

УДК: 681.31

## **Выбор компоновочного решения при отсутствии явного прототипа с применением коэффициента конкордации**

Бодрышев А.В. Куприков М.Ю.

### **Аннотация**

В статье рассматривается вопрос выбора оптимального компоновочного решения из нескольких предлагаемых вариантов при отсутствии достоверных статистических данных. Предлагается по каждому параметру, влияющему на выбор данного компоновочного решения, проводить экспертную оценку. Количество параметров, влияющих на выбор компоновки, определяется стадией проекта (степенью проработки конструкции). Согласованность мнений экспертов оценивается величиной коэффициента конкордации. Целью повышения объективности и степени доверия к полученным в ходе опроса значениям весовых коэффициентов предлагается методика определения их величин, которая учитывает уровень компетентности привлекаемых экспертов, на основе их самооценки и оценки степени их знакомств с областью знаний, к которой относится оценка, соответствующими руководителями. Приведенные результаты имеют большое значение при проектировании новых изделий в авиационной промышленности на начальных стадиях проектирования изделия. Разработанный расчетный модуль является частью общей программы по созданию оптимального компоновочного решения вновь создаваемого изделия.

**Ключевые слова:** компоновка, экспертная оценка, достоверность результатов, коэффициента конкордации.

### **Введение**

В данной статье рассматриваются примеры компоновочных решений которые определяется геометрической (положением объектов в изделии) и эксплуатационной (наличием доступа к объектам, условий доступности, ремонтпригодности, легкоъемности) составляющими. Удачная геометрическая упаковка (высокая плотность компоновки) может не быть оптимальной, так как ее эксплуатационные характеристики не соответствуют

требованиям технического задания. Поэтому только сравнительный анализ эксплуатационной составляющей позволит нам выбрать правильное решение. Очень важно выполнить рациональную компоновку объектов на ранних стадиях разработки авиационных изделий. На этих стадиях чаще всего отсутствуют точные оценочные экспериментальные данные для анализа выбранного компоновочного решения. Сравнительный анализ с применением мнений экспертов по каждому разрабатываемому варианту позволит на первых этапах компоновки изделия оптимизировать поиск правильного решения. При этом рациональность компоновочного решения должна последовательно оцениваться как для объектов, входящих в изделие, по своим параметрам (например, доступности к ним, исходя из задач ремонтпригодности, легкосъемности, взаимозаменяемости), так и всего изделия по своим суммарным параметрам эксплуатации (например, себестоимости, потребности в обслуживаемом персонале, эксплуатационным характеристикам и т.п.).

### **Актуальность работы**

Наличие оптимального компоновочного эскиза изделия на ранних стадиях проектирования позволяет определить правильность компоновки органов управления, эксплуатации и контроля, их соответствие требованиям инженерной психологии и эргономики, без которых в настоящее время невозможно грамотное конструирование. В данной работе предлагается метод сравнительного анализа компоновочных решений по основным эксплуатационным (или другим, например экономическим) критериям с применением бальной системы, на основе данных экспертного анализа, Согласованность мнений экспертов оценивается величиной коэффициента конкордации.

### **Постановка задачи**

На практике на начальных стадиях разработки изделия рассматриваются несколько вариантов компоновочных решений.

В начале целесообразно очертить круг параметров, по которым проводится оценка оптимальности компоновочного решения. Их количество определяется стадией проекта (степенью проработки конструкции), на которой оценивается работоспособность изделия. (Для более поздних стадий их количество может значительно возрасти.)

Дальнейший анализ компоновочного решения по каждому из них оценивается рядом экспертов по принятой бальной системе.

На рис. 1 показаны схемы сборки одноступенчатого зубчатого редуктора с расположением осей зубчатых колес в горизонтальной плоскости.

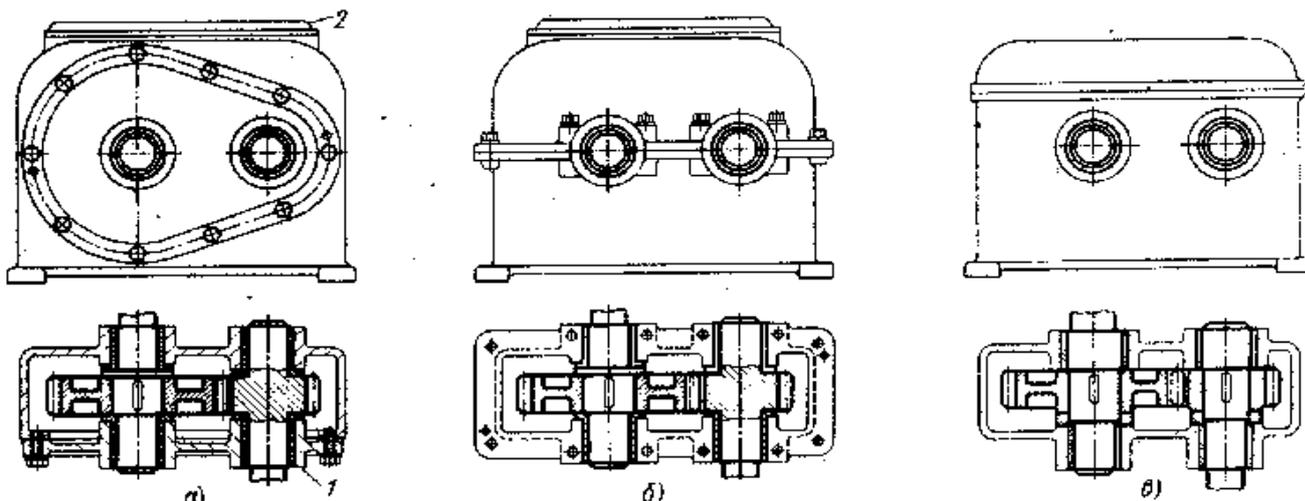


Рис.1 Схемы сборки одноступенчатых редукторов

В конструкции с осевой сборкой (вид *а*) из-за наличия коцеля нельзя разъединить корпус по оси симметрии. Зубчатые колеса редуктора монтируют с одной стороны в стенки корпуса, а с другой — в отъемной крышке *1*, зафиксированной на корпусе контрольными штифтами. Конструкция обеспечивает удобный монтаж. Для проверки зацепления колес и для осмотра внутренней полости редуктора предусматривают смотровой люк *2*.

В конструкции с радиальной сборкой (вид *б*) корпус состоит из двух частей с разъемом в плоскости осей зубчатых колес, части корпуса фиксируются одна относительно другой контрольными штифтами. Как и другие системы радиальной сборки, эта конструкция характеризуется сложностью механической обработки.

Уплотнение стыка связано с некоторыми затруднениями. Особенно трудно добиться уплотнения одновременно по плоскому стыку и по наружным цилиндрическим поверхностям подшипников (если втулки подшипников выполнены целыми). Во избежание разборки стыка при эксплуатации в корпусе необходимо предусматривать смотровой люк.

В данном случае предпочтительнее осевая сборка, обеспечивающая более простую механическую обработку и вполне удовлетворительный монтаж.

В конструкции со смешанной радиально-осевой сборкой (вид *в*) валы зубчатых колес оперты в стенках корпуса; корпус снабжен крышкой с плоскостью разъема, расположенной выше гнезд под подшипники валов. Сборку ведут в следующем порядке: заводят в корпус зубчатые колеса (которые в данном случае должны быть насадными), продевают валы через подшипник и через ступицы колес (валы должны быть ступенчатыми) и фиксируют колеса на валах. По простоте механической обработки, по устойчивости

фиксации валов в корпусе эта конструкция лучше предыдущих. Однако монтаж ее значительно сложнее.

Таким образом при рассмотрении данной задач в таблице 1 представлен вариант сравнительного анализа по монтажу.

Таблица. 1

Вид фиксации от поворота	Баллы
Конструкции с осевой сборкой (рис. 1, а)	4
Конструкции с радиальной сборкой (рис 1, б)	2
Конструкции с радиально-осевой сборкой (рис. 1, в)	0

В следующем примере рассмотрим схемы разъема корпусов роторной машины (рис. 2).

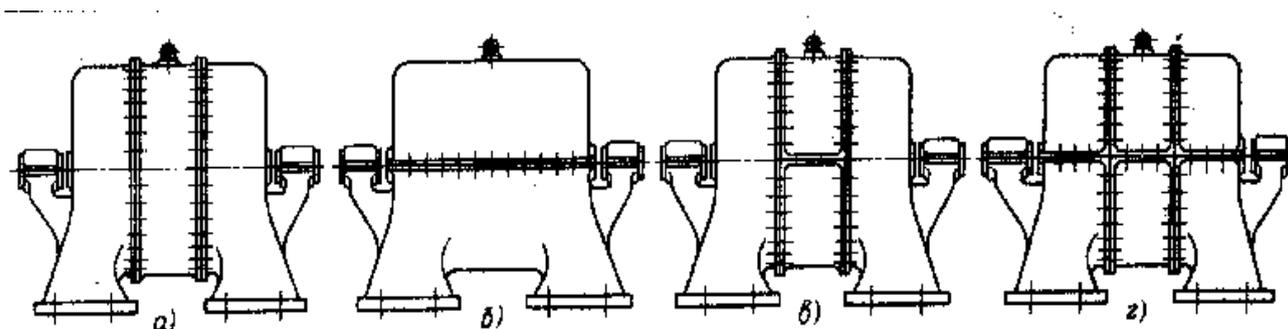


Рис. 2. Схема разъема корпуса

Иногда система сборки однозначно задается устройством агрегата. Так, для стационарной машины, установленной на фундаменте, система осевой сборки (рис. 2, а) неприменима по эксплуатационным соображениям: для осмотра внутренних механизмов понадобилось бы снимать машину с фундамента. Здесь возможна только радиальная сборка (вид б) и ограниченно-смешанная система (виды в, г).

Таким образом при рассмотрении данной задачи в таблице 2 представлен вариант сравнительного анализа по монтажу.

Таблица. 2

Вид фиксации от поворота	Баллы
Схеме разъема в соответствии с рис. 1, а)	0
Схеме разъема в соответствии с рис. 1, б,в))	4
Схеме разъема в соответствии с рис. 1, г)	2

Рассмотрим в качестве примера варианты фиксации деталей от поворота [1]:

1. *Посредством установочных винтов* (рис. 3). Способ может быть рекомендован при отсутствии значительных крутящих моментов и осевых усилий и только при условии возможности сверления вала при сборке.

2. *Коническим штифтом* (рис. 4). Несмотря на необходимость совместного развертывания отверстия под штифт в детали и валике этот способ рационален, так как он достаточно прост, предотвращает проворот и осевое смещение детали. Рекомендуется при возможности совместного сверления деталей для крепления маховиков и ненагруженных шестерен без применения шпонок.

3. *Посадкой детали на квадрат* (рис. 5, а). Вследствие низкопроизводительной и сравнительно неточной обработки квадрата на валике этот способ следует применять лишь в крайних случаях; например, при необходимости частого съема детали, если квадрат находится на конце вала, и при сравнительно больших допусках. Для уменьшения количества металла, снимаемого протягиванием, сечение отверстия желательно выполнять, как указано на рис. 5, а., а также *посадкой детали на лыски валика* (рис. 5, б, в). Оба варианта нерациональны, так как для точной посадки необходима ручная подгонка. Способ, приведенный на рис. 5, в, несколько лучше, так как при обработке отверстия протягиванием инструмент нагружен равномерно.

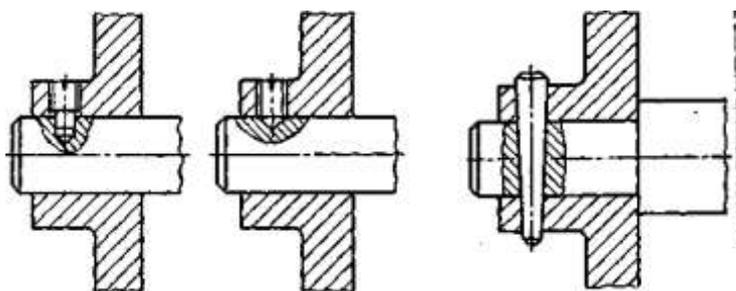


Рис. 3 Фиксация деталей с помощью винтов при различных исполнениях

4. Фиксация деталей с помощью конического штифта

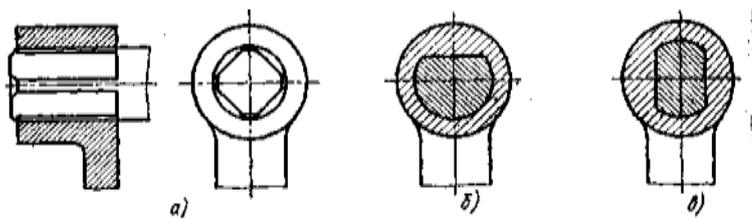


Рис. 5. Фиксация деталей с помощью огранки вала

Таким образом при рассмотрении данной задачи при отсутствии необходимости частого съема деталей в таблице 3 представлен вариант сравнительного анализа.

Таблица. 3

Вид фиксации от поворота	Баллы
С помощью винтов (рис. 1)	4
С помощью конического штифта (рис 2)	6
С помощью огранки вала (рис. 3, а, б)	0
С помощью огранки вала (рис. 3, в)	2

В следующем примере рассмотрим примеры крепления втулок установочным винтом с точки зрения их доступности (рис. 6).

Способ крепления втулок согласно рис. 4, а является технологичным.

*Крепление втулки установочным винтом с торца* (рис. 6, б) требует значительного объема совместной обработки (сверления отверстия и нарезания резьбы) и не рекомендуется ввиду ограниченного доступа инструмента.

*Крепление втулки цилиндрическим штифтом* (рис. 6, в) не рекомендуется из-за ограниченного доступа инструмента при обработке отверстия под штифт. Разборка подобного соединения (извлечение штифта) затруднительна, а в представленном на рисунке примере вообще невозможна.

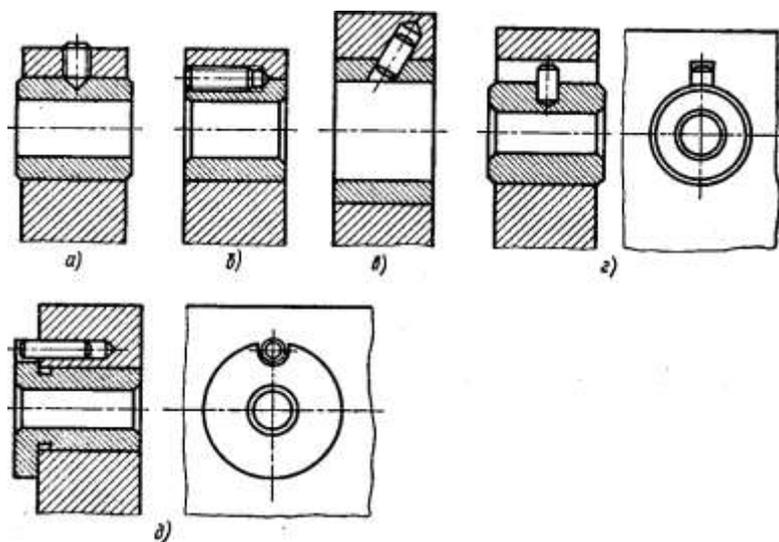


Рис.6. Способы крепления втулок

*Крепление втулки от проворота цилиндрическим штифтом, входящим « шпоночный паз* (рис. 6, г) не следует применять, так как в этом случае необходимо обрабатывать паз, что не желательно особенно в крупных деталях.

В таблице 4 представлен вариант сравнительного анализа.

Таблица 4.

Способ установки и крепления втулки	Баллы
С помощью вертикального закрепления винтом (рис. 4, а)	8
С помощью крепления втулки с торца (рис 4,б)	4
С помощью крепления втулки цилиндрическим штифтом (рис. 4, в)	2
С помощью крепления втулки цилиндрическим штифтом входящим в шпоночный паз (рис. 4, в)	0

В таблице 3 рассмотрен пример варианта оценки сравнительного анализа объекта, входящего в изделие, с применением четырехуровневой балльной системы [2]. Здесь чем больше число снимаемых элементов, требуемых для доступа к проектируемому объекту, тем меньше присваивается баллов.

Таблица 3

Число снимаемых элементов для доступа к необходимому объекту	Баллы
0	8
1	6
2	4
3	2
Больше 3	0

В таблице 4 рассмотрены варианты доступности к объекту и число присваиваемых баллов.

Таблица 4

Число сторон, необходимых для доступности к объекту	Баллы
1 сторона	8

2 стороны	6
3 стороны	4
4 стороны	2
Больше 4	0

Таким образом, для сравнения множества вариантов компоновки ( $k$ ) мы имеем фиксированное количество экспертов ( $m$ ) и группу параметров, подлежащих учету ( $n$ ).

В качестве примера рассмотрен вариант присвоения баллов по принципу:  $M_1$  балла — компоновочное решение превышает требования ТЗ,  $M_2$  балла – выбор, соответствующий требованиям ТЗ,  $M_3$  — выбор, не соответствующий требованиям ТЗ. На основе данных экспертов составляются таблицы вида 5

Таблица 5

**№ эксперта**

<i>Вид параметра</i>	<i>Номер рассматриваемого объекта</i>			
	<i>№ 1</i>	<i>№ 2</i>	<i>.</i>	<i>№ k</i>
1	$M_1$	$M_3$	.	$M_3$
2	$M_2$	$M_1$	.	$M_1$
.	.	.	.	.
n-1	$M_3$	$M_3$	.	$M_2$
n	$M_1$	$M_1$	.	$M_3$

В таблицах в ячейке на пересечении вида параметра и номера элемента согласно принятой балльной системе проставляется оценка влияния этого параметра на его компоновку в изделии.

Все исследуемые параметры неравнозначно оптимальный вариант компоновки. Поэтому целесообразно проводить оценку влияния параметра на выбор компоновочного решения с учетом их весовых коэффициентов. Значение весового коэффициента  $a_{ij}$  определяется на основании статистических данных (здесь  $i$  — номер проектируемого компоновочного объекта,  $j$  — вид требуемого параметра, определяющего правильность компоновочного решения) [3]. При их отсутствии рекомендуется проводить ее оценку согласно зависимости [4]

$$\alpha_j = \beta_j / (\sum_n \beta_j) \quad (1)$$

где  $n$  — число рассматриваемых параметров;

$$\beta_j = j / 2^{j-1}, \quad (2)$$

где  $j$  — номер параметра в ранжированной последовательности параметров.

В таблице 6 в качестве примера представлены расчетные данные по расчету  $\beta_j$  для 6 параметров, представленных в работе [5]. В сумме  $\alpha_i$  должны быть равны 1.

Таблица 6

Параметр сравнения	Место в ранжировании	$\beta_i$	$\alpha_i$
Оперативная замена отсека	3	0,375	0,13
Весовое совершенство	1	1	0,3478
Аэродинамическое совершенство	2	1	0,3478
Трудоемкость изготовления	6	0,0937	0,0326
Трудоемкость сборки	4	0,25	0,0869
Минимизация совершенства производства	5	0,156	0,0543

Выбранные весовые коэффициенты собираются в таблицу вида 7.

Таблица 7

<i>Вид требований к элементу</i>	<b>Весовое значение <math>a_{ij}</math> для <math>i</math>-объекта</b>
1	<b>ai1</b>
2	<b>ai2</b>
.	.
n-1	<b>ain-1</b>
n	<b>ain</b>

Следует иметь в виду, что  $\sum a_{ij} = 1$ .

Общая экспертная таблица 8 в соответствии с данными таблицами 5, 7 имеет вид:

№ эксперта	Номер рассматриваемого объекта			
	№1	№2	.	№k
1	$M_1 a_{i1}$	$M_3 a_{i1}$	.	$M_3 a_{i1}$
2	$M_2 a_{i2}$	$M_1 a_{i2}$	.	$M_1 a_{i2}$
.	.	.	.	.
n-1	$M_3 a_{in-1}$	$M_3 a_{in-1}$	.	$M_2 a_{in-1}$
n	$M_1 a_{in}$	$M_1 a_{in}$	.	$M_3 a_{in}$
Суммарный коэффициент	$K_1$	$K_2$	.	$K_k$

В таблице 6 в последней строке определяется суммарный комплексный коэффициент выбора компоновочного решения, рассчитываемый как сумма текущих коэффициентов по каждому параметру для  $m$ -го эксперта.

С учетом мнений всех экспертов комплексный коэффициент  $K_{\text{сумк}}$  для  $k$ -варианта компоновки исследуемого объекта изделия равен

$$K_{\text{сумк}} = \sum_1^N K_k \quad (3)$$

Из полученных значений  $K_{\text{сумк}}$  выбираем максимальное. Объект с этим значением и рекомендуется в качестве компоновки в общее изделие.

Во всех этих разновидностях оценок необходима согласованность мнений экспертов. Данную согласованность мнений (количество экспертов должно быть больше двух) необходимо оценивать величиной коэффициента конкордации  $W$ , который представляет собой отношение суммы квадратов отклонений индивидуальных оценок экспертов  $S$  к максимально возможной сумме квадратов отклонений  $S_{\text{max}}$ :

$$W = S/S_{\text{max}} \quad (4)$$

Сумма квадратов отклонений оценок экспертов по всем параметрам определяется по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (a_{ij} - L)^2,$$

где  $a_{ij}$  — оценка, которая присвоена  $m$ -ым экспертом  $i$ -му параметру конструкции изделия;  $m$  — число экспертов;  $n$  — число оцениваемых параметров конструкции;  $L$  — общая средняя всех оценок,

$$L = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}. \quad (5)$$

$S_{max}$  определяется по формуле

$$S_{max} = \frac{1}{12} m^2 (n^3 - n). \quad (6)$$

Подставив выражение (5) в формулу (4), получим коэффициент конкордации в виде

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}. \quad (7)$$

Значимость вычисленного коэффициента конкордации проверяется путем сопоставления его значения с величиной  $\chi^2$ -критерия (для  $n > 7$ ):

$$\chi^2 = m(n-1)W \neq \chi^2_{\alpha}(f), \quad (8)$$

где  $\chi^2_{\alpha}(f)$  — критическое значение  $\chi^2$ -статистики, определяемое при уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы  $f = n - 1$ .

Если выполняется условие  $\chi^2 > \chi^2_{\alpha}(f)$ , это означает, что мнения экспертов достаточно согласованы и, следовательно, общая оценка компоновки конструкции проектируемого изделия объективна.

Достоверность результатов оценки увеличивается при увеличении количества экспертов. В случае ограниченного круга экспертов целесообразно оценить их компетентность. В соответствии с исследованиями, представленными в работе [7], предлагается показатель степени и весомости компетентности каждого эксперта рассчитывать по следующим параметрам: их информированности, теоретической подготовке, практического опыта и интуиции. Оценку проводить по 10 бальной шкале от 0 до 1,0. Данные заносить в таблицу (таблица 9).

Таблица 9

## Степень влияния компетентности эксперта

Источник аргументации	Степень влияния источника аргументации		
	Высокая	Средняя	Низкая
Проведенные Вами теоретические и практические исследования по данному направлению (эксперт)	0,4	0,3	0,2
Ваше непосредственное участие в отчете (выпускающий отчет)	0,3	0,2	0,1
Ваш практический опыт как специалиста по данному вопросу и (или) участие в разделах отчета	0,2	0,1	0
Ваша интуиция	0,1	0	0

Расчет коэффициентов веса показателей и соответствующих коэффициентов по каждому из параметров сравнения (пункт 1 таблицы 3) выполняются по расставленным экспертам весам и баллам в соответствии с выражением

$$W_{ij} = (\sum_{k=1}^n p_{ijk} * w_k) / (\sum_{k=1}^n w_{ijk}), \quad (8)$$

где  $W_{ij}$  – расчетное значение коэффициентов по весу показателей и каждому из параметров сравнения. Для видов параметров (таблица 4) и параметров сравнения представленных в таблице 7 имеем  $i=6, j=4$ ;

$p_{ijm}$  – значение весов и баллов по весу показателей и каждому из параметров сравнения согласно варианту  $m$ -го эксперта;

$w_m$  – весомость  $m$ -го эксперта.

Коэффициенты веса показателей  $W_{ij}$  должны быть нормированными величинами в соответствии с выражением (для примера таблицы 4)

$$W_{i1}^* = W_{i1} / \sum_{i=1}^6 W_{i1}, \quad (9)$$

где  $i=1, \dots, 6$ .

Коэффициент по показателям каждого из подходов должны быть нормированы. Нормирование коэффициентов по показателям каждого из подходов осуществляется в соответствии с выражением

$$W_{ij}^* = W_{ij} / \sum_{j=2}^4 W_{ij}, \quad (10)$$

где  $i=1, \dots, 6$ ,

$j=1, \dots, 4$ .

Весомость  $m$ -го эксперта  $w_m$  в выражении 10 определяется в соответствии с зависимостью

$$W_m = k_m * p_m, \quad (11)$$

где  $p_m$  – степень уверенности в прогнозе  $m$ -го эксперта, которая определяется нормированным значением соответствующей оценки, поставленной экспертом (умножением ее на 0,01);

$k_m$  – компетентность  $m$ -го эксперта.

Компетентность  $m$ -го эксперта, в выражении 11, рассчитывается по формуле

$$K_m = (k_{m_a} + k_{m_s})/2, \quad (12)$$

где  $k_{m_a}$  – коэффициент аргументированности  $m$ -го эксперта, который определяется путем наложения численных значений таблицы 7 на клетки аналогичной таблицы, заполненной экспертом, и суммирования соответствующих численных значений таблицы 7;

$k_{m_s}$  – коэффициент степени знакомства  $m$ -го эксперта, который определяется нормированным значением оценки, предоставленной  $m$ -му эксперту руководителем или заместителем руководителя организации (умножением ее на 0,1),  $k=1, \dots, M$ .

Оценка согласованности мнений экспертов определяется путем расчета дисперсии, коэффициента вариации, а при низкой согласованности оценок проверяется принадлежность полученных распределений к нормальным распределениям.

Дисперсии веса показателей и каждого из подходов определяются по следующему выражению:

$$G_{n-1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (p_{ijm} - W_{ij})^2}{n-1},$$

Коэффициенты вариации веса показателей и каждого из подходов определяются по следующему выражению:

$$A_{ij} = \frac{\sigma_{n-1}^2}{W_{ij}},$$

Согласованность оценок экспертов по весу показателей и каждому из подходов считается [6, 7]:

высокой при  $A_{ij} < 0,10$ ;

выше средней при  $0,10 < A_{ij} < 0,15$ ;

средней при  $0,15 < A_{ij} < 0,25$ ;

ниже средней при  $0,25 < A_{ij} < 0,35$ ;

низкой при  $A_{ij} > 0,10$ .

### Пример расчета выбора объекта изделия на основе экспертных оценок с учетом коэффициента конкордации

Четыре эксперта анализировали четыре объекта, с целью выбора наиболее оптимального для размещения в заданную компоновку. Результаты экспертного анализа для восьми основных параметров, влияющих на выбор данного объекта, представлены в таблицах 10–13.

Результаты оценки характеризуются бальной системой: 4 — отлично, 2 — хорошо, 0 — отрицательно.

Пример опросных листов 2-х экспертов показан в таблицах №10 и №11:

Таблица 10

1 эксперт				
Вид требований к элементу	Номер рассматриваемого элемента			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Внешняя доступность к объекту	4	2	2	0
Зажимы, задвижки и прочие соединительные элементы (наружные)	2	0	4	4
Защита приборов	4	4	2	2
Безопасность обслуживающего персонала	2	4	2	2
Автономное испытательное оборудование	2	4	0	4
Соединители к испытательному оборудованию	0	2	2	2
Потребность в обслуживающем персонале	2	4	2	2
Необходимость высококвалифицированного контроля и консультаций при обслуживании	4	2	2	4

Таблица 11

<b>2 эксперт</b>				
<b>Вид требований к элементу</b>	<b>Номер рассматриваемого элемента</b>			
	<b>№ 1</b>	<b>№ 2</b>	<b>№ 3</b>	<b>№ 4</b>
Внешняя доступность к объекту	4	4	2	2
Зажимы, задвижки и прочие соединительные элементы (наружные)	2	2	4	2
Защита приборов	2	4	4	2
Безопасность обслуживающего персонала	4	4	2	4
Автономное испытательное оборудование	4	4	2	2
Соединители к испытательному оборудованию	2	2	2	2
Потребность в обслуживающем персонале	2	2	4	2
Необходимость высококвалифицированного контроля и консультаций при обслуживании	4	4	2	4

Весовое значение каждого параметра для всех рассматриваемых четырех элементов представлено в таблице 12.

Таблица 12

<b>Вид требований к элементу</b>	<b>Весовое значение</b>
Внешняя доступность к объекту	0,22
Зажимы, задвижки и прочие соединительные элементы (наружные)	0,18
Защита приборов	0,13
Безопасность обслуживающего персонала	0,1
Автономное испытательное оборудование	0,1
Соединители к испытательному оборудованию	0,15
Потребность в обслуживающем персонале	0,07
Необходимость высококвалифицированного контроля и консультаций при обслуживании	0,05

Оценки комплексного показателя для каждого объекта с учетом коэффициента весомости (таблица 10) представлены в таблицах 13–14.

Таблица 13

<b>1 эксперт</b>				
<i>Вид требований к элементу</i>	<i>Номер рассматриваемого элемента</i>			
	<i>№ 1</i>	<i>№ 2</i>	<i>№ 3</i>	<i>№ 4</i>
Внешняя доступность к объекту	<i>0,88</i>	<i>0,44</i>	<i>0,44</i>	<i>0</i>
Зажимы, задвижки и прочие соединительные элементы (наружные)	<i>0,36</i>	<i>0</i>	<i>0,72</i>	<i>0,72</i>
Защита приборов	<i>0,52</i>	<i>0,52</i>	<i>0,26</i>	<i>0,26</i>
Безопасность обслуживающего персонала	<i>0,2</i>	<i>0,4</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>
Автономное испытательное оборудование	<i>0,2</i>	<i>0,4</i>	<i>0</i>	<i>0,4</i>
Соединители к испытательному оборудованию	<i>0</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>
Потребность в обслуживающем персонале	<i>0,14</i>	<i>0,28</i>	<i>0,14</i>	<i>0,14</i>
Необходимость высококвалифицированного контроля и консультаций при обслуживании	<i>0,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>
Сумма баллов	2,5	2,44	2,16	2,22
Ряд предпочтительности	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>3</i>

Таблица 14

<b>2 эксперт</b>				
<i>Вид требований к элементу</i>	<i>Номер рассматриваемого элемента</i>			
	<i>№ 1</i>	<i>№ 2</i>	<i>№ 3</i>	<i>№ 4</i>
Внешняя доступность к объекту	<i>0,88</i>	<i>0,88</i>	<i>0,44</i>	<i>0,44</i>
Зажимы, задвижки и прочие соединительные элементы (наружные)	<i>0,36</i>	<i>0,36</i>	<i>0,72</i>	<i>0,36</i>
Защита приборов	<i>0,26</i>	<i>0,52</i>	<i>0,52</i>	<i>0,26</i>
Безопасность обслуживающего персонала	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>0,2</i>	<i>0,4</i>
Автономное испытательное оборудование	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>

Соединители к испытательному оборудованию	0,3	0,3	0,3	0,3
Потребность в обслуживающем персонале	0,14	0,14	0,28	0,14
Необходимость высококвалифицированного контроля и консультаций при обслуживании	0,2	0,2	0,1	0,2
Сумма баллов	2,94	3,2	2,76	2,3
Ряд предпочтительности	2	1	3	4

Комплексный коэффициент, определяющий оценку рассматриваемого объекта и рассчитываемый согласно зависимости (3), представлен в таблице 15.

Таблица 15

Общее среднее суммарного коэффициента	2,725	2,91	2,525	2,49
Ряд предпочтительности	2	1	3	4

Из данной таблицы (строка 2) видно, что для заданной компоновки рекомендуется взять второй объект.

Для полной объективности необходимо с помощью коэффициента конкордации  $W$  определить согласованность мнений экспертов (уравнение 7).

В таблице 20 представлен расчет этого коэффициента для рассматриваемых объектов.

Таблица 20

	<i>Номер рассматриваемого элемента</i>			
	<i>№ 1</i>	<i>№ 2</i>	<i>№ 3</i>	<i>№ 4</i>
Конкордации $W$	0,056548	0,0593378	0,059524	0,068452
Расчетное значение $\chi^2$	1,583333	1,66145833	1,666667	1,916667
$\chi^2$ -- распределение. $M = 7, f = 0,95$		2,17		

Расчетное значение  $\chi^2$ , просчитанное согласно зависимости (8), меньше критического значения  $\chi^2$ -статистики при уровне значимости 0,95 и степеней свободы 7 [8]. Это означает, что мнения экспертов достаточно согласованы и, следовательно, общая оценка прогноза объективна.

## Выводы

Использование данной методики позволяет дать точный ответ о согласованности мнений экспертов в рамках конкретного технического задания, что в свою очередь позволяет принять решение опираясь на опыт любого кол-ва экспертов

## Библиографический список

1. Ю.Д. Амирова. Технологичность конструкции изделия М., «Машиностроение», 1980.
2. Аристов А.И., Волков П.Н., Дубицкий Л.Г. и др. Ремонтпригодность машин. М., «Машиностроение», 1975.
3. Бодрышев С.В., Буряков А.А., Куприков М.Ю. Коэффициенты функциональных и эксплуатационных зависимостей при компоновке приборных отсеков ЛА. Журнал «Полет», №10, 2006.
4. Рудакова Т.А. Выбор моделей с учетом критериев нижнего уровня иерархии, имеющих числовую форму представления. Материалы XI конференции «Вузовская наука Северо-Кавказского региона» Том первый. Естественные и точные науки. Технические и прикладные науки. Ставрополь. СевКавГТУ. 2007, 278 с.
5. Юрконенко А.Н. Методический подход к формированию рационального геометрического и конструктивно-технологического облика планирующего авиационного контейнера. Журнал «Прикладная геометрия, инженерная графика, компьютерный дизайн», №11, 2008
6. Григорьев А.В., Козин П.А., Остапчук А.В. Методика определения значения весовых коэффициентов с учетом компетентности привлекаемых экспертов. //Имущественные отношения в Российской Федерации, №8, 2004 г., с. 73-83
7. Вознесенский В.А. Статистические решения в технологических задачах. — Кишинев, Карта Молдовеняска, 1969. — 232 с.
8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. — 13-е изд., исправленное. — М.: Наука, Гл.ред. физ-мат. лит., 1986. — 544 с. (74 стр.)

### **Сведения об авторах**

Бодрышев Антон Валерьевич, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета),  
тел.: (926) 223-8551; e-mail: mazovski@gmail.com;

Куприков Михаил Юрьевич, профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н.  
МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993; тел.: (499) 158-41-24; e-mail: kuprikov@mai.ru