

УДК 004.891:510.53

**А.Ф. ПОЛЕГЕНЬКО**, канд. тех. наук, **А.В. КНЯЗСКИЙ**, инж.

(Центр. науч.-исслед. ин-т вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, г. Киев)

## ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ЭКСПЕРТОВ В ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ

Предложен способ оценки относительной компетенции экспертов, входящих в экспертную группу, отличающийся от существующего тем, что взаимооценка экспертов проводится не по коллективной матрице, составленной ими, а по матрицам, составленным каждым экспертом с последующим их усреднением.

Запропоновано спосіб оцінки відносної компетенції експертів, що входять до експертної групи, який відрізняється від існуючого тим, що оцінка експертів проводиться не за колективною матрицею, яку складено ними, а за матрицями, які складено кожним експертом із подальшим їхнім усередненням.

Очевидно, что прогнозирование приоритетов развития вооружения и военной техники (ВВТ) и разработка требований к их количественным и качественным показателям является типичной многокритериальной задачей выбора оптимального или скорее рационального решения [1].

Как показывает опыт, наиболее конструктивными методами для решения подобных задач являются различные методы экспертных оценок. Среди них наиболее часто применяемыми являются методы анализа иерархий (МАИ) и спектральный метод, которые, так или иначе, базируются на экспертных оценках. МАИ с некоторыми модификациями с успехом использовался при разработке требований к перспективным системам вооружения [2] и выборе приоритетов дальнейшего развития ВВТ [3].

Как отмечалось выше, в решении таких задач предложено использовать методы, где в подготовке исходных данных основная роль принадлежит экспертам. Исходя из этого, важнейшей задачей становится выбор экспертов. Очевидно, что опыт, интуиция, знания помогают им решать многие задачи, возникающие в ситуациях риска и неопределенности, предвидеть возможные направления и последствия развития в будущем, делать оценку

значимости различных факторов. В тоже время, необходимо отметить, что при решении сложных проблем развития ВВТ ни один эксперт не в состоянии учесть все факторы и взаимосвязи между ними либо оценить оптимальную (рациональную) альтернативу из большого числа взятых для выбора. Разработка сложных решений в ситуациях неопределенности или полноценного научно-технического прогноза требуют участия группы экспертов-специалистов, имеющих опыт в нескольких областях знаний [4].

Основное преимущество групповой оценки именно и состоит в возможности всестороннего эффективного анализа количественных и качественных аспектов сложных разноплановых проблем. При использовании мнений группы экспертов предполагается, что организованное взаимодействие между ними позволит компенсировать сдвиг оценок отдельных членов группы и что суммарная оценка будет более корректной и адекватной по сравнению с отдельной оценкой любого члена экспертной группы. Кроме этого, сумма факторов, имеющих отношение к данной проблеме, которые могут быть рассмотрены группой экспертов, как правило, больше или, по крайней мере, так же велика, как и сумма факторов, которые может учесть отдельный эксперт. Анализ

© А.Ф. ПОЛЕГЕНЬКО, А.В. КНЯЗСКИЙ, 2014

прогнозов, сделанных отдельными специалистами, которые оказались в дальнейшем неверными, показал, что одна из наиболее распространенных ошибок таких прогнозов проявляется в том, что во внимание принимаются факторы, которые впоследствии оказываются малозначимыми и, наоборот, упускаются наиболее существенные факторы.

Под групповой оценкой принято понимать результат объединения индивидуальных оценок экспертов о порядке преимущества рассмотренных объектов в единую оценку «коллективного» преимущества. При этом предусматривается, что использование логических процедур и математического аппарата для объединения суждений экспертов, выраженных количественно, обеспечивает получение согласованного преимущества группы. В общем случае предполагается, что суждение группы экспертов надежнее, чем суждение отдельного эксперта. То есть две группы одинаково компетентных экспертов с большей вероятностью дадут аналогичные ответы на ряд вопросов, чем два отдельно взятых эксперта. Предполагается так же, что коллективная ответственность позволяет экспертам принимать более рискованные решения и что интервал оценок, полученных группой, содержит более «искреннюю» оценку.

Однако и групповым оценкам свойственны определенные недостатки. Хотя правило «одна голова хорошо, а две лучше», и служит одним из условий организации групповой экспертизы, существует немало трудностей, которые препятствуют получению надежной и согласованной групповой оценки. Более подробно об этих трудностях изложено в работе [2].

Экспериментально установлено, что при соблюдении определенных норм и требований групповая экспертная оценка более надежна, чем индивидуальная. Наиболее весомыми из таких требований есть:

- принятое «гладкое» распределение оценок, полученных от экспертов, что указывает на независимость их суждений. В случае многомодульного распределения оценок должна быть установлена причина, по которой разные

эксперты по-разному интерпретируют одну и ту же проблему;

- групповая надежность, что означает, что две групповые оценки по определенной проблеме даны двумя одинаковыми подгруппами, избранными случайным образом, будут близкими. Корреляция по ряду таких оценок должна быть высокой.

Согласно работе [4] при проведении анализа с использованием групповых экспертных оценок целесообразно выделять экспертные группы двух типов.

К первому типу принято относить те группы, которые формируются для решения какой-нибудь одной проблемы или ряда однотипных проблем. В такие группы включаются, как правило, специалисты в той области, к которой относится решаемая проблема. Примером таких групп могут быть различные комиссии (экспертные группы), создаваемые на определенное время. Отличие компетентности членов этих групп состоит в уровне их профессиональной подготовки в данной проблеме и опыте работы по решению задач подобного характера.

Ко второму типу принято относить группы, работающие на постоянной основе, например ученый совет института, коллегия министерства, совет директоров корпорации и т. д. Характерной особенностью деятельности групп этого типа является широкий спектр проблем, по которым необходимо принимать совместные решения. Вследствие этого компетентность эксперта, входящего в такую группу, существенно зависит от содержания обсуждаемого вопроса. Игнорирование различия компетентности членов группы по обсуждаемому вопросу приводит к тому, что принятое групповое решение может не соответствовать мнению наиболее компетентных в этом вопросе членов группы, оставшихся в меньшинстве. Поэтому при использовании методов поддержки принятия групповых решений следует учитывать компетентность экспертов не вообще, а именно в обсуждаемом вопросе [5].

Методы определения степени компетентности экспертов принято делить на такие группы, как предлагается в работе [4]:

- оценка компетентности экспертов в зависимости от их оценки объектов;

- взаимооценка;
- самооценка;
- оценка по объективным документальным данным об эксперте.

Кратко рассмотрим некоторые методы, относящиеся к указанным группам.

Компетентность эксперта, например, определяют в зависимости от того, насколько его оценки согласованы с оценками большинства. Однако в том случае, когда относительную значимость некоторого множества альтернатив оценивают, к примеру,  $m$  экспертов, из которых  $m - 1$  экспертов совершенно некомпетентны в рассматриваемом вопросе, а один является высококвалифицированным специалистом, то их оценки с высокой степенью вероятности могут сильно отличаться друг от друга.

В работе [4] предлагается более строгий и логичный подход к определению степени относительной компетентности экспертов, входящих в группу, решающую конкретную проблему. Сущность предлагаемого подхода заключается в том, что задачу определения рейтингов вариантов (альтернатив), предлагается охарактеризовать некоторым множеством ключевых слов, определяемых сферой деятельности группы. Такое множество может быть сформировано либо исходя из нормативных документов, либо на основе анализа вопросов, рассмотренных группой за определенный промежуток времени  $T$  (или конкретно для данного обсуждаемого вопроса). В дальнейшем ключевые слова из такого множества называют базовыми ключевыми словами, а вопросы, которые описывают их последовательность, — базовыми. Каждый обсуждаемый группой вопрос представляется последовательностью ключевых слов, упорядоченных таким образом, что на  $i$ -м месте последовательности ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) стоит ключевое слово, которое описывает категорию более общую для данной группы, чем категория, описываемая ключевым словом, которое стоит на  $i + 1$  месте. Ключевые слова, находящиеся на  $i$ -м месте их последовательности, задающих

обсуждаемый группой вопрос, называются словами  $i$ -го ранга.

В общем случае вопрос, обсуждаемый группой в данный момент времени  $T$ , отличается от базового. Поэтому автором предложено обсуждаемый вопрос характеризовать неким множеством  $D_y = \{d_{yi}\}$ ,  $d_{yi} = \{d_{yih}\}$  кортежей коэффициентов сходства ключевых слов обсуждаемого вопроса с базовыми, где  $d_{yih}$  — коэффициент сходства ключевого слова  $i$ -го уровня для обсуждаемого вопроса с  $h$ -м базовым ключевым словом этого уровня. Коэффициенты сходства удовлетворяют условию работы [4]:

$$\forall_{i, y} \left[ \sum_{h=1}^{q_i} d_{yih} = 1 \right],$$

где  $q_i$  — количество ключевых слов  $i$ -го уровня.

Коэффициент компетентности эксперта относительно обсуждаемого вопроса в данный момент времени  $T$  предлагается определять, исходя из множества коэффициентов сходства ключевых слов обсуждаемого вопроса с базовыми, а также коэффициентов компетентности эксперта относительно областей знаний и практической деятельности, определяемых ключевым словом. В работе [4] эти коэффициенты предлагается определять как некоторые функции результатов самооценки, взаимной оценки и оценки по объективным данным. Более подробно сущность методов, определяющих указанные коэффициенты, приведена в работах [5, 6].

Следует отметить, что применение указанных методов определения степени относительной компетентности члена экспертной группы, более целесообразно для групп второго типа, то есть групп, характерной особенностью деятельности которых является широкий спектр проблем в различных областях, в которых необходимо принимать групповые решения.

Практика показывает, что в большинстве случаев приходится решать проблемы, связанные с принятием решения в одной или нескольких смежных предметных областях. На-

пример, оценка образцов вооружения или военной техники, обоснование требований к перспективным техническим системам и т. п. Как правило, для решения подобных задач собирается группа экспертов, направление деятельности которых непосредственно связано с конкретным типом технической системы. Таким образом, учитывая специфику решения задач подобного характера, можно сделать вывод о том, что она присуща экспертным группам первого типа.

В данном случае нет необходимости пользоваться сложными и громоздкими методами оценки степени относительной компетентности членов экспертной группы, предложенными в работе [4]. К тому же следует заметить, что оценка компетентности членов экспертной группы относительно ключевых слов обсуждаемого вопроса по объективным данным не всегда достаточно полная из-за недостаточности или недостоверности объективных данных об эксперте.

Поэтому далее рассмотрим способ определения относительной оценки компетентности экспертов применительно к вопросу, по которому принимается решение. Он, по сути, включает в себя элементы методов оценки по оценкам объектов, взаимной оценки и самооценки. По мнению автора, этот метод несколько проще и при условии того, что экспертная группа работает в одной предметной области, а эксперты, входящие в нее, обладают приблизительно одинаковым опытом и знаниями в обсуждаемом вопросе, дает достаточную

точность в определении их относительной компетентности.

Сущность и алгоритм предлагаемого способа рассмотрим на примере.

Предположим, имеется экспертная группа в составе 4 экспертов  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \mathcal{E}_4$ , работающих в предметной области «вооружение и военная техника», определяемой базовыми ключевыми словами «ракетное вооружение», «ракетные комплексы», «оперативно-тактические ракетные комплексы», «тактические ракетные комплексы».

Используя подход, изложенный в работе [4], для определения коэффициента взаимной оценки каждому эксперту предлагается оценить компетентность членов экспертной группы путем проведения парных сравнений их опыта и знаний относительно базовых ключевых слов. Для этого, в отличие от метода, рассмотренного в работе [4], когда матрица парных сравнений строится путем заполнения каждым экспертом только одной строки (то есть эксперт сравнивает себя с остальными), здесь каждому эксперту предлагается составить свою матрицу парных сравнений (то есть провести взаимную оценку всех членов экспертной группы, включая и себя). Причем парные сравнения предлагается проводить с использованием 9-бальной оценочной шкалы, предложенной Т. Саати.

Таким образом, например, получаем 4 исходных матрицы парных сравнений, составленных каждым экспертом, входящим в состав экспертной группы:

$$\begin{aligned}
 M_{\mathcal{E}_1} &= \begin{bmatrix} 1 & 5 & 6 & 1 \\ 0,2 & 1 & 1 & 0,143 \\ 0,167 & 1 & 1 & 0,143 \\ 1 & 7 & 7 & 1 \end{bmatrix}, & M_{\mathcal{E}_2} &= \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 0,5 \\ 0,33 & 1 & 2 & 0,125 \\ 0,2 & 0,5 & 1 & 0,167 \\ 2 & 8 & 6 & 1 \end{bmatrix}, \\
 M_{\mathcal{E}_3} &= \begin{bmatrix} 1 & 4 & 4 & 0,33 \\ 0,25 & 1 & 1 & 0,125 \\ 0,25 & 0,33 & 1 & 0,2 \\ 3 & 8 & 5 & 1 \end{bmatrix}, & M_{\mathcal{E}_4} &= \begin{bmatrix} 1 & 4 & 4 & 0,2 \\ 0,25 & 1 & 3 & 0,143 \\ 0,25 & 0,33 & 1 & 0,2 \\ 5 & 7 & 5 & 1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Так как в силу психических и физиологических свойств каждому человеку присуще несколько завышать или занижать относительную оценку своих коллег (по экспертной) группе, целесообразно использовать способ

усреднения матриц, описанный в работе [2]. Таким образом, по 4 исходным матрицам составляется полная усредненная матрица

$$M_{\Sigma} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 4,75 & 0,508 \\ 0,25 & 1 & 2,25 & 0,134 \\ 0,211 & 0,444 & 1 & 0,177 \\ 1,967 & 7,467 & 5,638 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Такая процедура позволяет сгладить субъективную точку зрения каждого эксперта о степени компетентности остальных участников экспертной группы относительно рассматриваемого вопроса, характеризуемого заданными базовыми ключевыми словами.

Далее находится нормированный собственный вектор матрицы  $M_{\Sigma}$  (2) для ее максимального собственного числа, элементы которого в принятых условиях с достаточной степенью точности будут выражать коэффициенты относительной взаимооценки членов экспертной группы в области базовых ключевых слов рассматриваемого вопроса,

$$W_{\Sigma} = \begin{bmatrix} 0,306 \\ 0,094 \\ 0,065 \\ 0,535 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Следующим этапом определения относительной компетентности членов экспертной группы является определение коэффициента самооценки степени осведомленности в обсуждаемом вопросе. Для этого, основываясь на опыте и знаниях лица, принимающего решение (ЛПР), задается некое множество базовых ключевых слов, определяющее область деятельности группы. Такое множество, как указывалось выше, может быть сформировано либо, исходя из нормативных документов, либо на основе анализа вопросов, рассмотренных группой за определенный промежуток времени (или для данного обсуждаемого вопроса).

Для облегчения процедуры нахождения такого множества предлагается построить иерархию базовых ключевых слов, характеризующих обсуждаемый вопрос на разных уровнях детальности. Для взятого примера эта иерархия может быть представлена так: «ракетное вооружение» → «ракетные комплексы» → «оперативно-тактические ракетные комплексы» → «боевая эффективность оперативно-тактических ракетных комплексов» → «коэффициент военно-технического уровня опе-

ративно-тактических ракетных комплексов» → «интегральные показатели качества оперативно-тактических ракетных комплексов» → «частные показатели качества оперативно-тактических ракетных комплексов». В зависимости от уровня обсуждаемого вопроса из построенной иерархии базовых ключевых слов выбирается  $i$ -е базовое ключевое слово и экспертам предлагается оценить относительную важность (найти весовые коэффициенты) показателей, которые качественно или количественно его характеризуют. Возможная процедура выбора показателей подробно описана в работе [2].

Допустим, выбрано базовое ключевое слово «интегральные показатели качества оперативно-тактических ракетных комплексов». Тогда показателями, которые его характеризуют, могут быть, например, «вероятность выполнения типовой боевой задачи», «надежность», «мобильность», «защищенность», «транспортабельность», то есть достаточно, если выбрать 7±2 показателя [7].

Для оценки относительной важности выбранных показателей эксперты, входящие в группу, строят матрицы относительной важности показателей путем их парного сравнения. Далее по методике, описанной в работе [2], ЛПР оценивает последовательность и адекватность высказываний экспертов в определении относительной важности показателей путем анализа отношения обусловленности  $K_{oo}$  полученных матриц.

Следует отметить, что такая процедура при определении коэффициента самооценки включает в себя и элементы оценки компетентности эксперта по его оценке объектов, входящих в предметную область обсуждаемого вопроса и определяемых базовыми ключевыми словами выбранного уровня иерархии. Действительно, высказывая суждения об относительной важности показателей, каждый эксперт объективно оценивает уровень своей компетентности по отношению к обсуждаемому вопросу.

Пусть матрицы относительной важности показателей, составленные каждым экспертом, имеют, например, вид

$$\begin{aligned}
 P_{\mathcal{E}_1} &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 & 3 \\ 0,5 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 0,33 & 0,5 & 1 & 2 & 2 \\ 0,25 & 0,33 & 0,5 & 1 & 1 \\ 0,33 & 0,33 & 0,5 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \\
 P_{\mathcal{E}_2} &= \begin{bmatrix} 1 & 4 & 3 & 4 & 4 \\ 0,25 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 0,33 & 0,5 & 1 & 3 & 2 \\ 0,25 & 0,33 & 0,33 & 1 & 3 \\ 0,25 & 0,33 & 0,5 & 0,33 & 1 \end{bmatrix}, \\
 P_{\mathcal{E}_3} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 4 & 5 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 4 & 3 \\ 0,25 & 1 & 1 & 6 & 3 \\ 0,2 & 0,25 & 0,167 & 1 & 0,25 \\ 0,25 & 0,33 & 0,33 & 4 & 1 \end{bmatrix}, \\
 P_{\mathcal{E}_4} &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 6 & 5 \\ 0,5 & 1 & 2 & 4 & 3 \\ 0,5 & 0,5 & 1 & 5 & 4 \\ 0,167 & 0,25 & 0,2 & 1 & 0,33 \\ 0,2 & 0,33 & 0,25 & 3 & 1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Тогда, соответственно, их нормированные собственные векторы, найденные для максимального собственного числа матрицы, имеют вид

$$\begin{aligned}
 W_{\mathcal{E}_1} &= \begin{bmatrix} 0,4 \\ 0,261 \\ 0,155 \\ 0,088 \\ 0,095 \end{bmatrix}, & W_{\mathcal{E}_2} &= \begin{bmatrix} 0,458 \\ 0,214 \\ 0,159 \\ 0,101 \\ 0,068 \end{bmatrix}, \\
 W_{\mathcal{E}_3} &= \begin{bmatrix} 0,394 \\ 0,249 \\ 0,211 \\ 0,046 \\ 0,1 \end{bmatrix}, & W_{\mathcal{E}_4} &= \begin{bmatrix} 0,394 \\ 0,256 \\ 0,216 \\ 0,048 \\ 0,086 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

По найденным максимальным собственным числам матриц относительной важности находим их индексы обусловленности  $I_o$  и далее, пользуясь значениями средних индексов случайности  $I_c$ , приведенными в таблице [2], значения отношения обусловленности получен-

ных матриц относительной важности, которые для экспертов  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \mathcal{E}_4$  будут равны:  $K_{oo1} = 0,015, K_{oo2} = 0,087, K_{oo3} = 0,083, K_{oo4} = 0,047$  соответственно.

Нормированный коэффициент относительной компетентности  $i$ -го эксперта в группе, состоящей из  $n$  экспертов, по отношению к обсуждаемому вопросу, определяемому  $i$ -м базовым ключевым словом выбранного уровня иерархии (уровня детализации обсуждаемого вопроса), можно выразить следующим соотношением:

$$P_{ki}^* = P_{ki} / \sum_{i=1}^n (1 - K_{ooi}^*) b_i, \tag{6}$$

где  $P_{ki} = (1 - K_{ooi}^*) b_i$ , — коэффициент относительной компетентности  $i$ -го эксперта в группе;  $K_{ooi}^* = K_{ooi} / \sum_{i=1}^n K_{ooi}$  — нормирован-

ное отношение обусловленности матрицы относительной важности, составленной  $i$ -м экспертом;  $b_i$  — элемент собственного вектора  $W_{\Sigma}$  (3) полной усредненной матрицы  $M_{\Sigma}$ , выражающий коэффициент взаимной оценки  $i$ -го эксперта.

Важно отметить, что условие применимости соотношения (6) определяется неравенством  $0 < K_{oo} \leq 1$ .

Используя данные рассмотренного примера, получаем значения относительных коэффициентов компетентности экспертов в группе по отношению к выбранным базовым ключевым словам в зависимости от уровня детализации обсуждаемого вопроса. Результаты вычисления сведены в таблице.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что для взятого примера наиболее

**Значения коэффициентов взаимной оценки, самооценки и компетентности 4-х экспертов, входящих в экспертную группу**

Коэффициенты	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4
Коэффициент взаимной оценки	0,306	0,094	0,065	0,535
Коэффициент самооценки (отношение обусловленности $K_{oo}$ )	0,015	0,087	0,089	0,047
$K_{oo}^*$	0,063025	0,365546	0,37395	0,197479
$P_{ki}$	0,286714	0,059639	0,040693	0,429349
$P_{ki}^*$	0,351196	0,073051	0,049845	0,525908

компетентными оказались эксперт 4 и эксперт 1, а наименее компетентным — эксперт 3.

### Выводы

Таким образом, с одной стороны, определение степени относительной компетентности экспертов в обсуждаемом вопросе помогает лицу, принимающее решение, правильно организовать экспертную оценку путем подбора наиболее компетентных в этом вопросе экспертов. С другой стороны, так как коэффициент относительной компетентности фактически выражает степень доверия к лицу, принимающему решение, к результатам оценок, сделанных каждым экспертом, входящим в экспертную группу, то он помогает принять более обоснованное решение в тех случаях, когда необходимо исключить из результатов экспертизы аномальную (с точки зрения лица, принимающего решение) оценку, сделанную тем или иным экспертом из состава экспертной группы. ■

### Список литературы

1. Семенов С.С. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники / С.С. Семенов, В.Н. Харчев, А.И. Иоффин. — М.: Радио и связь, 2004. — 552 с.
2. Полегенько А.Ф. Круковский-Синевиц К.Б. Коростелев О.П. Метод анализа иерархий. Некоторые аспекты практического применения. — К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2011. — 154 с.
3. Полегенько А.Ф. К оценке приоритетов развития систем вооружения и военной техники в зависимости от области их применения / К.Б. Круковский-Синевиц // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2006. — № 3. — С. 3–10.
4. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. — К.: Наук. думка, 2002. — 381 с.
5. Тоценко В.Г. Определение относительной компетентности членов группы в обсуждаемом вопросе при принятии групповых решений // Пробл. упр. и информатики. — 2002. — № 2. — С. 91–102.
6. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. — М.: Наука, 1974.
7. Панкова Л.А. Организация экспертизы и анализ экспертной информации / Л.А. Панкова, А.М. Петровский, М.В. Шнейдерман. — М.: Наука, 1984.
8. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. — М.: Экономика, 1984.
9. Адамов А.П. Об определении компетентности экспертов методом взаимной оценки / А.П. Адамов, У.А. Гаджиев, Г.М. Пирбудагов, А.Н. Сотская // Автоматика и телемеханика. — 1989. — № 3. — С. 185–189.
10. Миллер Дж.Г. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию: Пер. с англ. // Инженерная психология / Под ред. В.П. Зинченко. — М.: Прогресс, 1964. — С. 192–225.