УДК 517.929

© Черноскутов А.И., Зорин Э.Ф., Рыжов Б.С.
Chernoskutov A., Zorin E., Ryzhov B.

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ И ЗАЩИЩЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА САТИ И ЕГО МОДИФИКАЦИЙ

ESTIMATION OF VULNERABILITY AND SECURITY OF THE AUTOMATED SYSTEM MILITARY-ORIENTED ON THE BASIS OF METHOD SAATI AND ITS MODIFICATIONS MODIFICATION

Аннотация. *В статье рассматривается оценка уязвимости и защищенности автоматизированной системы военного назначения (АС ВН) с помощью метода Т. Саати и его модификаций. Приведены аналитические соотношения оценки уязвимости АС ВН в условиях программно-технических воздействий, представлены различные способы определения коэффициентов весомости и комплексных показателей опасности уязвимостей и защищенности.*

Annotation. *In paper the estimation of vulnerability and security of the automated military-oriented system (the AS VN) by means of T.Saati's method and its modifications is considered. Analytical relations of an estimation of vulnerability AS VN in the conditions of program-technical effects are reduced, various modes of determination of coefficients of weightiness and danger complex indexs vulnerability and securities are presented.*

Ключевые слова. *Автоматизированная система, оценка уязвимости и защищенности, коэффициенты весомости.*

Key words. *The automated system, vulnerability and security estimation, weightiness coefficients.*

Актуальность решаемой задачи оценки уязвимости и защищенности автоматизированных систем (АС) различного целевого назначения, в первую очередь АС военного назначения (ВН), непосредственно связана с проблемой обеспечения безопасности информации в них от возможных информационных технических воздействий (ИТВ). Безопасность информации является важнейшей характеристикой АС ВН, которой посвящено значительное число публикаций [1–5]. Оценка безопасности информации в АС ВН от ИТВ необходима для определения степени уязвимости системы и принятия решения о повышении уровня ее защищенности.

Оценка безопасности информации АС ВН, функционирующей в условиях ИТВ, представляет собой сложную многокритериальную задачу с иерархической структурой. Решение такой задачи предлагается осуществлять на основе метода анализа иерархий и его модификаций, позволяющих включать в оценку свойств АС ВН наиболее полный объем знаний и суждений по рассматриваемой проблеме. При проведении такой оценки возникает необходимость классификации и ранжирования критически важных информационных объектов (КВИО) АС ВН по уровням их уязвимости.

Оценка уязвимости и защищенности АС ВН на основе анализа иерархий и его модификаций имеет своей целью исследование динамики функционирования КВИО АС ВН в условиях ИТВ в зависимости от способов определения их коэффициентов весомости.

Черноскутов Анатолий Иванович – главный научный сотрудник 4 ЦНИИ Минобороны России, доктор технических наук, старший научный сотрудник, тел. (495) 515-25-75;
Зорин Эдуард Фёдорович – ведущий научный сотрудник 4 ЦНИИ Минобороны России, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Тел. (495) 515-64-28;
Рыжов Борис Сергеевич – адъюнкт 4 ЦНИИ Минобороны России.

Chernoskutov Anatoly – the main scientific employee 4 Central Scientific Research Institute Ministry of Defence of Russia, Dr.Sci.Tech., the senior scientific employee. Ph. (495) 515-25-75;
Zorin Eduard – the senior scientific employee 4 Central Scientific Research Institute Ministry of De-fence of Russia, Cnd.Sci.Tech., the senior scientific employee, tel. (495) 515-64-28;
Ryzhov Boris – adjunct 4 Central Scientific Research Institute Ministry of Defence of Russia.

Для выявления уязвимостей КВИО АС ВН предполагается применить экспериментально-аналитический способ, предполагающий использование программно-технических средств анализа защищенности для сканирования оцениваемых систем.

Метод анализа иерархий объединяет аналитический подход, опирающийся на алгебраическую теорию матриц с экспертными процедурами. Метод является замкнутой логической конструкцией, обеспечивающей с помощью простых правил анализ сложных свойств во всем их многообразии и, в конечном итоге, приводящей к наилучшему результату.

Применяемые при оценке безопасности информации в АС ВН метод анализа иерархий и его модификации основываются на формировании матрицы парных сравнений свойств уязвимости оцениваемой АС ВН. Матрица **A** парных сравнений представляет собой обратно-симметричную матрицу вида

$$\mathbf{A} = \begin{Vmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & a_{k3} & \dots & 1 \end{Vmatrix}, \qquad (1)$$

в которой элементы a_{ij} над главной диагональю ($i < j$) выбираются согласно фиксированной шкалы соотношений Т. Саати $a_{ij} \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ [4, 5]. При этом элемент $a_{ij} = a_i / a_j$ матрицы **A** интерпретируется как коэффициент превосходства *i*-го свойства (характеристики) над *j*–м свойством (характеристикой) АС ВН. Шкала соотношений оцениваемых свойств представлена в табл. 1.

Элементы под главной диагональю матрицы **A** удовлетворяют соотношениям

$$a_{ji}=1/a_{ij}; i=\overline{1,k}; j=\overline{1,k} \text{ для } i>j. \qquad (1a)$$

Для элементов матрицы **A** под главной диагональю, когда одно свойство (характеристика) уступает другому, шкала соотношений Т. Саати будет выглядеть следующим образом:

$$a_{ji} \in \{1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9\}.$$

По результатам сканирования АС ВН средствами анализа защищенности составляется развёрнутый отчёт, содержащий выявленные КВИО испытуемой системы, перечень уязвимостей, их количество и другие характеристики сканирования. Типовая форма отчёта основных результатов сканирования АС ВН представлена в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 показывает разнородную картину как по уровням уязвимостей, так и по их количеству. С целью оценки опасности использования нарушителем уязвимостей применяется системный подход к их определению. Известен ряд методов свертки единичных показателей q_j в комплексный показатель Q с помощью коэффициентов весомости w_j [5,6]. Наиболее распространенными являются метод Т. Саати и его различные модификации [4], основу которых составляют процессы формирования матрицы парных сравнений **A** характеристик уязвимости КВИО АС ВН и определения их коэффициентов весомости.

После формирования матрицы парных сравнений **A** осуществляется определение коэффициентов весомости w_j, $j=\overline{1,k}$ на основе классического метода Т. Саати, итерационного метода и метода М. Кохера (Коггера).

Классический метод Т. Саати

Метод заключается в решении матричного уравнения (2)

$$\mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{w}} = \lambda_{\max} \cdot \tilde{\mathbf{w}}, \qquad (2)$$

в котором $\tilde{\mathbf{w}}$ – вектор-столбец ненормированных коэф-

Таблица 1

Шкала соотношений оцениваемых свойств (характеристик)

Степень важности	Соотношение оцениваемых свойств (характеристик)	Пояснение о соотношении оцениваемых свойств (характеристик)
1	Свойства (характеристики) оцениваемых средств одинаково значимы и важны	Оба свойства (характеристики) вносят одинаковый вклад в достижение определенного уровня качества
3	Одно свойство (характеристика) несколько важнее другого	Существуют основания отдать предпочтение одному свойству (характеристике) над другим
5	Одно свойство (характеристика) важнее другого.	Существуют веские основания считать, что одно из свойств (характеристик) важнее другого
7	Одно свойство (характеристика) явно важнее других	Имеются основания в явном превосходстве одного свойства (характеристики) над другим
9	Одно свойство (характеристика) абсолютно важнее других	Существуют неопровержимые доказательства в абсолютном превосходстве одного свойства (характеристики) над другим

Примечание: Промежуточным значениям соотношений свойств (характеристик) соответствуют степени важности 2, 4, 6, 8.

Таблица 2

Типовая форма отчёта основных результатов сканирования АС ВН

IP-адреса КВИО	Начало испытаний	Конец испытаний	Длительность испытаний
192.168.1.1	01.07.2009 15:35	01.07.2009 17:24	1ч 49мин
192.168.1.2	01.07.2009 15:35	01.07.2009 17:12	1ч 37мин
192.168.1.3	01.07.2009 15:35	01.07.2009 17:07	1ч 32мин
192.168.1.4	01.07.2009 15:35	01.07.2009 17:07	1ч 32мин
192.168.1.5	01.07.2009 15:35	01.07.2009 17:10	1ч 35мин
192.168.1.11	01.07.2009 17:08	01.07.2009 17:16	0ч 08мин

Степень опасности уязвимости	Количество уязвимостей разной степени опасности
Высокая степень опасности уязвимости	13
Подозрение на высокую степень опасности уязвимости	50
Средняя степень опасности уязвимости	88
Подозрение на среднюю степень опасности уязвимости	51
Низкая степень опасности уязвимости	127
Уязвимостей нет	0

фициентов (параметров) весомости $\tilde{w}_j$, $j = \overline{1,k}$; $\lambda_{\max}$ – максимальное собственное значение матрицы **A**.

Расчет коэффициентов весомости [7] начинается с определения собственных значений λ матрицы **A** из характеристического уравнения

$$|\mathbf{A} - \lambda \cdot \mathbf{E}| = 0, \qquad (3)$$

где **E** - единичная матрица размерности *k*.

Вычисление определителя (3) по убывающим степеням собственного значения λ приводит к характеристическому уравнению *k*-й степени

$$\lambda^k + A_{k-1} a_{ij} \lambda^{k-1} + A_{k-2} a_{ij} \lambda^{k-2} + ... + A_0 a_{ij} = 0. \qquad (4)$$

Решение алгебраического уравнения (4) осуществляется с помощью одного из программных средств (ПС) Mathematica или Maple [8]. Из всей совокупности корней λ_i выбирается максимальное значение λ_{max}, равное

$$\lambda_{\max} = \max_i \lambda_i, \; i = \overline{1,k}. \qquad (5)$$

При этом система линейных уравнений с неизвестными величинами параметров весомости $\tilde{w}_j$, $j = \overline{1,k}$ будет иметь вид

$$\begin{cases} \tilde{w}_1 + a_{12}\tilde{w}_2 + a_{13}\tilde{w}_3 + \ ... + a_{1k}\tilde{w}_k = \lambda_{\max}\tilde{w}_1; \\ a_{21}\tilde{w}_1 + \tilde{w}_2 + a_{23}\tilde{w}_3 + ... + a_{2k}\tilde{w}_k = \lambda_{\max}\tilde{w}_2; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{k1}\tilde{w}_1 + a_{k2}\tilde{w}_2 + a_{k3}\tilde{w}_3 + ... + \tilde{w}_k = \lambda_{\max}\tilde{w}_k. \end{cases} \qquad (6)$$

Решение системы уравнений (6) осуществляется с помощью ПС [8]. При этом коэффициенты весомости w_j определяются по формуле

$$w_j = \tilde{w}_j / \sum_{j=1}^{k} \tilde{w}_j. \qquad (7)$$

Пример оценки защищенности АС ВН изложенным методом.

В этом случае матрица парных сравнений важности свойств (характеристик) уязвимости АС ВН, в соответствии с табл. 1 будет иметь вид

$$\mathbf{A} = \begin{Vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 7 \\ 0,5 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0,33 & 0,5 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0,25 & 0,33 & 0,5 & 1 & 2 & 3 \\ 0,20 & 0,25 & 0,33 & 0,5 & 1 & 2 \\ 0,14 & 0,20 & 0,25 & 0,33 & 0,5 & 1 \end{Vmatrix}.$$

Характеристическое уравнение матрицы парных сравнений **A** представляет собой уравнение шестой степени

$$|\mathbf{A}\text{-}\lambda \cdot \mathbf{E}| = \lambda^6 - 6\lambda^5 - 3,796\lambda^3 - \\ -0,480\lambda^2 - 0,060\lambda - 0,0013 = 0.$$

В результате решения этого характеристического уравнения определяется максимальное значение собственного числа λ_{max}, являющегося одним из его корней.

С учетом полученного значения λ_{max} формируется система линейных уравнений (6) относительно параметров весомости $\tilde{w}_j$, $j = \overline{1,k}$ в следующем виде:

$$\begin{cases} \tilde{w}_1 + 2\tilde{w}_2 + 3\tilde{w}_3 + ... + 7\tilde{w}_k = 6,1\tilde{w}_1, \\ 0,5\tilde{w}_1 + \tilde{w}_2 + 2\tilde{w}_3 + ... + 5\tilde{w}_k = 6,1\tilde{w}_2, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ 0,14\tilde{w}_1 + 0,2\tilde{w}_2 + 0,25\tilde{w}_3 + ... + \tilde{w}_k = 6,1\tilde{w}_k. \end{cases}$$

Решение данной системы уравнений с использованием ПС [8] позволяет получить значения параметров весомости, подстановка которых в формулу (7), дает значения коэффициентов весомости: $\tilde{w}_1 = 0,39$; $\tilde{w}_2 = 0,25$; $\tilde{w}_3 = 0,16$; $\tilde{w}_4 = 0,10$; $\tilde{w}_5 = 0,06$; $\tilde{w}_6 = 0,04$.

$\tilde{w}$

Определение показателей опасности уязвимостей q_j согласно [6] определяется по формуле

$$q_j = \tilde{q}_j / \sum_{j=1}^{6} \tilde{q}_j, \quad j = \overline{1,6}, \tag{8}$$

где $\tilde{q}_j$ - абсолютное значение j-й опасности уязвимости.

Значения свойств, параметров и показателей опасности уязвимости приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства и показатели опасности уязвимостей

№	Уровень опасности уязвимостей	$\tilde{q}_j$	q_j
1	Высокий уровень опасности уязвимости	13	0,040
2	Подозрение на высокий уровень опасности уязвимости	50	0,152
3	Средний уровень опасности уязвимости	88	0,267
4	Подозрение на средний уровень опасности уязвимости	51	0,155
5	Низкий уровень опасности уязвимости	127	0,386
6	Уязвимостей нет	0	0

Комплексный показатель Q опасности уязвимостей АС ВН рассчитывается в соответствии с работой [6] по формуле

$$Q = \sum_{j=1}^{6} w_j \cdot q_j. \tag{9}$$

Подставляя полученные значения коэффициентов весомости и показателей опасности уязвимостей из табл. 3, получим

$$Q = 0,040 \cdot 0,390 + 0,152 \cdot 0,250 +$$
$$+0,267 \cdot 0,160 + 0,155 \cdot 0,100 +$$
$$+0,386 \cdot 0,060 + 0 \cdot 0,040 = 0,135.$$

Под *комплексным показателем защищенности* АС ВН понимается средневзвешенная величина защищенности, определяемая из соотношения

$$P = 1 - Q. \tag{10}$$

Таким образом, количественное значение комплексного показателя защищенности АС ВН составляет $P = 0,865$.

Итерационный метод

В этом методе начальные значения коэффициентов весомости степеней опасности уязвимости КВИО АС ВН выбираются произвольно при условии, $\sum_{j=1}^{6} w_j = 1$.

$$w_j^{(1)} = 1/6, \; j = \overline{1,6} \tag{11}$$

Произведение матрицы парных сравнений **A** и вектора коэффициентов весомости $w^{(1)}$

$$\mathbf{A} \cdot w_j^{(1)} = \tilde{w}_j^{(2)}, \tag{11a}$$

дает вектор параметров весомости $\tilde{w}_j^{(2)}$. Нормирование параметров весомости согласно формуле (8) позволяет уточнить значение коэффициентов весомости, полученных на второй итерации

$$w_j^{(2)} = \tilde{w}_j^{(1)} / \sum_{j=1}^{6} \tilde{w}_j^{(1)}. \tag{12}$$

Итерационный процесс (11a) и (12) осуществляется до тех пор, пока модуль разницы между коэффициентами весомости при n-й и $(n-1)$-й итерациями не достигнет заданной (требуемой) величины $\varepsilon \le 0,001$.

$$\left| w_j^{(n)} - w_j^{(n-1)} \right| \le \varepsilon, \; j = \overline{1,k}. \tag{13}$$

Отметим, что условие (13) практически достигается уже на 3–4-й итерации.

Пример оценки защищенности АС ВН изложенным методом.

Значения начальных коэффициентов весомости принимаются равными $w_j^{(1)} = \{1/6\}_1^6$.

Произведение матрицы парных сравнений **A** и вектора коэффициентов весомости $w_j^{(1)}$ позволяет найти значения вектора параметров весомости опасности уязвимостей

$$\begin{Vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 7 \\ 0,5 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0,33 & 0,5 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0,25 & 0,33 & 0,5 & 1 & 2 & 3 \\ 0,20 & 0,25 & 0,33 & 0,5 & 1 & 2 \\ 0,14 & 0,20 & 0,25 & 0,33 & 0,5 & 1 \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} 0,17 \\ 0,17 \\ 0,17 \\ 0,17 \\ 0,17 \\ 0,17 \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} 3,66 \\ 2,60 \\ 1,80 \\ 1,18 \\ 0,71 \\ 0,40 \end{Vmatrix}.$$

В результате нормировки полученных значений параметров весомости имеем

$$w_j^{(2)\mathrm{T}} = \{0,36 \;\; 0,25 \;\; 0,17 \;\; 0,11 \;\; 0,07 \;\; 0,04\}.$$

Итерационный процесс расчета коэффициентов весомости осуществляется в соответствии с условием (13).

С учетом полученных значений коэффициентов весомости комплексный показатель Q опасности уязвимости АС ВН, определяемый по формуле (9), равен 0,135.

Таким образом, количественное значение комплексного показателя защищенности АС ВН составляет P=0,865.

Метод М. Кохера

В этом случае процесс определения коэффициентов весомости предполагает формирование матрицы парных сравнений $\mathbf{A}_k$, в которой формируются только элементы, непосредственно находящиеся над главной диагональю $a_{12}, a_{23}, a_{34}, ..., a_{k-1,k}$. Матрица $\mathbf{A}_k$ имеет следующий вид:

$$\mathbf{A}_k = \begin{Vmatrix} 1 & a_{12} & \ldots & \ldots \\ \ldots & 1 & a_{23} & \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \ldots & \ldots & 1 & a_{k-1k} \\ \ldots & \ldots & \ldots & 1 \end{Vmatrix}. \tag{14}$$

При формировании матрицы используется транзитивная шкала [6] типа

слабое превосходство = *a*;

сильное превосходство = *aa*;

очень сильное превосходство = *aaa*;

абсолютное превосходство = *aaaa*.

В качестве базового значения шкалы при формировании матрицы $\mathbf{A}_k$ могут быть приняты основания a=1,5 или a=2. Элемент матрицы $a_{ij}=a_i/a_j$ при a=1,5 означает, что свойство i имеет слабое превосходство над свойством j. При $a_{ij}=a_i/a_j=aa=2{,}25$ следует, что свойство i имеет сильное превосходство по сравнению со свойством j и т.д. Значения элементов a_{ij} формируются для $i=\overline{1,k-1}, j=i+1$.

Матрица $\mathbf{A}_k$ с наддиагональными элементами a_{12}, a_{23}, a_{34},..., $a_{k-1,k}$ является достаточной для определения коэффициентов весомости, при этом справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} &a_2 = a_1/a_{12};\ a_3 = a_2/a_{23};\\ &a_4 = a_3/a_{34} = a_1/a_{12}a_{23};\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;\\ &a_k = a_1/a_{12}a_{23},\ldots,a_{k-1,k}. \end{aligned} \qquad (15)$$

Условие нормировки для данного случая может быть представлено в виде

$$\sum_{j=1}^{k} a_j = a_1(1+1/a_{12}+1/a_{12}a_{23}+ \\ +\ldots+1/a_{12}a_{23}\ldots a_{k-1,k}) = 1.$$

Коэффициент весомости w_1, определяемый из матрицы (14) и условия нормировки, равен

$$w_1 = a_1 = 1/(1+1/a_{12}+1/a_{12}a_{23}+ \\ +\ldots+1/a_{12}a_{23}\ldots a_{k-1,k}). \qquad (16)$$

Последующие коэффициенты весомости определяются из соотношений (15)

$$\begin{aligned} &w_2 = a_2 = w_1/a_{12};\ w_3 = a_3 = w_1/a_{12}a_{23};\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;\\ &w_k = a_k = w_1/a_{12}a_{23},\ldots,a_{k-1,k}. \end{aligned} \qquad (17)$$

Пример оценки защищенности АС ВН изложенным методом.

В соответствии с соотношениями (16), (17) для $j=\overline{1,6}$ коэффициенты весомости равны

$$w_1 = 1/(1+1/1{,}5+1/1{,}5^2+\ldots+1/1{,}5^5) = 0{,}37;,$$

$$w_2 = w_1/a_{12} = 0{,}37/1{,}5 = 0{,}24;$$

$$w_3 = 0{,}16;\ w_4 = 0{,}11;\ w_5 = 0{,}07;\ w_6 = 0{,}05.$$

С учетом полученных значений коэффициентов весомости комплексный показатель Q опасности уязвимости АС ВН, определяемый по формуле (9), равен 0,135.

При этом количественное значение комплексного показателя защищенности АС ВН составляет P=0,685.

Нетрудно заметить, что коэффициенты весомости для рассматриваемой АС ВН, рассчитанные классическим методом Т. Саати, итерационным методом и методом М. Кохера имеют практически равные значения.

Анализ рассмотренных методов позволяет сделать следующие выводы:

1. Оценка уязвимости АС ВН, функционирующих в условиях ИТВ является сложной многокритериальной задачей с иерархической структурой. Решение такой задачи представляется более обоснованным осуществлять на основе методов анализа иерархий и его модификаций, объединяющих в себе аналитический подход с экспертными процедурами определения важности уязвимостей и экспериментальными результатами выявления уязвимостей АС ВН с помощью сетевых сканеров.

2. Использование в задаче оценки уязвимости и защищенности АС ВН различных методов определения коэффициентов весомости в целом обеспечивает требуемую точность решения задачи. Что же касается трудоемкости ее решения, то классический метод Т. Саати, по сравнению с итерационным методом и методом М. Кохера, является наиболее сложным в силу трудоемкости определения собственных значений матричного уравнения $\mathbf{A}\cdot\tilde{\mathbf{w}} = \lambda_{\max}\cdot\tilde{\mathbf{w}}$ и необходимости решения системы линейных уравнений порядка выше второго.

Модификации метода иерархий характеризуются снижением трудоемкости вычислительного процесса относительно классического способа. Однако следует иметь в виду, что использование упрощенных модификаций метода Т. Саати в отдельных случаях может привести к достаточно приближенным оценкам. В этом случае необходимо переходить к классическому методу получения оценок либо к уточнению процедуры формирования матрицы парных сравнений.

Литература

1. Петраков А.В. Основы практической защиты информации. – М: Радио и связь, 2001.

2. Герасименко В.А. Защита информации в информационных системах обработки данных – М: Энергоатомиздат, 1994.

3. Мельников В.В. Безопасность информации в автоматизированных системах. – М: Финансы и статистика, 2003.

4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. - М.: Радио и связь. 1993. –320 с.

5. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – Спб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

6. Черноскутов А.И. и др. Прогнозирование цены изделия по характеристикам его качества//Цены на машины и оборудование на капиталистическом рынке. Третий выпуск. - М.: ВНИКИ МВЭС СССР, 1990, 2-109с.

7. Беллман Р. Введение в теорию матриц. – М.: НАУКА, 1976, 320 с.

8. Программные средства Mathematica, Maple.

Материал поступил в редакцию 08. 04. 2010 г.