

УДК 519. 72

В.И. Сумин, О.В. Исаев, М.В. Скулков
**АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОХРАННЫХ СИСТЕМ И
ФАКТОРОВ НЕГАТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

*Воронежский институт ФСИИ России
Воронежский государственный педагогический университет*

С целью обеспечения высоконадежной обработки информации на практике при оценке устойчивости функционирования охранных систем, рассматриваемых с позиций информационных структур, в условиях негативных воздействий, необходимо не только разрабатывать новые модели и алгоритмы устойчивого взаимодействия элементов указанных информационных множеств, но и учитывать требования к эффективности протекающих при этом информационных процессов. Увеличение количества негативных воздействий на элементы охранных комплексов требует модернизации систем парирования негативных воздействий, а также проведения анализа устойчивости функционирования подобного рода информационных структур. Совершенствование информационных структур и оптимизация информационных процессов, произведенные на основе разработки адекватных моделей функционирования систем комплексной безопасности объектов особой важности в условиях факторов внешних воздействий, является актуальной в настоящее время научно-технической задачей, практическая реализация которой позволит минимизировать отставание темпов развития охранной техники и технологий от динамично совершенствующихся инструментов дестабилизации элементов систем охраны объектов особой важности. Разработка и решение адекватной математической модели взаимодействия информационных структур охранных систем и негативных воздействий призваны описать динамику эволюции их элементов на фазовой плоскости пространства, а с учетом интегрального представления условий устойчивости, а также второго метода Ляпунова сформировать математическую модель устойчивого управления информационным процессом взаимодействия элементов указанных информационных множеств. Задача анализа фазовых портретов состояния охранных комплексов как информационных систем связана с исследованием аттракторов, представляющих собой области (фазовые окрестности) пространства, состоящие из совокупности концентрических окружностей в виде множества точек, притягивающих траектории эволюции элементов информационных структур охранных систем и указывающих на области их устойчивого функционирования.

Ключевые слова: аттрактор, алгоритм, динамическая система, устойчивость, эффективность, информационная система, информационная структура, информационный процесс, информационное множество, модель взаимодействия, управление.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время очень остро стоит проблема обеспечения охраны и безопасности, а также сохранности материальных ценностей различных

объектов особой важности (ООВ). Совокупности угроз, воздействующих на ООВ в виде различного рода негативных воздействий (НВ), могут значительно различаться между собой. В связи с этим изменениям подвергаются и функции охранных систем (ОС), а также конфигурации их построения [1].

В современных условиях необходимо решить актуальную задачу повышения эффективности оборудования ООВ элементами ОС на основе разработки новых моделей и алгоритмов формирования информационных структур (ИС) и информационных процессов (ИП), адекватно описывающих специфику функционирования технических комплексов ОС, а также особенности решаемых при этом профессиональных задач.

Разработка и решение адекватной математической модели взаимодействия информационных структур охранных систем и негативных воздействий призваны описать динамику эволюции их элементов, а также сформировать математическую модель устойчивого управления информационным процессом взаимодействия элементов указанных информационных множеств.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Введем понятие модели информационного взаимодействия (S) элементов ИС ОС и НВ [2], которая представима в виде следующего кортежа (1), Рисунок 1:

$$S = \langle S_i \rangle, i = 1, \dots, 6, \quad (1)$$

где S_1 – множество элементов ИС ОС; S_2 – множество элементов ИС НВ; S_3 – множество элементов ОС во взаимодействии с НВ; S_4 – ИС ОС; S_5 – ИС взаимосвязи множества элементов ИС ОС (S_1) и НВ (S_2); S_6 – модель формирования ИС взаимосвязи множества элементов ИС ОС (S_3) и НВ (S_2).

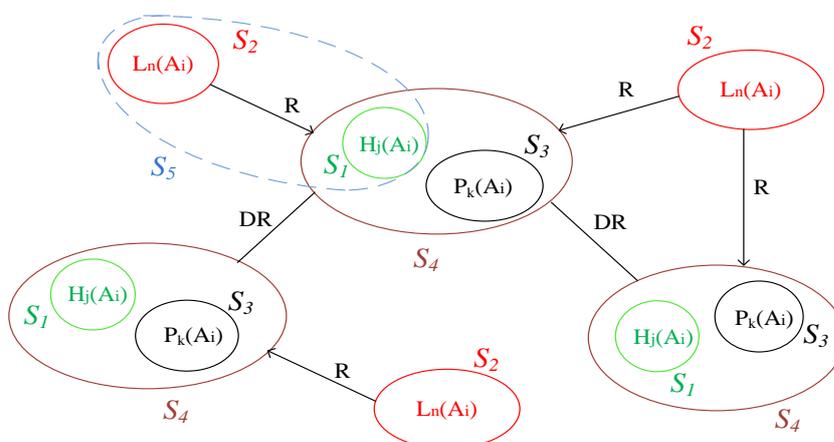


Рисунок 1 - Фрагмент модели информационного взаимодействия элементов ИС ОС и НВ

ОС являются сложными информационными структурами, интегрирующими различные типы простейших элементов инженерной укрепленности ООВ, $A = \{A_i\}$.

Множество элементов ИС ОС (S_1) представим в виде нуль-графа: $G_{S1} = (H(A), \emptyset)$, где $H(A) = \{H_j(A_i)\}$ – множество j -х вершин элементов S_1 с множеством i -ых типов элементов A_i . ИС взаимосвязи элементов множества S_1 представим в виде графа: $G_H = (H_j(A_i), DR)$, где $\{DR\}$ – множество связей между $H_j(A_i)$ – элементами множества S_1 . Множество элементов ИС НВ представим в виде нуль-графа: $G_{S2} = (L(A), \emptyset)$, где: $L(A) = \{L_n(A_i)\}$ – множество n -х элементов НВ на элементы A_i . Отметим, что объединение вершин нуль-графа $G_A = (\{A_i\}, \emptyset)$, формируемого на основе G_{S1} , образует систему A , как входной объект для множества элементов ИС НВ. ИС S_5 будем описывать в виде двудольного графа: $G_{S5} = (W, R)$, где множество вершин $W = A \cup L(A)$, $|A| > 0$, $|L(A)| > 0$ и множество ребер $R \in (A_i, L_n(A_i))$, которое является связью с системой НВ, $|A|$ – количество элементов (мощность) множества $A = \{A_i\}$, $|L(A)|$ – количество элементов (мощность) множества $L(A) = \{L_n(A_i)\}$ [3].

Под двудольным графом будем понимать граф, множество вершин которого состоит из двух частей $A \cup L(A)$, причем не существует ребра R , которое соединяло бы две вершины из одной и той же части.

Множество элементов ИС ОС во взаимодействии с элементами НВ (S_3) опишем нуль-графом: $G_{S3} = (P(A), \emptyset)$, где: $P(A) = \{P_k(A_i)\}$ – множество k -х элементов ИС ОС, обеспечивающих парирование угроз системы НВ для A_i – элементов множества S_1 .

Представим ИС ОС (S_4) в виде двудольного графа: $G_{S4} = (N, DR)$, где множество вершин $N = A \cup P(A)$, $|A| > 0$, $|P(A)| > 0$ и множество ребер $DR \in (A_i, P_k(A_i))$, $|P(A)|$ – количество элементов (мощность) множества $P(A) = \{P_k(A_i)\}$.

С точки зрения информационного взаимодействия под ребром DR подразумевается физическая линия связи стандарта Ethernet 10/100 с формируемым в ней цифровым информационным потоком, адекватно описывающим состояние выходных контактов шлейфов охранной сигнализации на предмет изменения во времени порогового значения сопротивления.

Взаимосвязь множества элементов ОС и НВ представим в виде: $V:(Y \times R) \rightarrow DR \Leftrightarrow V(y, rd) = dr$, где V – функция реакции ИС ОС на НВ, $y \in Y$ – множество состояний ИС ОС; DR, R – множество выходов и входов ИС ОС.

Модель ИС S_6 можно представить в виде ориентированного графа $G_{S_6} = (H(A), E_{RDR})$ с множеством вершин $H(A)$ и дуг E_{RDR} . Взаимодействие ИС S_3 и S_2 представимо в виде динамической системы. В связи с этим сравнение R и DR позволило произвести оценку устойчивости функционирования ИС S_3 по отношению к внешним воздействиям. Такой подход позволит произвести оценку возможности преодоления элементов ИС S_3 системой НВ.

Любую из подсистем ИС S_{3i} в условиях негативных воздействий S_{2j} предлагается рассмотреть, как процесс «вход – выход» динамической системы (Рисунок 2):

$$DR_i(t) = V_{ij}(Y_i(t), R_j^i(t)), \quad (2)$$

$$\frac{dY_i(t)}{dt} = H_{ij}(Y_i(t), R_j^i(t)), \quad (3)$$

где $Y_i(t) = \{y_i(t)\}$ – множество состояний элементов ИС ОС; $DR_i(t) = \{dr_i(t)\}$, $R_j^i(t) = \{rd_j^i(t)\}$ – множество выходов и входов элементов ИС ОС; H_{ij} и V_{ij} – нелинейные зависимости поведения элементов ОС в условиях НВ; $t = [t_0, t_k)$ – отчетный интервал времени, $t_k \leq \infty$.

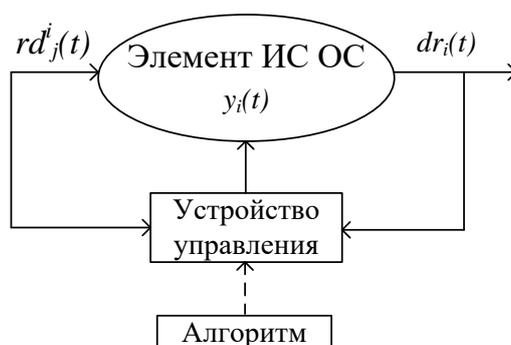


Рисунок 2 - ИС S_{3i} в условиях негативных воздействий S_{2j}

Анализируя специфику протекания информационного процесса, возникающего в рамках взаимодействия элементов рассматриваемых информационных множеств, отметим следующее.

Пусть в i -м такте взаимодействия элементов ИС ОС и НВ на вход функции V_i поступает входное НВ $rd_j^i(t)$, что представим в виде $dr_i(t) = V_i(y_i(t), rd_j^i(t))$.

Поступающее НВ на вход элемента ИС ОС, находящегося в состоянии $dr_i(t)$, НВ с характеристикой $(j+1)$ в $(i+1)$ – такте, $rd_{j+1}^{i+1}(t)$, обосновано запасом устойчивости рассматриваемого элемента множества S_3 к НВ и характеризует функцию состояния ОС $dr_{i+1}(t) = V_{i+1}(y_{i+1}(t), rd_{j+1}^{i+1}(t))$. За счет НВ на элемент ИС ОС получены значения выходных

состояний $DR_i(t) = \{dr_i(t)\}$ ОС для каждого из моментов времени в интервале $t = [t_0, \infty)$. Данный цикл повторяется в интервале t для всех $i = \overline{1, j}$ до момента, пока элемент ИС ОС не будет преодолен в условиях НВ.

Анализ содержания и принципов функционирования элементов множества S_3 в условиях НВ позволяет обеспечить максимально эффективный подход к организации устойчивых ИС ОС. Исходя из этого, возникает задача разработки математической модели устойчивого управления ИП взаимодействия ОС и НВ.

В условиях динамического развития элементов информационных множеств S_2 и S_3 процесс функционирования ИС ОС возможно описать на основе применения обобщенного критерия к оценке устойчивости взаимовлияния элементов ИС ОС и НВ в условиях неопределенности с использованием теории графов [4].

С целью анализа модели ИП формирования ИС взаимосвязи множества элементов ИС ОС (S_3) и НВ (S_2), представленной выражением 3, рассмотрим матрицу связанности M^{ij} размерностью $M \times N$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{0, n}$ для каждой из пар элементов ИС S_{3i} и S_{2j} . Значение «0» элемент матрицы связанности M^{ij} принимает в случае отсутствия связи между элементами ИС S_{3i} и S_{2j} . Значение «1» – в случае наличия связи между элементами ИС S_{3i} и S_{2j} и при условии того, что соответствующая координата вектора DR_i становится координатой R_j , т.е. часть выходов S_{3i} передается на входы системы S_{2j} :

$$R_j^{i+1} = M^{ij} DR_i. \quad (4)$$

Необходимо отметить, что с точки зрения информационного взаимодействия ИС ОС и НВ под значением «0» матрицы связанности будем понимать состояние «норма» выходных шлейфов охранной сигнализации (ШОС) по сопротивлению (3,9 кОм), т.е. элемент ИС ОС не преодолен. Под значением «1» будем понимать НВ на элементы ИС ОС, в результате которого происходит изменение контрольного порогового значения сопротивления выходных ШОС в пределах от 3,9 кОм до 100 кОм («тревога»). В случае превышения порогового значения сопротивления ШОС (100 кОм) НВ будем считать успешным, т.е. элемент ИС ОС преодолен.

Конкретизируем понятие реакции ИС ОС на НВ на примере взаимодействия элементов S_{3i} и S_{2j} .

$$V_i : (Y_i \times R_j^i) \rightarrow DR_i, V_i(y_i, rd_j^i) = dr_i. \quad (5)$$

Преобразовав (4) с учетом равенства (5), имеем:

$$rd_j^{i+1} = M^{ij}V_i(y_i, rd_j^i), \quad (6)$$

где rd_j^{i+1} – выходное значение элемента S_{3i} , которое в то же время является входом для элемента S_{3i+1} , rd_j^i – значение входного воздействия элемента S_{2j} на элемент S_{3i} .

Обозначив $M^{ij}V_i$ через Q_{ij} , получим:

$$rd_j^{i+1} = Q_{ij}(y_i, rd_j^i). \quad (7)$$

Запишем выражение (7) в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} rd_1^1 & rd_1^2 & \dots & rd_1^N \\ rd_2^1 & rd_2^2 & \dots & rd_2^N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ rd_M^1 & rd_M^2 & \dots & rd_M^N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{01}(y_0, rd_1^0) & Q_{11}(y_1, rd_1^1) & \dots & Q_{(N-1)1}(y_{(N-1)}, rd_1^{(N-1)}) \\ Q_{02}(y_0, rd_2^0) & Q_{12}(y_1, rd_2^1) & \dots & Q_{(N-1)2}(y_{(N-1)}, rd_2^{(N-1)}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{0M}(y_0, rd_M^0) & Q_{1M}(y_1, rd_M^1) & \dots & Q_{(N-1)M}(y_{(N-1)}, rd_M^{(N-1)}) \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где $M \times N$ – размерность матрицы.

Тогда формализацию процесса функционирования ИС ОС в условиях НВ представим в виде матрицы входных возмущений rd^* по всем S_{3i+1} :

$$rd^* = Q(y, rd). \quad (9)$$

Проанализируем специфику функционирования ИС ОС в условиях НВ с учетом временных характеристик. Представим входные/выходные состояния элементов ИС ОС в виде соответствующих значений матрицы возмущений: $R_j^i(t) = \{rd_j^i(t)\}$ и $DR_i(t) = \{dr_i(t)\}$ в каждый из моментов времени $t \in [t_0, \infty)$.

Формализацию процесса функционирования ИС ОС в условиях негативных воздействий с учетом временных характеристик и зависимости от параметров сложности её элементов ξ представим в виде матрицы:

$$rd^*(\xi, t) = Q(y(\xi, t), rd(\xi, t)), \quad (10)$$

где $rd(\xi, t) = (rd_1(\xi, t), rd_2(\xi, t), \dots, rd_M(\xi, t))$ – вектор входов в момент времени $t \in [t_0, \infty)$.

При условии непрерывности временных параметров, процесс функционирования элементов ИС ОС как информационной системы (ИС)

в условиях НВ возможно представить не в векторной форме записи (10), а в интегральной.

Процесс функционирования ИнС S_3 в условиях НВ с учетом (10), а также при условии рассмотрения $Q(y, rd)$ как дифференцируемой функции поведения ОС в условиях НВ представим в виде (11). Это позволит проанализировать взаимосвязь понятия устойчивости функционирования ИнС S_3 в условиях НВ с её определением по Ляпунову [5].

$$\frac{dY^*(\xi, t)}{dt} = Q(Y(\xi, t), R(\xi, t)). \quad (11)$$

где $\xi \in [1, 100)$, $t \in [t_0, \infty)$.

Рассмотрим взаимосвязь понятия устойчивости функционирования ИнС S_3 с её определением по Ляпунову.

Под устойчивостью ИнС S_3 будем понимать её способность противостоять возмущающим воздействиям на заданном уровне качества в течение конкретного интервала времени при условии влияния на её элементы как извне, так и изнутри.

Решение $\bar{y}(\xi, t)$ уравнения (11) определяет решение математической модели ИнС S_3 . Напомним определение устойчивости по Ляпунову [66, 76].

1. Решение $\bar{y}(\xi, t)$ уравнения (11), которое удовлетворяет начальному условию $\bar{y}(\xi, t_0) = \bar{\alpha}$ и определено на всей полуоси $[t_0, \infty)$, называется устойчивым по Ляпунову, если для всякого $\varepsilon > 0$ существует такое $\delta(\varepsilon)$, что для всех начальных условий, отличающихся от $\bar{\alpha}$ меньше, чем на δ , соответствующее решение существует на всей полуоси $[t_0, \infty)$ и отличается от $\bar{y}(\xi, t)$ меньше, чем на ε .

Запишем условие 1 кванторами в следующей форме

$$\forall \varepsilon > 0 \exists \delta = \delta(\varepsilon) : \forall \alpha : |\alpha - \bar{\alpha}| < \delta,$$

1) решение $y(\xi, t) : y(\xi, t_0) = \alpha$ существует на $[t_0, \infty)$;
2) $\forall t \geq t_0 : |y(\xi, t) - \bar{y}(\xi, t)| < \varepsilon.$

Иными словами, обеспечивается существование относительно небольшой области пространства возмущающих воздействий на элементы ИнС S_3 , где реализуются те, либо иные свойства системы элементов ИС ОС и НВ.

Необходимо отметить, что при решении задачи оценки характеристик взаимодействия элементов ИС ОС и НВ определение устойчивости целесообразно производить в соответствии со вторым методом Ляпунова, что является следствием устойчивости по Ляпунову при ограниченности начальных условий (11) на интервале времени $t \in [t_0, \infty)$. В соответствии с этим конкретизируем понятие устойчивости ИнС S_3 .

2. Решение $\bar{y}(\xi, t)$ асимптотически устойчиво, если оно устойчиво в смысле условия 1 и $|y(\xi, t) - \bar{y}(\xi, t)|$ не просто меньше ε , а стремится к нулю при $t \rightarrow \infty$.

В соответствии с тематикой исследования, приведенной в работе [6], отмечена рациональность применения второго метода Ляпунова в определении области устойчивого функционирования нелинейных ИнС, так как в реальных условиях достаточно проблематично обеспечить сколь угодно малую окрестность возмущения (НВ). Вследствие этого анализ устойчивости функционирования ОС рассматривается относительно характеристик входящих в их состав подсистем.

Необходимо отметить, что элементам ОС присущи свойства диссипации энергии при их взаимодействии с внешней средой, а также нелинейности поведения. Это обуславливает условия существования аттрактора. Под аттрактором будем понимать фазовую окрестность пространства $\{Y^*(\xi, t)\}$, притягивающую траектории эволюции элементов ИС ОС при $t \rightarrow \infty$ и указывающую на области устойчивого функционирования ОС. Иными словами, функционирование ИнС S_3 устойчиво, если решение (11) входит в режим аттрактора и не выходит из него.

Практический интерес вызывают вопросы определения размерности целочисленного пространства состояний ИнС S_3 по известной фрактальной размерности ε -окрестности, которую будем интерпретировать как аттрактор [7]. Важно отметить, что размерность целочисленного пространства характеризует в нашем случае количеством элементов ИС ОС, которые будут преодолены в условиях НВ, что, в свою очередь, является достаточно актуальной темой при решении задач оптимизации построения эффективных охранных структур.

Пространственное вложение фрактальной размерности в целочисленное пространство возможно осуществить на основе выражения (12) теоремы Такенса [7]:

$$m \geq 2d + 1, \quad (12)$$

где m – размерность целочисленного пространства, d – размерность аттрактора (значение ε -окрестности).

Теорема Такенса обобщает теорему Уитни о вложении

дифференцируемых многообразий в конечномерное пространство, предполагая под собой идею реконструкции аттрактора. Так произвольное гладкое m -мерное многообразие со счетной базой допускает гладкое вложение в $2m$ -мерное евклидово пространство. Для динамической системы (11), удовлетворяющей не очень ограниченным условиям, погружение Уитни, в случае общего положения, будет вложением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении следует отметить, что разработка и решение адекватной математической модели взаимодействия информационных структур охранных систем и негативных воздействий призваны описать динамику эволюции их элементов на фазовой плоскости пространства, а с учетом интегрального представления условий устойчивости, а также второго метода Ляпунова сформировать математическую модель устойчивого управления информационным процессом взаимодействия элементов указанных информационных множеств. Задача анализа фазовых портретов состояния охранных комплексов как информационных систем связана с исследованием аттракторов, представляющих собой области (фазовые окрестности) пространства, состоящие из совокупности концентрических окружностей в виде множества точек, притягивающих траектории эволюции элементов информационных структур охранных систем и указывающих на области их устойчивого функционирования.

Разработка и решение системы интегро-дифференциальных уравнений, описывающих поведение охранного комплекса как информационной системы в условиях наличия факторов внешних воздействий, численными методами позволит проанализировать специфику протекающих при этом информационных процессов, что, в свою очередь, даст представление о многообразии возможных параметров взаимодействия элементов ИС ОС и НВ и алгоритмах управления ими.

Решение данного рода задач является весьма трудоемким процессом, требующим применения методов теории вероятностей и математической статистики, вычислительных экспериментов, имитационного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Концепции развития служб охраны и конвоирования уголовно-исполнительной системы Российской Федерации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу [Текст]: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 октября 2010 г. № 1772-р [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система КонсультантПлюс (09.04.2018).

2. Асанов М.О. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы [Текст] / М.О. Асанов, В.А. Баранский, В.В. Расин. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2001. – 288 с.
3. Аграновский А.В. Теоретико-графовый подход к анализу рисков в вычислительных сетях [Текст] / А.В. Аграновский, Р.А. Харди, В.Н. Фомченко, А.П. Мартынов, В.А. Снапков // Защита информации. Конфидент. – 2002. №2. – С. 50–54.
4. Советов Б.Я. Теория информационных процессов и систем [Текст] / Б.Я. Советов, В.А. Дубенецкий, В.В. Цехановский, О.И. Шеховцов. – М.: Академия, 2010. – 432 с.
5. Ляпунов А.М. Избранные труды. Работы по теории устойчивости [Текст] / А.М. Ляпунов. – М.: Наука, 2007. – 574 с.
6. Щенникова Е.В. Управление нелинейными динамическими системами и анализ их устойчивости [Текст]: дис. ... д-ра. физ.-мат. наук / Е.В. Щенникова. – Москва, 2006. – 220 с.
7. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы [Текст] / Б. Мандельброт. – М., 2002.

V.I. Sumin, O.V. Isaev, M.V. Skulkov

**ANALYSIS OF STABILITY OF INFORMATION EXCHANGE OF
ELEMENTS OF SECURITY SYSTEMS AND FACTORS OF NEGATIVE
IMPACTS**

*Voronezh Institute of Russian Federal Penitentiary Service
Voronezh state pedagogical university*

With the purpose of ensuring highly reliable information processing in practice at assessment of stability of functioning of the security systems considered from positions of information structures in the conditions of negative impacts, it is necessary not only to develop new models and algorithms of steady interaction of elements of the specified information sets, but also to consider requirements to efficiency of the information processes proceeding at the same time. Increase in amount of negative impacts on elements of security complexes demands modernization of systems of parrying of negative impacts and also carrying out the analysis of stability of functioning of this sort information structures. The improvement of information structures and optimization of information processes made on the basis of development of adequate models of functioning of systems of complex safety of objects of special importance in the conditions of factors of external influences is a scientific and technical task relevant now which implementation will allow to minimize lag of rates of development of the security equipment and technologies from dynamically improved instruments of destabilization of elements of systems of protection of objects of special importance. Development and the solution of adequate mathematical model of interaction of information structures of security systems and negative impacts are intended to describe dynamics of evolution of their elements on the phase plane of space and taking into account integrated representation of stability conditions and also the second method of Lyapunov to

create mathematical model of steady management of information process of interaction of elements of the specified information sets. The task of the analysis of phase portraits of a condition of security complexes as information systems is connected with a research of the attractors representing areas (the phase vicinities) of space consisting of set of concentric circles in the form of a set of the points which are attracting trajectories of evolution of elements of information structures of security systems and indicating areas of their steady functioning.

Keywords: attractor, algorithm, dynamic system, stability, efficiency, information system, information structure, information process, information set, interaction model, management.

REFERENCES

1. Ob utverzhdenii Kontseptsii razvitiya sluzhb okhrany i konvoirovaniya ugolovno-ispolnitel'noy sistemy Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda i dal'neyshuyu perspektivu [Tekst]: Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 14 oktyabrya 2010 g. № 1772-r [Elektronnyy resurs] // Spravochno-pravovaya sistema Konsul'tantPlyus (09.04.2018).
2. Asanov M.O. Diskretnaya matematika: grafy, matroidy, algoritmy [Tekst] / M.O. Asanov, V.A. Baranskiy, V.V. Rasin. – Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i khaotichnaya dinamika», 2001. – 288 p.
3. Agranovskiy A.V. Teoretiko-grafovyy podkhod k analizu riskov v vychislitel'nykh setyakh [Tekst] / A.V. Agranovskiy, R.A. Khardi, V.N. Fomchenko, A.P. Martynov, V.A. Snapkov // Zashchita informatsii. Konfident. – 2002. No.2 – pp. 50–54.
4. Sovetov B.Ya. Teoriya informatsionnykh protsessov i sistem [Tekst] / B.Ya. Sovetov, V.A. Dubenetskiy, V.V. Tsekhanovskiy, O.I. Shekhovtsov. – M.: Akademiya, 2010. – 432 p.
5. Lyapunov A.M. Izbrannye trudy. Raboty po teorii ustoychivosti [Tekst] / A.M. Lyapunov. – M.: Nauka, 2007. – 574 p.
6. Shchennikova E.V. Upravlenie nelineynymi dinamicheskimi sistemami i analiz ikh ustoychivosti [Tekst]: dis. ... d-ra. fiz.-mat. nauk / E.V. Shchennikova. – Moskva, 2006. – 220 p.
7. Mandel'brod B. Fraktal'naya geometriya prirody [Tekst] / B. Mandel'brod. – M., 2002.