

УДК 621.34

А.А.Можаев, д-р. техн. наук, **С.Г. Семенов**, д-р. техн. наук, **В.В. Казимилова**, **М.А. Можаев**
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
 Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина.

Усовершенствование математической модели защищенной информационно-телекоммуникационной системы с использованием теории чувствительности

Предложен подход к моделированию защищенной информационно - телекоммуникационной системы на основе теории чувствительности. Проведены исследования существующих подходов к математическому моделированию сложных технических систем. Усовершенствована математическая модель защищенной информационно - телекоммуникационной системы, отличающаяся от известных учетом существующих особенностей злоумышленных внешних воздействий и соответствующих изменений внутренних характеристик системы. Разработаны уравнения чувствительности высших порядков, которые позволяют улучшить точность описания процесса изменений параметров защищенной информационно-телекоммуникационной системы в условиях независимых злоумышленных воздействий. Библ. 10.

Ключевые слова: *теория чувствительности, информационно-телекоммуникационные системы, информационная безопасность.*

Введение

На современном этапе развития информационно- телекоммуникационных систем (ИТС) защита информации пользуется у специалистов все большим вниманием. Вызвано это множеством факторов [1], влияющих на состояние безопасности информации в ИТС, а так же ценностью обрабатываемых и хранимых информационных ресурсов.

Как показали исследования [1-11] проблематика обеспечения информационной безопасности (ИБ) не только обладает свойством повышенной важности, но и имеет тенденцию повышения сложности в решении поставленных задач. Подтверждением этому могут служить примеры нарушения ИБ, все чаще достигающие дестабилизирующих результатов, и требующие дополнительных финансово-экономических затрат на компенсацию ущерба.

В последнее время разрабатывается и внедряется все больше современных, высокопро-

изводительных средств обеспечения безопасности. Однако, все эти средства могут отвечать заданным требованиям качества только в том случае, если их проекты и процесс реализации основаны на математических моделях, адекватно их описывающих, и содержащих показатели безопасности, удовлетворяющие конечных пользователей.

Анализ литературы [2-11] показал, что в настоящее время существует множество подходов к математическому моделированию сложных технических систем: от широко известных и распространенных (с помощью дифференциальных уравнений, графового, системы массового обслуживания и др.) до нестандартных, и до конца не исследованных (поточковых, тензорных, нейронных сетей и др.).

Однако, большинство известных математических моделей, ограничено рядом временных и вероятностных пределов, кроме того, большинство из них допускает условие линейности при описании системы.

В то же время, как только возникает задача описания сложных нелинейных систем (например, защищенная ИТС) разработанные модели оказываются сложными и практически нереализуемыми.

В работах [4,7] предпринята попытка создания адекватной математической модели защищенной ИТС с использованием теории чувствительности. Так в работе [7] представлена система уравнений, описывающая динамические изменения поведения защищенной ИТС при внешних воздействиях:

$$\overline{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + E(t)\chi(t), \quad (1)$$

$$y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t) + E(t)\chi(t) + \zeta(t), \quad (2)$$

$$x(t_0) = x_0, \quad (3)$$

где $\overline{x}(t) \in \overline{X}$ – измеряемый m -мерный вектор координат состояния системы; $x(t) \in X$ – m -мерный вектор координат состояния системы; $u(t) \in U$ – k -мерный вектор управления;

$A(t)$, $B(t)$, $E(t)$, $C(t)$, $D(t)$, $\zeta(t)$ – непрерывные матрицы ненаблюдаемых ошибок измерения, $\chi(t)$ – m -мерный вектор неконтролируемых внешних воздействий.

Свойства защищенности от внешних воздействий в указанной системе предлагается оценивать с использованием функций чувствительности:

$$\dot{U}_j = A(t)U_j + \frac{\partial f}{\partial p_j}, \quad (j = 1, \dots, J), \quad (4)$$

$$\dot{\chi}_j = E(t)\chi_j, \quad (j = 1, \dots, J) \quad (5)$$

где $f \equiv A(t)x(t) + B(t)u(t) + E(t)\chi(t)$, p – параметр чувствительности системы к внешним воздействиям, а функции U_j и χ_j оцениваются как:

$$U_j = \frac{\partial x}{\partial p_j},$$

$$\chi_j = \frac{\partial \dot{x}}{\partial p_j}.$$

Несмотря на простоту и точность определения динамических свойств системы с помощью выражений 1-5 учет всего спектра возможных деструктивных возмущений (угроз) ИТС требует конкретизации функции чувствительности и адаптации их реальным условиям функционирования защищенных ИТС. Кроме того, в нелинейных системах очень важной задачей остается учет начальных отклонений (возмущений) системы.

Поэтому научная задача усовершенствования математической модели защищенной ИТС путем уточнения составных уравнений и функций чувствительности является актуальной.

Основная часть

На практике существует ряд примеров воздействия на ИТС различных внешних факторов, вызывающих зависимые или независимые между собой изменения внутренних характеристик. Например, деструктивные изменения различных внутренних характеристик (коэффициента доступности к информации, коэффициента ее актуальности и др.) могут быть вызваны одной атакой несанкционированного доступа (НСД) к системе. При этом можно считать, что данные деструктивные изменения зависимы между собой (вызваны одним внешним воздействием).

В то же время существует и множество других примеров, когда изменения внутренних характеристик (даже одних и тех же) вызваны различными внешними воздействиями и, соот-

ветственно, имеют свойство независимости друг от друга.

Указанные примеры подтверждают необходимость уточнения уравнения и функций чувствительности с учетом приведенных факторов.

1. Параметрическая математическая модель защищенной ИТС

Рассмотрим первый случай (зависимых изменений внутренних характеристик), который может быть описан с помощью параметрической математической модели (с зависимостью от одного параметра).

Для учета фактора зависимости изменений внутренних характеристик заменим вектор параметров p на один скалярный параметр p_α .

Тогда инерционную динамическую модель защищенной ИТС можно представить в виде [7]:

$$S(t) = F_1(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau), \quad (6)$$

$$Y(t) = F(S, A, U, \chi, p_\alpha, t), \quad (7)$$

где $S(t) \in R^S$ – вектор внутреннего состояния объекта управления; $\tau \in \mathfrak{T}$ – некоторый интервал времени (временная задержка); F_1, F – внутренние нелинейные операторы, структура которых известна с точностью до векторов искомого параметров $A_1(t), A(t)$; принадлежащих ограниченной, но априори неизвестной области $G_A \subseteq R^V$; $Y(t)$ – вектор выходных параметров системы.

Параметр p_α определяет полную группу и однопараметрическое семейство решений, если начальные условия однозначно зависят от p_α .

$$t_0 = t_0(p_\alpha), \quad Y_0 = Y_0(p_\alpha), \quad S_0 = S_0(p_\alpha),$$

$$U_0 = U_0(p_\alpha), \quad \chi_0(p_\alpha), \quad (8)$$

где Y_0 – начальное значение вектора выходных параметров системы; S_0 – начальное значение вектора внутренних состояний системы; U_0, χ_0 – начальные значения векторов внешних воздействий.

Утверждение 1. Если функции (9) непрерывно дифференцируемы по p_α , то решение $S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)$, удовлетворяющее условиям $S_0 = S_0(S_0(p_\alpha), A_1, U_0(p_\alpha), \chi_0(p_\alpha), t_0(p_\alpha), p_\alpha, \tau) = Y_0(p_\alpha)$,

непрерывно дифференцируемо по p_α на любом замкнутом интервале t , при котором решение $S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)$ принадлежит некоторой области \bar{P} , в которой правая часть уравнения 7

непрерывно дифференцируема по S , p_α . При этом, используя выражения 4, 5 уравнения чувствительности [8, 9] можно описать как:

$$\dot{U}(t, p_\alpha) = A(t)U(t, p_\alpha) + \frac{\partial f}{\partial p_\alpha}, \quad (9)$$

$$\dot{\chi}(t, p_\alpha) = E(t)\chi(t, p_\alpha), \quad (10)$$

где функции $U(t, p_\alpha)$ и $\chi(t, p_\alpha)$ оцениваются как:

$$U(t, p_\alpha) = \frac{\partial S(t, p_\alpha)}{\partial p_\alpha}, \quad \chi(t, p_\alpha) = \frac{\partial \dot{S}(t, p_\alpha)}{\partial p_\alpha}.$$

Производные, описывающие функции чувствительности по параметру p_α определяются выражениями [7, 8]:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{\partial F}{\partial S} \Big|_{S=S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)} \times U + \frac{\partial F}{\partial p_\alpha} \Big|_{S=S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)} + \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial p_\alpha}, \quad (11)$$

$$\frac{d\chi}{dt} = \frac{\partial F}{\partial S} \Big|_{S=S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)} \times \chi + \frac{\partial F}{\partial p_\alpha} \Big|_{S=S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)}, \quad (12)$$

и начальными условиями:

$$U(t_0) = \frac{\partial S_0}{\partial p_\alpha} - S_0 \frac{\partial t_0}{\partial p_\alpha} = F(S_0(p_\alpha), U_0(p_\alpha), t_0(p_\alpha), p_\alpha) \frac{\partial t_0}{\partial p_\alpha}, \quad (13)$$

$$\chi(t_0) = \frac{\partial \dot{S}_0}{\partial p_\alpha} - \dot{S}_0 \frac{\partial t_0}{\partial p_\alpha} = F(\dot{S}_0(p_\alpha), \chi_0(p_\alpha), t_0(p_\alpha), p_\alpha) \frac{\partial t_0}{\partial p_\alpha}, \quad (14)$$

где $\frac{\partial F}{\partial S} = \left\| \frac{\partial f_i}{\partial s_k} \right\|$, $\frac{\partial F}{\partial S} = \left\| \frac{\partial f_i}{\partial s_k} \right\|$ ($i, k = \overline{1, n}$) – квадратные матрицы.

Анализ выражений 11-14 позволил сделать следующие выводы:

- изменения внутренних характеристик защищенной ИТС независимы от начальных условий;
- уравнения чувствительности по параметру p_α линейны относительно соответствующих функций чувствительности;
- уравнения чувствительности неоднородны и являются однородными лишь тогда, когда

$$\frac{\partial F}{\partial p_\alpha} \Big|_{S=S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)} = 0, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial p_\alpha} = 0 \quad (\text{см.}$$

$$\text{выражение 12) и } \frac{\partial F}{\partial p_\alpha} \Big|_{S=S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)} = 0,$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial p_\alpha} = 0 \quad (\text{см. выражение 14}).$$

2. Уравнения чувствительности высших порядков

Проведенные исследования параметрической математической модели защищенной ИТС показали возможность описания систем с зависимыми изменениями внутренних характеристик. В то же время, анализ дестабилизирующих внешних факторов показал, что до 70% злоумышленных атак на ИТС характеризуются разнородностью, используемых средств, и имеют результатом независимые изменения внутренних характеристик системы. Поэтому возникает задача математического описания защищенных ИТС, подвергаемых подобным внешним воздействиям.

Известно, что свойство независимости внутренних характеристик является характерной особенностью большинства нелинейных систем, которые можно математически описать с помощью уравнений чувствительности высших порядков. Используя выражения 6-14, можно установить условия существования функций чувствительности высших порядков, а так же найти уравнения, которым они удовлетворяют. Так, воспользовавшись утверждением 1 можно определить, что если правая часть уравнений 11, 12 непрерывно дифференцируема по S (\dot{S}) и p_α , а функции $U_0(p_\alpha)$, $\chi_0(p_\alpha)$ и $t_0(p_\alpha)$ непрерывно дифференцируемы по p_α , то функции чувствительности второго порядка:

$$U^{(2)}(t, p_\alpha) = \frac{d^2 S(t, p_\alpha)}{dp_\alpha^2}, \quad (15)$$

$$\chi^{(2)}(t, p_\alpha) = \frac{d^2 \dot{S}(t, p_\alpha)}{dp_\alpha^2}, \quad (16)$$

существуют и непрерывны на соответствующих интервалах t [8]. Анализ функции 15, 16 показал, что они являются решением дифференциальных уравнений, получаемых из 11, 12 дифференцированием по p_α . Тогда, конечным результатом могут стать уравнения:

$$\frac{d^2U}{dt^2} = \left(\frac{\partial F}{\partial S} \cdot \frac{dU}{dt} + \frac{\partial^2 F}{\partial S^2} \cdot U + 2 \frac{\partial^2 F}{\partial S \partial p_\alpha} \cdot U + \frac{\partial^2 F}{\partial p_\alpha^2} \right) \Bigg|_{S=S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f}{\partial p_\alpha} \quad (17)$$

$$\frac{d^2\chi}{dt^2} = \left(\frac{\partial F}{\partial S} \cdot \frac{d\chi}{dt} + \frac{\partial^2 F}{\partial S^2} \cdot \chi + 2 \frac{\partial^2 F}{\partial S \partial p_\alpha} \cdot \chi + \frac{\partial^2 F}{\partial p_\alpha^2} \right) \Bigg|_{S=S(S, A_1, U, \chi, p_\alpha, t, \tau)} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f}{\partial p_\alpha} \quad (18)$$

Аналогично предыдущему примеру (параметрической математической модели защищенной ИТС) начальные условия, используемые для описания функций чувствительности, опишем с помощью выражений:

$$U^{(2)}(t_0) = \frac{\partial S_0}{\partial p_\alpha} - S_0 \frac{\partial t_0}{\partial p_\alpha}, \quad (19)$$

$$\chi^{(2)}(t_0) = \frac{\partial S_0}{\partial p_\alpha} - S_0 \frac{\partial t_0}{\partial p_\alpha}. \quad (20)$$

Используя выражения 15-20 определим функцию чувствительности произвольного порядка. В общем случае уравнения чувствительности n -го порядка могут быть записаны в виде:

$$\frac{d^{(n)}U}{dt^n} = \frac{d^n F(U, t, p_\alpha)}{\partial p_\alpha^n} + \frac{d^n}{dt^n} \frac{\partial f}{\partial p_\alpha}, \quad (21)$$

$$\frac{d\chi^{(n)}}{dt} = \frac{d^n F(\chi, t, p_\alpha)}{\partial p_\alpha^n} + \frac{d^n}{dt^n} \frac{\partial f}{\partial p_\alpha}, \quad (22)$$

где $\frac{d}{\partial p_\alpha}$ – оператор частной производной по p_α .

Анализ выражения 22 позволяет сделать вывод о его независимости от начальных условий и зависимости только от p_α .

Использование функций чувствительности высших порядков улучшает точность описания процесса изменений параметров защищенной ИТС в условиях различных независимых деструктивных воздействий. Разработанную математическую модель целесообразно использовать для решения задач анализа и синтеза технических систем с нелинейными характеристиками, а также при исследовании процессов квазифуркационного характера, имеющих место в критических ситуациях обеспечения информационной безопасности защищенных ИТС.

Выводы

В результате проведенных исследований зависимостей состояния технических систем от внешних воздействий были уточнены уравнения и функции чувствительности. Приведенные уравнения позволяют учесть возможные изменения защищенной ИТС в условиях воздействия на нее злоумышленных атак. Так, в частности, определены уравнения чувствительности

для зависимых и независимых изменений параметров системы. Представленные разработки можно использовать в процессе проектирования средств защиты ИТС от различного рода воздействий.

Таким образом, получила дальнейшее развитие математическая модель защищенной ИТС, отличающаяся от известных учетом существующих особенностей злоумышленных внешних воздействий и соответствующих изменений внутренних характеристик ИТС.

Список использованных источников

1. *Можаев А.А.* Оценка безопасности мультисервисной сети / А.А. Можаев, А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, - Х.: ХУПС, – 2009. – Вип. 4(22).-С.89-93.
2. *Mozhayev, O.* An Approach to Development of Complex Analysis of Commutative Metric for Multiservice Network security Assessment [Текст] / G. Kuchuk, O. Mozhayev, A. Kovalenko // Statistical Methods of Signal and Data Processing. Kiev, Ukraine, October 13-14, 2010/ General Chairman I. Prokopenko.-Kiev: National Aviation University "NAU-Druk" Publishing House, 2010.- P. 158-160.
3. *Морева О.Д.* Разработка методики оценки информационной защищенности социотехнических систем с использованием функций чувствительности: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.19 [Текст] / Морева Ольга Дмитриевна. – Воронеж., 2006. – 151 с
4. *Семенов, С.Г.* Анализ факторов, влияющих на состояние защиты NGN-сетей [Текст] / С.Г. Семенов, В.В. Босько, И.А. Березюк // Матеріали другої Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засоби управління». – К.:ДП «ЦНДІ НіУ», Х.: ДП «ХНДІ ТМ», К.: КДАВТ 15-16.12.2011. – С.72.
5. *Семенов, С.Г.* Сучасний підхід щодо синтезу захищених інформаційно-телекомунікаційних систем інтегрованого типу [Текст] / С.Г. Семенов, С.Б. Клімов,

- С.О. Енгаличев // «Системи управління, навігації та зв'язку»: зб. наукових праць / К.:ЦНДІ навігації і управління, 2011. – Вип. 2(18). – С.265-268. – Бібліогр.: с. 268.
6. Семенов, С.Г. Безопасность операционных систем реального времени в автоматизированных системах управления технологическим процессом [Текст] / С.Г. Семенов, С.Ю. Гавриленко, В.В. Давыдов // Научно-технический журнал «Авиационно-космическая техника и технология», - Х.:ХАИ, – 2011. – Вип. 8(85). – С.222-225. – Бібліогр.: с. 225.
 7. Семенов, С.Г. Динамическая модель информационной системы на основе наблюдаемого структурно-информационного портрета [Текст] / С.Г. Семенов, В.В. Давыдов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Зб. наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання, - Х.:НТУ «ХПІ», - 2011.-№36 .- С.156-163. – Бібліогр.: с. 163.
 8. Семенов, С.Г. Структурно-информационный портрет информационной системы в условиях неопределенности на примере Dos-атаки [Текст] / С.Г.Семенов // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник «Радиотехника» Тематичний випуск: Информационная безопасность, - Х.:ХНУРЕ, - 2011.-№166 .- С.99-106. – Бібліогр.: с. 106.
 9. Семенов, С.Г. Математична модель системи криптографічного захисту електронних повідомлень на основі GERT-мережі [Текст] / С.Г. Семенов, О.О Сур // Системи управління, навігації та зв'язку»: зб. наукових праць / К.:ЦНДІ навігації і управління, – К.:ЦНДІ навігації і управління, – 2012. – Вип. 1(21) Том 1.– С.131-137. – Бібліогр.: с. 137.
 10. Семенов, С.Г. Модели и методы управления сетевыми ресурсами в телекоммуникационных системах и сетях. Монография [Текст] / С.Г. Семенов, А.А. Смирнов, Е.В. Мелешко // Х.: НТУ «ХПІ», 2012р. 212 с.
 11. Томович Р. Общая теория чувствительности. Пер. с сербск. и с англ., под. ред. Цыпкина Я. [Текст] / Р.Томович, М.Вукобратович // М.: Сов. Радио, 1972, 240 с.

Поступила в редакцию 05 декабря 2013 г.

УДК 621.34

О.О. Можасв, д-р. техн. наук, **С.Г. Семенов**, д-р. техн. наук, **В.В. Казімірова**, **М.О. Можасв**
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна.

Удосконалення математичної моделі захищеної інформаційно-телекомунікаційної системи з використанням теорії чутливості

Запропонований підхід щодо моделювання захищеної інформаційно - телекомунікаційної системи на основі теорії чутливості. Проведено дослідження існуючих підходів до математичного моделювання складних технічних систем. Які показали ряд їх недоліків, пов'язаних з обмеженнями та припущеннями не сумісними з реальним процесом їх функціонування. Вдосконалена математична модель захищеною інформаційно - телекомунікаційної системи, що відрізняється від відомих врахуванням існуючих особливостей зловмисних зовнішніх дій і відповідних змін внутрішніх характеристик системи. Розроблено рівняння чутливості вищих порядків, які дозволяють поліпшити точність опису процесу змін параметрів захищеної інформаційно-телекомунікаційної системи в умовах незалежних злочинних впливів. Бібл. 11.

Ключові слова: теорія чутливості, інформаційно-телекомунікаційні системи, інформаційна безпека.

UDC 621.34

O. Mozhayev, Dr.Sc, **S. Semenov**, Dr.Sc., **V. Kazimirova**, **M. Mozhaiev**National Technical University "Kharkiv Politechnic Institute",
st. Frunze, 21, Kharkov, 61002, Ukraine.

Improvement of mathematical model of the protected information and telecommunication system using the theory of sensitivity

Offered approach to the design protected informatively - telecommunication system on the basis of theory of sensitiveness. The research of the existing approaches to the mathematical modeling of complex technical systems. Which showed some of their disadvantages associated with limitations and assumptions are not compatible with the real process of their functioning. A mathematical model is improved by protected informatively - telecommunication system, different from known the account of existent features of ill-intentioned external influences and corresponding changes of internal descriptions of the system. Equalizations and functions of sensitiveness, allowing to take into account possible changes protected informatively, are specified - telecommunication system in the conditions of affecting her ill-intentioned attacks. Developed higher-order sensitivity equation that can improve the accuracy of the description of the change process parameters secure information technology system under the conditions of independent malicious actions. Bibl. 11.

Keywords: *theory of sensitivity information and telecommunication systems, information security.*

References

1. A.A. Mozhayev, A.A. Kovalenko, G.A. Kuchuk. (2009), "Collection of scientific labours of the Kharkiv university of Aircrafts". Collection of scientific labours of the Kharkiv university of Aircrafts. Vol 4(22),pp.89-93.
2. G. Kuchuk, O. Mozhayev, A. Kovalenko. (2010), "An Approach to Development of Complex Analysis of Commutative Metric for Multiservice Network security Assessment" Statistical Methods of Signal and Data Processing. General Chairman I. Prokopenko.-Kiev: National Aviation University "NAU-Druk" Publishing House,.P. 158-160.
3. Moreva O.D. (2006), "Development of method of estimation of informative protected of the socio-tekhnicheskikh systems with the use of functions of sensitiveness". Voronezh p.151
4. S.G. Semenov, V.V. Bosko, I.A. Berezyuk. (2011), "Analysis of factors, influencing on the state of defence of ngn-networks".P.72
5. S.G. Semenov, S.B. Klimov, S.O. Yengalichev. (2011), "Modern approach in relation to the synthesis of protected informatively telecommunication systems of computer-integrated type".
6. S.G. Semenov, S.Yu. Gavrilenko, V.V. Davydov. (2011), "Safety of real-time executives is in CASS of technological process control". Aviacionno-kosmicheskaya of tekhnika I tekhnologiya Vol. 8(85), pp.222-225
7. S.G. Semenov, V.V. Davydov. (2011), "Dynamic model of the informative system, on the basis of the looked after structural-informative portrait". An announcer of the National technical university is the «Kharkiv polytechnic institute». No.36 pp.156-163
8. S.G. Semenov. (2011), "Structural-informative portrait of the informative system in the conditions of vagueness on the example of dos-attack". Allukrainian interdepartmental scientific and technical collection of «Radiotrician». No166, pp.99-106
9. S.G. Semenov, O.O Sur. (2012), "A mathematical model of the system of cryptographic defence of electronic reports is on the basis of gert-network". Control system, navigation and connection. Tom.1, No. 1(21), pp.131-137
10. S.G. Semenov, A.A. Smirnov, Ye.V. Meleshko. (2012), "Models and methods of management network resources are in the telecommunication systems and networks." Monograph, p.212
11. R.Tomovich, M.Vukobratovich. (1972), "General theory of sensitiveness". Moskva, soveckoe radio. P.240