. — СПб.: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. — 550 с. С. 294–299.
6. Назарова О.Ю., Сагдеев А.К., Стахеев И.Г., Титова О.В., Шилина А.Н. Совершенствование методики количественной оценки угроз информационной безопасности телекоммуникационных систем и сетей // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки № 2 2021. С. 77–84.
7. Дробяскин А.Н., Сагдеев А.К., Сидоренко Е.Н., Ямбулатова К.И. Модель воздействия технической компьютерной разведки и деструктивных программных воздействий на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С.В. Бачевского; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 4. 503 с. С. 125–129.
8. Новак А.В., Сагдеев А.К., Сидоренко Е.Н., Суяндуква А.А. Методика мониторинга информационно-телекоммуникационной сети военного назначения во время техносферной борьбы // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С.В. Бачевского; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2018. Т. 4. 746 с. С. 367–370.

© Лукин Константин Игоревич (ki@supertel.ru), Сагдеев Александр Константинович (brother-aks@yandex.ru),

Стахеев Иван Геннадиевич (kisasig@yandex.ru), Титова Ольга Викторовна (olga1110.spb@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»