

## **Методика проведения согласования экспертных оценок полученных путём индивидуального анкетирования методом анализа иерархий**

# 12, декабрь 2014

Рязанцев В.И., Морозов А. В.

УДК: 629.1.032.1

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[Avmorozoff@yandex.ru](mailto:Avmorozoff@yandex.ru)

### **Введение**

Колёсные и гусеничные машины являются сложными техническими системами со значительным количеством ограничений и обратных связей. Каждый элемент конструкции может оказывать влияние на реализацию сразу нескольких свойств. В связи с этим при внесении изменений в конструкцию узла, отвечающего за одно свойство, могут измениться показатели и других свойств. При этом под свойствами любого технического изделия понимаются его объективные особенности, проявляющиеся при создании и эксплуатации. Каждое свойство определяется рядом показателей, которые могут иметь как качественную, так и количественную характеристики [1].

Для оценки и сравнения объектов колёсной и гусеничной техники (КГТ) используются методы комплексного сравнения. Идея комплексного сравнения заключается в сопоставлении объектов по совокупности всех показателей. Вывод о приоритетности того или иного объекта осуществляется на основании значения обобщённого показателя.

Методы комплексного сравнения, используемые при сравнении объектов КГТ, описаны в [2-4]. Наибольшее распространение на сегодняшний день получил метод анализа иерархий (МАИ) [5]. Обоснование предпочтительности МАИ над другими методами в области сравнения и оценки КГТ приведено в [3, 6]. Применимость МАИ в области КГТ была апробирована в работах [3, 7, 8] и доказана большим числом НИР в ОАО «НИИ стали», ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», ФГУ «21 НИИИ Минобороны России» и др.

Одной из особенностей МАИ является то, что данный метод рассчитан исключительно на групповое принятие решения. Индивидуальные оценки отдельных экспертов не учитываются. С одной стороны, это является сильной стороной метода – групповые обсуждения позволяют принимать решение по поставленным задачам методом «Мозгового штурма». С другой стороны, организация группового обсуждения является процессом

трудоёмким, и присутствие всех специалистов на общем обсуждении не всегда возможно. Ещё одной проблемой при организации группового обсуждения является случай, когда мнение одного эксперта или группы экспертов радикально отличается от мнения большинства. Более продуктивным и менее трудоёмким является процесс проведения сравнений методом индивидуального анкетирования.

В данной статье с целью более эффективного использования МАИ описан подход позволяющий заменить групповое обсуждение методом индивидуального анкетирования. Научная новизна работы, на взгляд авторов, заключается в формализации процесса группового обсуждения, разработке методики согласования экспертных оценок для использования в методе анализа иерархий и методики выявления группы экспертов с высоко согласованным противоположным мнением.

## 1. Постановка задачи

Замена группового принятия решения методом индивидуального анкетирования должна быть дополнена всеми процессами, проходящими при проведении реальных групповых обсуждений. При проведении групповых суждений наибольшей значимостью обладает мнение, выдвинутое наиболее авторитетным (компетентным) экспертом. Вместе с этим, при сильной позиции оппонентов итоговое решение может сместиться в их сторону. Таким образом, можно отметить, что при групповом принятии решения существует внутренняя процедура формирования обобщённого мнения.

В случае моделирования процессов, возникающих при принятии группового решения, кроме показателей обобщённого мнения необходимо определить степень согласованности мнений экспертов по каждому вопросу, а также выявить отдельных экспертов или группы экспертов, придерживающихся оригинальных суждений, которые резко отличаются от мнения большинства.

Ещё одним важным фактором проведения экспертной оценки методом индивидуального анкетирования является определение численности группы экспертов [9]. При групповом принятии решения число экспертов не так явно влияет на конечный результат оценки. Гораздо большее влияние оказывает число авторитетных экспертов. Обратная ситуация складывается при оценке методом индивидуального анкетирования. По замечанию [10], при привлечении большого числа экспертов мнение каждого отдельного эксперта слабо влияет на итоговую групповую оценку, поэтому мнение нескольких действительно компетентных экспертов могут «раствориться» во множестве оценок малокомпетентных экспертов.

Таким образом, при замене группового обсуждения методом индивидуального анкетирования необходимо решить следующие задачи:

- определить численность группы экспертов;
- определить компетентность экспертов и способ учёта этого фактора при проведении оценки;
- определить метод оценки внутренней согласованности экспертов;

- определить способ получения показателя обобщённого мнения.

## 2. Определение численности группы экспертов

В соответствии с [10] необходимое число экспертов определяется несколькими факторами, основными из которых являются: требуемая достоверность результатов и наличие ресурсов на проведение экспертизы.

Чем больше экспертная группа, тем более достоверные результаты могут быть получены. Однако необходимо иметь в виду, что привлечение слишком большого числа экспертов, особенно если отсутствует процедура тщательного их отбора, также нежелательно. При отсутствии учёта компетентности экспертов оценки каждого отдельного эксперта слабо влияют на итоговый результат. Вместе с этим, чем больше экспертная группа, тем больше ресурсов (временных и финансовых) затрачивается на подбор и опрос экспертов.

Установить оптимальное число экспертов в группе чрезвычайно трудно [9]. На рисунке 1. приведена кривая, характеризующая зависимость между числом экспертов в группе и средней групповой ошибкой [9]. Использование кривых такого типа позволяет выбрать минимально допустимое число экспертов. Однако необходимо учитывать, что каждая такая кривая не имеет универсального характера и обусловлена специфическими особенностями конкретной экспертизы.

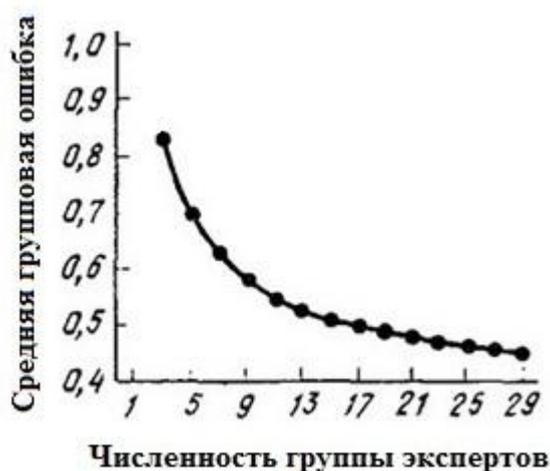


Рис. 1. Роль численности группы [9]

В [10] утверждается, что если имеется несколько высококвалифицированных экспертов (а возможно и только один), то не имеет смысла значительно увеличивать экспертную группу. Однако при уменьшении численности экспертной группы до 2 - 4 человек не всегда возможно проведение статистического анализа результатов опроса. В то же время, при очень большом числе экспертов становится сложнее выявить их согласованное мнение из-за уменьшения роли тех суждений, которые, хотя и отличаются от мнения большинства, однако далеко не всегда оказываются ошибочными [9].

С учётом вышесказанного, в качестве рекомендации указывается, что экспертная группа должна включать в себя не менее 5, но и не более 15 человек [10].

### 3. Показатели обобщённого мнения

Характер показателей обобщённого мнения и степени согласованности мнений экспертов, а следовательно и методика обработки материалов коллективной экспертной оценки, определяются типом вопроса.

Материалы, полученные в результате опроса экспертов посредством аппарата МАИ, являются данными, отвечающими вопросу типа «оценка относительной важности» и представляющими собой совокупность оценок относительной важности, назначенных экспертом каждому из сравниваемых объектов. Оценки важности при этом выражены в долях от единицы таким образом, что общая сумма оценок всех сравниваемых объектов по каждому эксперту составляет единицу.

Для обработки материалов, полученных в результате экспертной оценки, используются следующие обозначения [11]:

$m$  – число экспертов, принявших участие в оценке;  $i = 1, 2, \dots, m$ ;

$n$  – число сравниваемых объектов, предложенных для оценки;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

$m_j$  – число экспертов, оценивших  $j$ -й сравниваемый объект;

$m'_j$  – число максимально возможных оценок, полученных  $j$ -м сравниваемым объектом;

$C_{ij}$  – оценка относительной важности (в баллах или долях)  $i$ -м экспертом  $j$ -го сравниваемого объекта.

Показатели обобщённого мнения могут быть получены следующими способами [11]. Первый способ – это среднее арифметическое значение  $M_j$  величины оценки сравниваемого объекта (в баллах или долях):

$$M_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} C_{ij} .$$

Величина  $M_j$  определяется для каждого из сравниваемых объектов. Чем больше значение  $M_j$ , тем больше по мнению экспертов важность  $j$ -ого сравниваемого объекта.

Второй способ – это сумма рангов оценок  $S_j$ , полученных  $j$ -м сравниваемым объектом:

$$S_j = \sum_{i=1}^m R_{ij} .$$

Здесь  $R_{ij}$  — ранг оценки  $i$ -м экспертом  $j$ -го сравниваемого объекта. При получении обобщённого мнения данным способом наиболее важными следует считать объекты, характеризующиеся наименьшим значением  $S_j$ .

Третий способ - получение геометрического среднего. Для получения обобщённого мнения посредством геометрического среднего необходимо перемножить соответствующие

щие численные значения суждений и извлечь корень  $k$ -й степени, где  $k$  – число участников:

$$G_j = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^m C_{ij}} .$$

Чем больше значение  $G_j$ , тем выше важность  $j$ -ого сравниваемого объекта.

Наиболее распространённым способом определения обобщённого мнения является получение среднего арифметического [4], что обусловлено простотой вычисления, например, по сравнению со средним взвешенным геометрическим. Однако, при современном развитии вычислительной техники этот критерий не может являться определяющим. Вместе с этим, по мнению Томаса Саати получение среднего геометрического является единственным способом, позволяющим объединить разные суждения [5].

#### 4. Показатели степени согласованности мнений экспертов

Известны такие показатели степени согласованности мнений экспертов как коэффициент вариации  $V_j$  и коэффициент конкордации  $W$  [11].

Коэффициент вариации  $V_j$  оценок, полученных  $j$ -ым сравниваемым объектом характеризует вариабельность, рассчитываемую в виде отношения среднего квадратического отклонения к среднему арифметическому значению оценки сравниваемого объекта.

Коэффициент вариации определяется следующим образом.

а) Вычисляется дисперсия  $D_j$  оценок, данных  $j$ -му сравниваемому объекту:

$$D_j = \frac{1}{m_j - 1} \sum_{i=1}^{m_j} (C_{ij} - M_j)^2 .$$

б) Определяется среднее квадратическое отклонение оценок, полученных  $j$ -ым сравниваемым объектом:

$$\sigma_j = \sqrt{D_j} .$$

в) Определяется коэффициент вариации оценок, полученных  $j$ -ым сравниваемым объектом:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j} .$$

Коэффициент вариации  $V_j$  определяется для каждого сравниваемого объекта и характеризует степень согласованности мнений экспертов об относительной важности  $j$ -ого объекта. Чем меньше значение  $V_j$ , тем выше степень согласованности мнений экспертов. Приемлемым является значение коэффициента вариации не более 0,25.

Для характеристики степени согласованности оценок, назначенных различными экспертами определенному числу объектов, по степени выраженности некоторого качества, в теории ранговой корреляции используется коэффициент конкордации [12]. Этот показатель целесообразно применить и для определения степени согласованности мнений экспертов по нескольким сравниваемым объектам.

Коэффициент конкордации  $W$  является показателем степени согласованности мнений экспертов об относительной важности совокупности всех предложенных для оценки объектов. Определение коэффициента конкордации производится для каждого вопроса типа «оценка относительной важности» следующим образом.

а) Определяется среднее арифметическое сумм рангов оценок, полученных всеми сравниваемыми объектами:

$$M[S_j] = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j .$$

б) Вычисляются отклонения суммы рангов оценок, полученных  $j$ -ым сравниваемым объектом от среднего арифметического сумм рангов оценок, полученных всеми объектами:

$$d_j = S_j - M[S_j] .$$

в) Определяются показатели связанных (равных) рангов оценок, назначенных  $i$ -м экспертом. Если все  $n$  рангов оценок, назначенных  $i$ -м экспертом, различны, то  $T_j = 0$ . Если среди рангов оценок есть одинаковые, то

$$T_i = \sum_{l=1}^L (t_l^3 - t_l) .$$

где  $l = 1, 2, \dots, L$ ;  $L$  – число групп связанных рангов;  $t_l$  – число связанных рангов в  $l$ -й группе.

г) Определяется коэффициент конкордации

$$W = \frac{12}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \sum_{j=1}^n d_j^2 .$$

Следует иметь в виду, что коэффициент вариации рассчитывается на основании экспертных оценок, представленных в виде баллов или долей, тогда как расчёт коэффициента конкордации проводится на основании экспертных оценок в виде рангов.

Коэффициент конкордации  $W$  может принимать значения в пределах от 0 до 1 и определяется для каждого вопроса типа «оценка относительной важности». При полной согласованности мнений экспертов  $W = 1$ . Приемлемым является значение коэффициента конкордации не менее 0,75.

Важным моментом методики обработки данных экспертной оценки является определение групп экспертов, внутри которых согласованность мнений высока, а также выявление экспертов, имеющих оригинальную точку зрения, отличающуюся от мнения большинства.

Небольшое значение коэффициента конкордации свидетельствует о слабой согласованности мнений экспертов и происходит обычно вследствие следующих причин:

- в рассматриваемой совокупности экспертов действительно отсутствует общность мнений;

- существуют (внутри рассматриваемой совокупности экспертов) группы с высокой согласованностью мнений, однако обобщенные мнения таких групп противоположны.

Таким образом, при рассмотрении результатов оценки экспертами некоторого вопроса «относительной важности» отсутствие согласованности мнений (коэффициент конкордации  $W = 0$ ) является необходимым, но недостаточным условием того, что внутри рассматриваемой совокупности экспертов нет групп, характеризующихся высокой согласованностью мнений. Например, коэффициент конкордации может оказаться равным нулю для совокупности, которая состоит из двух групп экспертов, равных по численности, при этом имеется полная согласованность мнений внутри каждой группы ( $W = 1$ ), однако мнение одной группы противоположно мнению другой. Реализация такого предельного (в смысле значения  $W$ ) случая на практике маловероятна, но анализ подобных ситуаций при значениях  $W$  близких к предельным представляет значительный интерес с точки зрения выявления групп единомышленников.

Для выявления групп экспертов, внутри которых согласованность мнений высока, авторы предлагают следующий подход. Один эксперт исключается из совокупности и подсчитывается коэффициент конкордации  $W_1$  для оставшихся экспертов. Если значение коэффициента конкордации  $W_1$  в этом случае оказалось больше, чем значение  $W$  для полной совокупности экспертов, то данный эксперт исключается из совокупности. Если же значение  $W_1$  оказалось меньше, чем значение  $W$  для полной совокупности экспертов, то данный эксперт остается в совокупности. Такие расчеты проводятся последовательно для каждого эксперта. В результате степень согласованности мнений экспертов, остающихся в совокупности, повышается.

С целью выявления возможных групп экспертов, имеющих высокую согласованность, но мнение которых противоположно большинству, необходим повторный расчёт коэффициента конкордации среди экспертов, исключённых из общей группы. В случае, если согласованность этой группы мала, возможно проведение процедуры описанной выше, когда после исключения одного из экспертов происходит повторный подсчёт коэффициента конкордации.

## 5. Учёт компетентности экспертов

Помимо учёта степени согласованности мнений экспертов, существует необходимость в учёте их личных качеств. Роль учета этого фактора в процессе обработки и анализа результатов опроса особенно велика в случае применения методов индивидуального анкетирования. Учет личных качеств может опираться на оценку степени знакомства эксперта с рассматриваемой проблемой. Оценка степени знакомства с определенной проблемой может производиться как им самим (в этом случае говорят о самооценке), так и другими экспертами (взаимная оценка).

При учёте компетентности экспертов значения  $C_{ij}$  умножаются на значения соответствующего коэффициента компетентности  $K_k$ , методика определения которого приведена ниже [11].

Компетентность эксперта определяется структурой аргументов, послуживших ему основанием для ответа, а также степенью его знакомства с рассматриваемым вопросом.

Компетентность эксперта учитывается коэффициентом аргументированности  $K_a$ , который определяется путем наложения чисел, приведенных в таблицы 1, на клетки таблицы 2, отмеченные экспертом, и суммирования соответствующих численных значений.

**Таблица 1.** Шкала оценок источников аргументации

Источник аргументации	Степень влияния источника		
	<b>В</b> высокая	<b>С</b> средняя	<b>Н</b> низкая
Проведённый теоретический анализ	0,3	0,2	0,1
Производственный опыт	0,5	0,4	0,2
Обобщение работ отечественных авторов	0,05	0,05	0,05
Обобщение работ зарубежных авторов	0,05	0,05	0,05
Личное знакомство с состоянием дел за рубежом	0,05	0,05	0,05
Интуиция	0,05	0,05	0,05

**Таблица 2.** Оценка источников аргументации

Источник аргументации	Степень влияния источника		
	<b>В</b> высокая	<b>С</b> средняя	<b>Н</b> низкая
Проведённый теоретический анализ	*	-	-
Производственный опыт	-	*	-
Обобщение работ отечественных авторов	-	-	*
Обобщение работ зарубежных авторов	-	-	*
Личное знакомство с состоянием дел за рубежом	-	*	-
Интуиция	*	-	-

Степень знакомства эксперта с обсуждаемой проблемой учитывается коэффициентом степени знакомства  $K_3$ . Эксперт отмечает степень своего знакомства на шкале от 0 до 10 и далее оценка проставленной экспертом умножается на 0,1.

Коэффициент компетентности  $K_k$ , учитывающий и степень знакомства и аргументированность, определяется как среднее арифметическое коэффициентов степени знакомства и аргументированности, т.е.

$$K_k = \frac{K_3 + K_a}{2} .$$

### Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Замена группового обсуждения методом индивидуального анкетирования должна быть выполнена с учётом реализации следующих принципов. Количество экспертов для проведения анкетирования не должно превышать 15 человек и не должно быть менее 5 человек. Для оценки компетентности экспертов возможно использование метода самооценки. В качестве показателей степени согласованности целесообразно использовать коэффициент вариации и коэффициент кон-

кордации, которые взаимодополняют друг друга. В качестве показателя обобщённого мнения предпочтительно использовать среднее геометрическое значение величины оценки сравниваемого объекта.

Представленные результаты были учтены при разработке методики, позволяющей повысить «Приспособленность к эвакуации» объекта КГТ. Экспертная оценка в данной методике используется на начальном этапе с целью сравнения значимости различных свойств и расчёта приоритетности того или иного конструктивного решения в объекте КГТ.

### Список литературы

1. Эксплуатация вооружения и военной техники сухопутных войск. Учебник. - М.: Издание общевойсковой академии ВС РФ, 2000г. – 200 с.
2. С.С. Семенов, В.Н. Харчев, А.И. Иоффин. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники. М., «Радио и связь», 2004. – 551 с. : табл
3. Лошаков В.И. Анализ методов оценки уровня качества машин специального назначения внутренних войск МВД России. Сборник №26. –ОА ВС РФ; С. 47-52, 2008.
4. Плиев И.А. Автомобили многоцелевого назначения. Формирование технического облика АМН в составе семейств: Монография. – М.: МГИУ, 2011. – 262 с.
5. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Перевод с английского. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
6. Морозов А.В., Котровский А.А., Филёв А.В.. Выбор метода комплексного сравнения объектов автобронетанковой техники на этапе проектирования. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2014. № 2 (104). - 337 с. 120-123.
7. Постников М.В. Метод комплексного сравнения военных гусеничных машин на основе анализа иерархий. Дис. ... канд. тех. наук. – М., 2003. – 240 с.
8. Дубенский М.Я. Метод выбора базового шасси при создании спецавтомобиля: Дисс. ... канд.техн.наук:05.05.03.- М.,1999. – 130с.
9. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г., Математико-статистические методы экспертных оценок. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Статистика, 1980. – 263 с. с ил. – (Матем. статистика для экономистов).
10. Елтаренко Е.А., Крупнова Е.К. Обработка экспертных оценок. Учебное пособие. М.: Изд. МИФИ, 1982. – 96 с.
11. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. Академия Наук Украинской ССР Ордена Ленина Институт Кибернетики – Киев: Наукова думка, 1974. – 159 с.
12. Кендэл М. Ранговые корреляции. – Зарубежные статистические исследования. – М.: «Статистика», 1975. – 216 с. с ил.