

СТАУ: 6
ПЗ2

М.Н. Пиганов, Г.А. Подлипов

**ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В
УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Самара 2004

017876
100

Министерство образования и науки Российской
Федерации

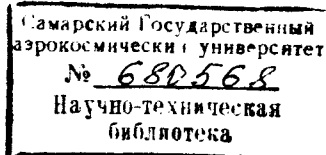
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
“Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П. Королёва”

М.Н. Пиганов, Г.А. Подлипов

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие

Рекомендовано учебно-методическим объединением по
образованию в области радиотехники, электроники,
биомедицинской техники и автоматизации для студентов
ВУЗов, обучающихся по направлениям подготовки 654300,
551100 и специальностям 200800 и 220500



Самара 2004

**Пиганов М.Н., Подлипнов Г.А. Экспертные оценки в управлении качеством радиоэлектронных средств: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2004. – 122с.
ISBN 5-7883-0311-7**

В пособии приведена методология проведения экспертного эксперимента при оценке технических мер, направленных на обеспечение требуемого качества радиоэлектронных средств (РЭС). Рассмотрены наиболее рациональные математико-статистические методы (непосредственной оценки, последовательных сравнений, парных сравнений), методики проверки согласованности экспертных оценок, обработки экспериментальных данных при выборе наиболее важных контрольных операций и видов испытаний. Описаны вопросы ранжирования факторов, групп факторов и анализа согласованности экспериментальных данных. Приведена программа автоматизированного сбора и обработки информации.

Предназначено для студентов радиотехнических специальностей. Может быть полезно инженерно-техническим работникам данного направления.

Табл. 41. Ил. 7. Библиогр. 17 назв.

Рецензенты: кафедра радиотехнических систем Самарского государственного технического университета (зав. кафедрой – докт. техн. наук, профессор Нестеров В.Н.), докт. техн. наук, профессор Кузнецов В.И.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. ПРЕДПОСЫЛКИ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДОВ.....	7
1.1. Рациональные решения и математико-статистические методы.	7
1.2. Неопределённость и вероятность.....	10
1.3. Эксперты и уровень неопределённости.....	13
2. ПРИНЦИПЫ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ.....	16
2.1. Некоторые особенности групповых оценок.....	16
2.2. Подготовка экспертизы	20
2.3. Отбор экспертов.....	24
2.4. Метод Дельфы.....	27
3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ОТ ЭКСПЕРТОВ.....	35
3.1. Формализация информации и шкалы	35
3.2. Ранжирование и оценка.....	39
3.3. Метод непосредственной оценки	41
3.4. Метод последовательных сравнений.....	44
3.5. Метод парных сравнений.....	47
4. ПРОВЕРКА СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК	49
5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ПЕРВЫЙ ТУР ОПРОСА	59
5.1. Постановка проблемы	59
5.2. Обработка результатов первого тура опроса	65
5.2.1. Обработка ответов экспертов на первую группу вопросов (1- 3).....	65
5.2.2. Обработка ответов экспертов на вторую группу вопросов (4- 7).....	68
5.2.3. Обработка ответов экспертов на третью группу вопросов (8- 11).....	70
5.3. Анализ согласованности экспериментальных данных.....	79
6. ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ.....	80
6.1. Постановка задачи	80

6.2. Состав программного пакета.....	80
6.3. Программа обработки анкетных данных.....	82
7. ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА	87
7.1. Методика второго тура опроса.....	87
7.2. Обработка результатов второго тура опроса	87
7.2.1. Обработка ответов экспертов на первую группу вопросов (1-3).....	87
7.2.2. Обработка ответов экспертов на вторую группу вопросов ...	90
7.2.3. Обработка ответов экспертов на третью группу вопросов....	92
7.3. Анализ согласованности экспериментальных данных.....	101
Заключение.....	102
Список использованных источников.....	105
Приложения.....	107

Введение

Конкурентоспособность радиоэлектронной аппаратуры определяется комплексом системо - схемотехнических, конструкторских, технологических и организационно - экономических решений, направленных на повышение её функциональных возможностей, обеспечение заданных показателей качества, снижение затрат и сроков проектирования и производства.

В рыночных условиях, когда конкурирующими фирмами предлагается набор аналогичных по назначению изделий, потребители отдадут предпочтение таким изделиям, которые в наибольшей степени отвечают их интересам. Однако интересы потребителей и производителей, как правило, оказываются противоречивыми: производителю необходимо снизить затраты на проектирование и производство изделий, что связано с применением дешевой элементной базы и использованием экономичных сборочно-монтажных работ, а потребитель заинтересован в низкой продажной цене изделий, но с гарантией надёжности в заданный срок эксплуатации.

Удовлетворить эти взаимно связанные интересы потребителя и производителя возможно лишь с применением высоких (критических) технологий как для элементной базы, так и для сборочно-монтажных работ.

При производстве микросборок предусмотрен большой объем контрольных операций, которые обуславливают должный контроль качества продукции и позволяют своевременно выявить брак, отклонения в технологическом процессе и другие негативные факторы, влияющие на качество изделия. Однако проведение полного комплекса испытаний связано с большими затратами времени и средств и не всегда оправдывает себя в полной мере. Следовательно, встает вопрос о выборе наиболее важных контрольных операций.

Особенно актуальна эта проблема при производстве микросборок спецназначения (бортовая аппаратура летательных аппаратов), когда от правильного выбора контрольных операций зависит работоспособность дорогих изделий и комплексов, а иногда и жизнь людей.

Сильно усложняет выбор контрольных операций для каждого конкретного случая то, что эти операции слабо формализуются и сложно оценить прямо «в лоб» степень важности какой-либо из них с достаточной

степенью точности. В этом случае на помощь приходят методы экспертных оценок.

Кроме того, с помощью методов экспертных оценок можно оценить, какие факторы оказывают наибольшее влияние на надежность и качество микросборок, и соответственно, на какие операции ТП производства микросборок следует обратить особое внимание для достижения заданных показателей качества продукции.

Сама по себе процедура обработки статистической информации, полученной от экспертов, очень сложна, монотонна и отличается большим числом однотипных вычислений, что не может не натолкнуть на мысль о целесообразности разработки автоматизированной системы обработки статистической информации, получаемой от экспертов. На долю организатора экспертизы в данном случае ложится только лишь задача анализа результатов отдельных этапов экспертизы и выдача на основе этого исходных данных для следующих этапов.

Авторы выражают признательность компании «Элком» (генеральный директор – Вишняков А.М.) за финансовую поддержку в издании пособия, а также Худякову А.Н., Зайцеву В.Ю., Козлову А.В., Николаевой Т.А. за помощь в подборе материала и оформлении рукописи.

1. ПРЕДПОСЫЛКИ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДОВ

1.1. Рациональные решения и математико-статистические методы

Современное общество развивается под все усиливающимся воздействием научно-технической революции, вызывающей коренные преобразования в производстве средств, предметов и продуктов труда, глубокие изменения в структуре и экономике нашей страны.

Особое значение в управлении в настоящее время приобретают методы оптимизации, основанные на применении формальных, чаще всего математических моделей, обеспечивающих экономию времени и средств при решении многих практических задач. Построение моделей помогает привести сложные и подчас неопределенные факторы, связанные с проблемой принятия решения, в логически стройную схему, определить, какие данные необходимы для оценки и выбора альтернатив.

В процессе управления возникает естественное стремление к отысканию решения, которое объективно является наилучшим (оптимальным) из всех возможных. В качестве инструмента оптимизации сейчас широко используется математическое программирование. Успехи в применении математического программирования к решению различного рода хозяйственных, научных, технических и военных задач породили методологические воззрения, согласно которым кардинальное решение проблем управления возможно только тогда, когда все его аспекты отражаются в системе взаимосвязанных математических моделей.

Однако формализация технико-экономических проблем осложняется рядом особенностей современного этапа научно-технического прогресса. Реальные процессы настолько сложны, что трудно рассчитывать на появление моделей, которые полностью отражали бы природу и количественные взаимосвязи в них. Реальная действительность всегда сложнее самых тонких математических моделей, а ее развитие часто опережает формальное познание. Реальные задачи управления требуют в качестве неотъемлемого элемента решения участия людей, т. е. представ-

ляют собой системы «человек — машина» (СЧМ). И наконец, сам процесс управления всегда предполагает ориентацию не только на числовые данные, но и на обычный здравый смысл.

Ясно, что использование математического программирования и вычислительной техники позволяет принимать решения, основанные на более полной и надежной информации. Однако несомненно и то, что при любых условиях выбора рационального решения требуется нечто лучшее, чем хорошая математическая модель.

Принимая решения, мы обычно предполагаем, что информация, используемая для их обоснования, достоверна надежна. Однако для многих научно-технических задач, являющихся по своему характеру качественно новыми и неповторяющимися, это предположение либо заведомо не реализуется, либо в момент принятия решения его не удается доказать.

Наличие информации и правильность ее использования в значительной степени предопределяют рациональность (оптимальность) выбранного решения. Кроме данных, состоящих из собранных (числовых) статистических величин, информация включает в себя другие, не поддающиеся непосредственному измерению величины, например, предположения о возможных решениях и их результатах. Таким образом, данные — это нечто более широкое и менее сгруппированное и целенаправленное, чем информация, которая служит основой для принятия решения. Обычно такая информация складывается из различных по своему качеству частей. В зависимости от природы решаемой проблемы и конкретных обстоятельств эти части имеют неодинаковую полноту. Практика показывает, что основные трудности, возникающие при поиске и выборе решений, обусловлены, прежде всего, недостаточным высоким качеством и неполнотой имеющейся информации.

Основные «информационные» трудности, возникающие при выработке сложных решений, можно подразделить на группы.

Во-первых, исходная статистическая информация зачастую бывает недостаточно достоверной. Однако даже при наличии достоверных данных о прошлом они не всегда могут служить надежной базой для принятия решений, направленных в будущее, поскольку существующие условия и обстоятельства могут в дальнейшем изменяться.

Во-вторых, некоторая часть информации имеет качественный характер и не поддается количественной оценке.

В-третьих, в практике подготовки решений часто возникают ситуации, когда в принципе необходимую информацию получить можно, однако в момент принятия решения она отсутствует, поскольку это связано с большими затратами времени или средств.

В-четвертых, существует большая группа факторов, которые могут повлиять на реализацию решения в будущем, но их нельзя точно предсказать.

В-пятых, одна из наиболее существенных трудностей при выборе решений состоит в том, что любая научная или техническая идея содержит в себе потенциальную возможность различных схем ее реализации, а любое внешнее действие может приводить к многочисленным исходам. Проблема выбора наилучшего варианта решения может возникать и потому, что обычно существуют ограничения в ресурсах, а следовательно, принятие одного варианта всегда связано с отказом от других (недостаточно эффективных) решений.

И наконец, при выборе наилучшего решения мы нередко сталкиваемся с многозначностью обобщенного критерия, на основе которого можно произвести сравнение возможных исходов. Многозначность, многомерность и качественное различие показателей являются серьезным препятствием для получения обобщенной оценки относительной эффективности, важности, ценности или полезности каждого из возможных решений.

В связи с этим одна из главных особенностей решения научно-технических и хозяйственных проблем заключается в том, что применение расчетов здесь всегда переплетается с использованием суждений руководителей, учёных, специалистов. Эти суждения позволяют хотя бы частично компенсировать недостаток информации, полнее использовать индивидуальный и коллективный опыт, предположения специалистов о будущих состояниях объектов. Закономерность развития науки и техники состоит в том, что новые знания, научно-техническая информация накапливаются в течение длительного периода времени. Нередко это накопление идет в скрытой форме, «подспудно», в сознании ученых и разработчиков. Они, как никто другой, способны оценить перспективы той области, в которой работают, и предвидеть характеристики тех систем, в создании которых непосредственно участвуют.

Ясно, что чем более упорядочена, формализована процедура использования суждений экспертов, тем более достоверна полученная информация.

Таким образом, подход к выработке решений зависит как от объема имеющейся информации, так и от того, насколько вся доступная информация формализована.

Невозможность полной формализации не исключает, однако, возможности и необходимости применения математико-статистического аппарата и логического анализа процессов принятия рациональных решений.

Особое значение при решении современных проблем приобретают методы теории вероятностей и математической статистики, поскольку они

оказываются тесно связанными с познанием внутренней сущности технологии, экономических явлений и процессов управления.

1.2. Неопределённость и вероятность

Основой любого процесса управления является информация, которая имеется у лица, принимающего решение. Располагая информацией о состоянии исследуемого (или аналогичных) явления в прошлом и обосновывая свои предположения о возможных состояниях его в будущем, принимающий решение выбирает наилучший способ достижения поставленной цели. Так возникает проблема выбора одного из нескольких исходов при недостаточности информации или, как принято характеризовать подобную ситуацию, в условиях неопределенности. Эта неопределенность чаще всего является следствием вероятностного характера исследуемых явлений, невозможности точного предсказания окончательных результатов многих процессов и т. д.

Снизить уровень неопределенности и повысить достоверность решений можно с помощью подходов, позволяющих учитывать неопределенность. Практика показывает, что существующее подчас стремление «отбросить» случайные факторы и принимать решения на основе «точных» расчетов будущего ведет к значительному снижению эффективности управления.

Влияние неопределенности может быть весьма значительным в одних ситуациях и совершенно несущественным - в других. Так, если имеется множество возможных действий (решений) и если относительно каждого из них известно, что оно приводит к некоторому конкретному исходу, то принято говорить, что выбор осуществляется в условиях определенности. В таких «детерминированных» ситуациях предполагается, что все элементы, влияющие на будущие результаты, имеют вполне определенное значение (которое известно или может быть установлено), и задача заключается в перечислении возможных решений и выборе одного (или нескольких) из тех, которые дают максимум или минимум некоторого показателя.

Трудности рационального выбора в условиях определенности могут заключаться в невозможности перечисления всех решений или подбора надлежащего показателя эффективности. Могут также иметь место случаи, когда отсутствует возможность получения всей необходимой информации об элементах. Несмотря на то что существуют вполне определенные характеристики этих элементов, в момент принятия решения они по тем или иным причинам остаются неизвестными. В этих случаях приходится прибегать к вероятностным оценкам, которые хотя и

не связаны с природой исследуемого явления, но вытекают из возможностей сбора и особенностей имеющейся информации.

В отличие от этого в ситуации неопределенности всегда имеются факторы или явления, вероятностные по своей природе или не контролируемые со стороны принимающего решение. В современной теории статистических решений принято различать ситуации риска и неопределенности. Ситуация риска имеет место, когда каждое действие приводит к одному из множества возможных частных исходов, вероятности которых известны или, по крайней мере, могут быть определены. Ситуация неопределенности имеет место, когда каждое действие влечет за собой множество частных исходов, но вероятности этих исходов неизвестны или даже не имеют смысла.

С учетом этого выбор решений классифицируется по признаку «определенность – риск – неопределенность» следующим образом:

а) выбор решения при определённости, если относительно каждого действия известно, что оно неизменно приводит к некоторому конкретному исходу;

б) выбор решения при риске, если каждое действие приводит к одному из множества возможных частных исходов, причем каждый исход имеет известную вероятность появления. Предполагается, что принимающему решению эти вероятности известны;

в) выбор решения при неопределенности, когда то или иное действие (или все действия) имеет следствием множество возможных исходов, но вероятности этих исходов принимающему решению неизвестны.

Общее для выбора при риске и неопределенности состоит в наличии неконтролируемых со стороны принимающего решение факторов и событий. Однако в ситуации риска предполагается, что вероятности возможных исходов известны или могут быть рассчитаны на основании статистических данных, тогда как в ситуации неопределенности эти вероятности нам неизвестны или мы не можем их рассчитать. Понятие «вероятность» обычно связывается с классическим или же с так называемым частотным подходами.

Однако при решении многих научных и технических задач мы не располагаем достаточным числом наблюдений за аналогичными явлениями в прошлом, существует неопределенность в отношении однородности и независимости возможных исходов и отсутствует обоснованная преемственность между прошлым и будущим.

Использовать классический и частотный подходы к оценке вероятности исходов решений или к выбору наиболее предпочтительного курса действий в этих ситуациях бывает трудно, а иногда и просто невозможно. Вероятностные явления здесь не имеют массового характера

(в том смысле, что они случались в прошлом уже много раз), а следовательно, условия закона больших чисел не выполняются.

Вместе с тем очевидно, что проблема принятия рациональных решений в таких случаях не только не снимается, но, наоборот, становится более острой и серьезной. Ясно также и то, что решения, принимаемые при данной информации, являются по своему существу вероятностными.

Для повышения обоснованности подобных решений нужно использовать не только имеющиеся статистические данные, но и коллективный и индивидуальный опыт.

Использование субъективных оценок вызвано необходимостью решения задач в ситуациях, когда отсутствует ряд наблюдений за проявлением аналогичных событий в прошлом или другая объективная информация.

Оценки вероятности свершения неповторяющихся событий субъективны в том смысле, что два человека могут приписать различные числа одному и тому же возможному исходу. Но поскольку эти оценки базируются на интуиции, опыте и анализе объективной действительности, то предполагается, что при прочих равных условиях отличие между ними не столь существенно, что нельзя их использовать для подготовки решений.

Существует подтверждаемое практикой предположение, сближающее субъективные оценки с объективными, в частности с частотными.

Предположение состоит в том, что принимающий решение будет корректировать первоначальные оценки, приближая их к частотным, при получении дополнительной информации об исследуемой проблеме. Это логично, поскольку при увеличении количества объективной информации в процессе познания нового всегда повышается правдоподобие вероятностных предположений и гипотез, происходит их трансформация в научное знание.

Психологи-экспериментаторы показали, что вероятностные оценки имеют определенный физический смысл. Во всяком случае, ясно, что человек как в научной, так и в повседневной деятельности, принимая решение при неполной информации, постоянно дает оценку вероятности различных событий. И хотя механизм этого явления еще не понят, устанавливая вероятностную оценку вполне объективных явлений, разумно поступать с ней, как и с вероятностью, найденной с помощью классического и частотного подходов, полагая, что она обладает теми же свойствами и подчиняется тем же аксиомам.

Наше незнание истинных исходов событий, которые произойдут в будущем, и даже незнание объективных вероятностей их осуществления не имеет в этом случае особого значения, поскольку основной целью здесь является не оценка субъективных мнений отдельных людей, а ра-

циональные правила, позволяющие использовать эти мнения для выбора наиболее предпочтительного решения.

1.3. Эксперты и уровень неопределённости

Выше было показано, что одна из основных трудностей управления состоит в необходимости принимать решения в условиях неопределенности. И действительно, на любом уровне управления имеются задачи, решение которых не может быть получено на базе точных расчетов ввиду многообразия факторов или вследствие того, что некоторые из этих факторов не поддаются измерению. Существует в то же время все возрастающая потребность в принятии решений, направленных в более отдаленное будущее, и необходимость предвидения последствий этих решений.

Необходимость разрешения этих противоречий привела к переоценке значения формального опыта и к пониманию того, что даже при отсутствии строгих теоретических обоснований уровень неопределенности можно снизить за счет умелого использования суждений специалистов и способности человека принимать рациональные решения в условиях невозможности их полной формализации.

Опыт, понимание существа проблемы, чувство перспективы и интуиция помогают специалисту в ситуации неопределенности оценить значимость альтернативных подходов, выбрать наиболее предпочтительную цель, лучший критерий, а следовательно, и наиболее рациональное решение.

Применение математико-статистических методов значительно расширяет возможности использования информации, полученной от специалистов. Практика последних лет показала, что даже простые статистические методы в сочетании с этой информацией при выборе перспективных решений часто приводят к более успешным результатам, чем «точные» расчеты с ориентацией на средние показатели и экстраполяцию существующих тенденций.

Использование информации, полученной от специалистов, особенно плодотворно, если для ее сбора, обобщения и анализа применяются специальные процедуры, логические приемы и математические методы, получившие название методов экспертных оценок.

Экспертные оценки не являются открытием нашего времени. Практика использования специалистов в качестве экспертов восходит своими истоками к глубокой древности. Слово «эксперт» латинского происхождения и означает «опытный», «сведущий». Однако, несмотря на древность профессии эксперта, научные методы анализа суждений специалистов получили свое развитие лишь во второй половине XX в.

Факторы, на которых основана способность индивидуальной личности давать полезную информацию в условиях неопределенности», можно разделить на внутренние (индивидуальные) и внешние (социальные).

Индивидуальные качества эксперта зависят от его знаний, опыта, интеллекта, способности предвидеть будущее и ряда других факторов, измерение которых сложно или вообще невозможно.

Внутренние факторы могут привести к смещениям информации как к ненамеренным, т. е. связанным с излишне оптимистическим или пессимистическим отношением к проблеме, так и к намеренным, обусловленным индивидуальной установкой специалиста.

В свою очередь, внешние факторы включают те влияния на информацию, полученную от эксперта, которые в определенной степени зависят не от личности специалиста, а прежде всего от ее взаимодействия с окружающей средой, т. е. с коллективом, обществом.

Эти влияния могут быть вызваны, например, целями организации, в которой работает специалист, его положением в структуре этой организации, степенью ответственности за результаты экспертизы и т. п.

Необходимо отметить, что несмотря на наличие внутренних и внешних факторов, влияющих на точность и надежность информации, получаемой от экспертов, применение формализованных процедур сбора информации, методов теории вероятностей и математической статистики для ее обработки позволяет в определенной степени компенсировать смещение индивидуальных оценок, уточнить структуру решаемой проблемы и снизить уровень неопределенности, существовавшей до начала экспертизы.

Таким образом, предполагается, что между информацией, получаемой от экспертов, и уровнем неопределенности существует взаимосвязь.

Все влияющие факторы можно разбить на несколько групп:

а) уровень доступной информации. За исключением детерминированных (совершенно определенных) событий, уровень неопределенности всегда будет больше нуля. Когда вся доступная информация о вероятностном событии использована и нет других ограничений в ее получении, остающаяся неопределенность может быть описана с помощью распределения вероятностей возможных исходов. Никакие дальнейшие опросы специалистов или другой анализ имеющейся информации не снизят неопределенность ниже этого уровня. Снижение уровня неопределенности может произойти лишь при получении новой информации;

б) несовершенство информации. Несовершенство информации возникает вследствие того, что разные эксперты всегда будут иметь различные знания о событии и уровне его неопределенности;

в) двусмысленность. Некоторые вопросы могут быть поняты экспертом неправильно из-за их двусмысленности, и тогда он будет отвечать на другой вопрос, а не на тот, который был ему задан;

г) погрешности модели. Эти погрешности могут возникать из-за недостаточной компетентности приглашенных в эксперты людей либо из-за того, что ответы, полученные от компетентных экспертов, используются неправильно;

д) прочие погрешности. Мы отмечали, что на ответы экспертов могут оказывать влияние как внутренние, так и внешние факторы, вызывающие умышленные или несознательные отклонения или ошибки. Хотя эти погрешности обычно невелики, возможность их возникновения необходимо учитывать.

2. ПРИНЦИПЫ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

2.1. Некоторые особенности групповых оценок

Опыт, интуиция, знания помогают специалисту решать многие проблемы, возникающие в ситуациях риска и неопределенности, предвидеть возможные направления и последствия развития в будущем, производить оценку значимости факторов. В то же время ясно, что при решении сложных проблем развития науки и техники один специалист не в состоянии учесть все факторы и взаимосвязи между ними или оценить вероятности большого числа альтернатив.

Выработка сложных решений в ситуации неопределенности или составление полноценного научно-технического прогноза требует участия группы эрудированных специалистов, хорошо осведомленных во многих областях знаний. Основное преимущество групповой оценки как раз и заключается в возможности разностороннего анализа количественных и качественных аспектов таких проблем. Кроме того, существуют проблемы, где без участия группы специалистов просто невозможно обойтись. Таковы прогнозы в области политики, науки и техники, для обоснования которых нет адекватной информации, а также задачи выбора предпочтительной альтернативы с учетом комплекса качественно различных факторов.

При использовании мнений группы экспертов предполагается, что организованное взаимодействие между специалистами позволит компенсировать смещения оценок отдельных членов группы и что сумма информации, имеющейся в распоряжении группы экспертов, будет больше, чем информация любого члена группы. Кроме того, очевидно, что сумма факторов, которые имеют отношение к данной проблеме и могут быть рассмотрены группой специалистов, как правило, больше или по крайней мере так же велика, как сумма факторов, которые может учесть отдельный эксперт. Анализ прогнозов, выполненных отдельными специалистами и оказавшихся неверными, доказал, что одна из наиболее распространенных ошибок таких прогнозов заключалась в том, что принимались во внимание факторы, которые впоследствии оказались малозначащими, и, наоборот, упускались наиболее существенные факторы.

Будем понимать под групповой оценкой результат объединения индивидуальных мнений экспертов о порядке предпочтительности рассматриваемых объектов в единую оценку «коллективного» предпочтения. При этом предполагается, что применение логических процедур и математико-статистического аппарата, используемых для объединения мнений экспертов, выраженных количественно, обеспечивает получение согласованного предпочтения группы.

В общем случае предполагается, что мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного индивидуума, т. е. что две группы одинаково компетентных экспертов с большей вероятностью дадут аналогичные ответы на ряд вопросов, чем два индивидуума. Предполагается также, что коллективная ответственность позволяет специалистам принимать более рискованные решения и что интервал оценок, полученных от группы экспертов, включает в себя «истинную» оценку.

Однако групповым оценкам присущи известные недостатки. Существует много трудностей, препятствующих получению надежной и согласованной групповой оценки.

Существенные затруднения связаны с решением проблемы соизмерения оценок экспертов, входящих в группу. Вопрос о возможности соизмерения и объединения индивидуальных оценок правомерен даже в тех случаях, когда все признаки, характеризующие рассматриваемые объекты, измерены с помощью одной и той же шкалы. Традиционные способы получения групповой оценки с помощью средних величин оказываются применимы только тогда, когда коллектив экспертов однороден в смысле характера ответов. В случае неоднородности коллектива средние оценки теряют содержательный смысл и могут оказаться в определенном смысле «хуже», чем индивидуальные оценки, на основе которых они получены. Значительные трудности возникают и из-за различной «чувствительности» экспертов к предпочтениям.

Обычно оценки приписываются объектам в соответствии с их местом в упорядочении. При этом одинаково предпочтительным объектам соответствуют одинаковые баллы. Такая процедура также связана с некоторыми затруднениями, поскольку она даёт преимущество индивидууму, более тонко различающему оттенки и предпочтения. Если, например, имеется n объектов, один эксперт может их расположить в цепочку по строгому предпочтению, второй — отобрать несколько наилучших объектов, а остальные - объявить одинаково плохими. При упорядочении по среднему баллу выбор второго, очевидно, почти не скажется на результате. Вряд ли это можно считать оправданным. В то же время основное преимущество групповой оценки заключается в уменьшении различий во мнениях, в возможности получения в какой-то степени обобщенного и более представительного мнения. Мыслительная

деятельность человека обладает определенными характеристиками, к числу которых относится так называемый стиль. Каждый человек обладает определенным стилем и поэтому решает задачи одного типа лучше, а задачи другого — хуже. Поэтому преимущество групповой работы экспертов проявляется, в частности, и в том, что сочетание индивидуумов, обладающих разными стилями, позволяет повысить надежность решения задач.

Очевидно, например, что мнения даже специалистов одной узкой области могут расходиться, а следовательно, не исключено, что на один и тот же вопрос можно получить от специалистов одного профиля различный ответ. Более того, и однозначность ответов не является гарантией их обоснованности: во всяком случае, нет способа проверить это в момент проведения экспертизы.

И все же практика показывает, что экспертные методы дают более надежные результаты, чем традиционные методы групповых решений.

Общеизвестно, что группа специалистов, работающих в комиссии, может быть, по меньшей мере, настолько же дезинформирована, насколько дезинформирован любой член этой группы. Группа может оказывать серьезное давление на своих членов, например, вынуждая одного из специалистов соглашаться с большинством, даже если он понимает, что точка зрения большинства ошибочна. Это особенно касается групповых прогнозов, поскольку они основаны большей частью не на реальных данных, а на обобщенном мнении специалистов данной группы. Возможно, что один из участников группы откажется от представления собственных суждений, если остальные члены группы будут придерживаться противоположной точки зрения.

Эксперименты с небольшими группами показали, что часто берет верх не обоснованность, а количество замечаний и доводов «за» и «против» выдвинутого предложения. Следовательно, меньшинство может подавить остальных участников группы путем решительного нажима, даже если представленные ими доводы при объективном рассмотрении будут обладать незначительным преимуществом.

Возможны случаи, когда какой-либо наиболее влиятельный специалист будет иметь чрезмерное воздействие на решение группы; это относится в особенности к таким группам, в которых он назначен или выбран руководителем. Он может достичь этого путем активного участия в работе группы, решительно продвигая свои идеи. Он может добиваться своей цели, преодолевая сопротивление с помощью настойчивой и постоянной аргументации. Нередко считается, что проблема достижения соглашения между членами группы имеет более важное значение, чем разработка тщательно продуманного и полезного решения.

Иногда члены группы проявляют явную заинтересованность в отношении определенных точек зрения, особенно если они решительно

продемонстрировали ее с самого начала. Их целью становится склонить остальных участников группы к своей точке зрения, а не достичь того, что могло бы быть лучшим решением. Они глухи к фактам, к логике остальных членов группы и концентрируют все свои усилия только на стремлении добиться победы своей точки зрения. Бывает, что группа в целом разделяет общее предубеждение. Оно обычно проистекает из общности, к которой принадлежат члены группы, особенно в отношении специфических особенностей той области науки и техники, в которой, как предполагается, члены группы являются специалистами.

В этой связи интересны сформулированные К. Эрроу пять основных условий корректного общественного (группового) выбора.

Условие 1. Универсальность, понимаемая в смысле наличия достаточного числа возможностей выбора (≥ 3), экспертов (≥ 2) и возможностей определения для всех индивидуальных профилей предпочтения.

Условие 2. Наличие положительной связи общественных и индивидуальных предпочтений, при которой отбрасывание (или добавление) одной из альтернатив в индивидуальных предпочтениях не должно изменить направленности индивидуального предпочтения по отношению к групповому.

Условие 3. Независимость несвязанных альтернатив, при которой, если предпочтения каждого эксперта одинаковы в нескольких профилях, то и соответствующие по альтернативам порядки предпочтений группы должны быть одинаковы для этих профилей.

Условие 4. Наличие суверенности экспертов, понимаемой как отсутствие «навязанного» сообществом порядка предпочтений.

Условие 5. Отсутствие «диктаторства», понимаемого в том смысле, что не должно быть одного эксперта, предпочтения которого определяют предпочтения сообщества, а остальные члены влияют на выбор альтернатив только в том случае, когда эти альтернативы безразличны названному индивидууму.

Несмотря на перечисленные трудности, экспериментально установлено, что при соблюдении определенных требований групповая экспертная оценка более надежна, чем индивидуальные.

Наиболее важными из таких требований являются:

а) приемлемое «гладкое» распределение оценок, полученных от экспертов, указывающее на независимость их мнений. В случае многомодального распределения должна быть установлена причина, по которой различные эксперты по-разному интерпретируют одну и ту же проблему;

б) групповая надежность, означающая, что две групповые оценки по определенной проблеме, данные двумя одинаковыми подгруппами,

выбранными случайным образом, будут близкими. Корреляция по ряду таких оценок должна быть высокой.

2.2. Подготовка экспертизы

Помимо погрешностей, возникающих вследствие недостатка информации, большое влияние на результаты экспертизы оказывают смещения, вносимые самой процедурой сбора и анализа мнений экспертов, т. е. погрешности модели.

Нужно сразу отметить, что специфика и разнообразие решаемых при участии экспертов проблем существенно ограничивают возможности создания единых «универсальных» правил и моделей экспертизы. Однако, поскольку в будущем экспертиза будет находить все более широкое применение при подготовке решений, необходимо стремиться к тому, чтобы сделать эту процедуру более формализованной.

Можно ориентировочно наметить следующие основные этапы проведения экспертизы, последовательность и содержание которых будут изменяться в зависимости от реальных условий и ограничений:

- 1) формулирование цели экспертизы и разработка процедуры опроса;
- 2) формирование группы специалистов-аналитиков (организаторов экспертизы);
- 3) отбор и формирование группы экспертов;
- 4) проведение опроса;
- 5) анализ и обработка информации, полученной от экспертов;
- 6) синтез объективной (статистической) информации и информации, полученной в результате экспертизы, с целью приведения их в форму, удобную для принятия решения.

К подготовке экспертизы относятся первые три этапа.

Большое значение имеет четкое определение цели (целей) экспертизы. Практика показывает, что наличие четко сформулированных целей и ясно понятых потребностей является обязательным условием обеспечения надежного результата экспертизы.

Основой для выбора целей экспертизы является описание предыстории и текущего состояния проблемы. Кроме того, при формулировании целей важно иметь представление о специфических особенностях и интересах возможных групп специалистов, которые будут участвовать в экспертизе. Выбор целей и характер процедуры экспертизы в значительной степени определяются существом проблемы, предполагаемыми конечными результатами и возможными способами их представления. Уровень принятия решения (общегосударственный, отраслевой, предприятия) определяет широту диапазона, количество альтернатив и степень формализации

процедуры. Выбор целей и процедуры опроса зависит также от надежности и полноты имеющихся данных и от вида требуемой информации. Поэтому прежде всего необходимо четко установить признак, по которому надлежит производить оценку, а также условия использования экспертных оценок. Если целей несколько, то оценки по различным шкалам нужно постараться свести к единой шкале, например за счет установления цели более высокого уровня.

Затем формируется группа специалистов-аналитиков, важнейшими задачами которых являются разработка метода и модели опроса, отбор экспертов, проведение опроса, анализ и обобщение информации. Группа аналитиков должна обеспечить условия для наиболее плодотворной деятельности экспертов как за счет разработки наиболее эффективной системы контактов с ними (и внутри группы экспертов), так и путем выбора процедуры опроса, наиболее соответствующей характеру проблем.

Большой объем, сложность и разнообразие задач, возлагаемых на группу аналитиков, требуют включения в ее состав высококвалифицированных специалистов как в области анализируемой проблемы, так и в смежных областях деятельности, а также специалистов по экспертным методам — математиков, психологов и социологов.

Группа аналитиков, разрабатывая метод опроса, подготавливает перечень (множество) оцениваемых событий и устанавливает совокупность устойчивых факторов, характеризующих эти события.

Задание совокупности факторов зависит от специфики и целей экспертизы и может быть выполнено на разном уровне детализации. Так, можно наметить следующие уровни:

- 1) качественное описание всего множества оцениваемых событий;
- 2) перечень событий;
- 3) описание устойчивых факторов для каждого из событий;
- 4) выделение числа различных уровней для каждого событий;
- 5) выделение числа различных уровней для каждого фактора;
- 6) описание набора устойчивых значений факторов для каждого

уровня событий.

От уровня детализации в существенной степени зависит достоверность результатов экспертизы, причем с увеличением степени детализации согласованность экспертных оценок, как правило, увеличивается.

Следует, однако, учитывать, что на уровень детализации существенное влияние оказывают специфика исследуемой проблемы, возможность подбора объективных и компетентных специалистов необходимого профиля, а также время и средства, которые можно затратить на решение этой проблемы. Кроме того, информационные способности человеческого мозга ограничивают число рассматриваемых факторов и число осознаваемых связей, характеризующих проблемную

ситуацию, поэтому излишняя детализация проблемы может привести и к снижению надежности информации, полученной от экспертов.

В случаях, когда оценка множества событий производится впервые, формирование совокупности устойчивых признаков может быть выполнено не аналитиками, а самими экспертами либо теми и другими совместно. При этом аналитики должны подготовить вспомогательные вопросы, позволяющие экспертам определить совокупность признаков на разных уровнях детализации. Задачи аналитиков также состоят в обеспечении экспертов всей доступной объективной информацией, имеющей отношение к анализируемой проблеме, и в информировании экспертов об источниках возникновения проблемы и о путях решения аналогичных проблем в прошлом.

Важное значение имеет правильная формулировка вопросов (анкет), которая должна обеспечивать их единственное толкование и выражение ответа на каждый вопрос в виде количественной оценки. В случаях, когда отдельным качественным признакам трудно приписать количественную оценку, нужно оценивать сравнительную интенсивность признака с помощью методов упорядочения.

В зависимости от характера требующейся информации, возможностей ее получения и интерпретации, существующие методы опроса можно подразделить: на индивидуальные и групповые, личные (очные) и заочные, открытые и закрытые и т. д.

Под личным (очным) методом опроса подразумевается процедура, в процессе которой аналитик осуществляет непосредственный (личный) контакт с экспертом при подготовке ответов на вопросы анкеты. Заочный опрос обычно осуществляется путем пересылки анкеты эксперту по почте.

Основные преимущества заочного опроса — его простота и дешевизна. Однако надежность полученных данных может быть ниже, чем при очном опросе, поскольку некоторые вопросы эксперт может неправильно истолковать, а на некоторые вообще не дать ответа.

Очный опрос помогает исключить эти недостатки, но требует относительно больших затрат труда и времени как со стороны аналитиков, так и экспертов. Необходимость длительного участия в экспертизе обычно вызывает недовольство со стороны экспертов. Кроме того, при очном опросе могут возникать нежелательные искажения информации вследствие психологического воздействия аналитика на эксперта.

Установлено, что члены экспертной группы не любят начинать работу «с чистого листа» бумаги. Набор конкретных вопросов, а в ряде случаев и вероятных ответов помогает эксперту лучше понять поставленную задачу. Поэтому в основе большинства экспертных методов лежит анкета (опросный лист), с помощью которой и осуществляется сбор необходимой информации. Анкета — это структурно организованный набор вопросов, каждый из которых логически связан с центральной задачей экспертизы.

Обычно вопросы анкеты принято различать по содержанию, форме и функциям.

Все вопросы анкеты в зависимости от их содержания можно разделить на три группы:

1) объективные анкетные данные о самом эксперте (его возрасте, образовании, профессии, стаже работы, научном звании, узкой специализации и т. д.);

2) характеристики, позволяющие оценить мотивы, которыми руководствовался эксперт при оценке исследуемой проблемы;

3) основные вопросы, касающиеся существа исследуемой проблемы.

По форме различают следующие типы вопросов:

1) открытые и закрытые;

2) прямые и косвенные.

Вопрос называется открытым, или свободным, если ответ на него может быть дан в любой форме, т. е. ответ ничем не регламентирован. Вопрос называется закрытым, если в его формулировке содержатся варианты возможных ответов (перечень альтернатив) и эксперт должен остановить свой выбор на одном (или нескольких) из них. Одной из разновидностей закрытого вопроса является дихотомический, в котором перечень возможных вопросов исчерпывается альтернативой «да - нет».

Конкретный вопрос с определенным набором ответов на него называется признаком анкеты. Набор ответов может быть качественного характера, когда задача эксперта заключается в выборе одного ответа из «всера» возможных, и количественного характера, когда ответам на вопросы анкеты присваиваются числовые оценки.

Достоинство открытых вопросов заключается в возможности обнаружения с помощью экспертов новых, порой совершенно неожиданных для аналитиков аспектов проблемы. Недостатки этого метода заключаются в том, что, во-первых, повышается вероятность произвольной интерпретации вопроса со стороны экспертов, что может привести в конечном счете к несопоставимости данных, полученных от группы экспертов, и, во-вторых, в том, что анализ ответов на открытые вопросы - дело чрезвычайно трудоемкое.

В противоположность этому преимущество закрытых вопросов состоит как раз в том, что они строго и однозначно интерпретируются и требуют относительно меньших затрат труда на заполнение и обработку анкет. Вместе с тем анкета с закрытыми вопросами таит в себе опасность навязывания эксперту ответов, особенно в тех случаях, когда по тому или иному вопросу он вообще не имеет своего сложившегося мнения или же когда его мнение не совпадает с ответами анкеты.

Поэтому, если у аналитиков нет твердой уверенности в том, что все возможные альтернативы исчерпаны, следует предоставлять возможность

эксперту выдвигать свою альтернативу или уклониться от ответа на некоторые из поставленных вопросов.

Цель экспертизы может быть замаскирована, и тогда признаки анкеты могут быть косвенными. Такие анкеты применяются чаще всего в случаях, когда нет твердой уверенности, что эксперт по данному вопросу сумеет (захочет) дать определённую информацию.

2.3. Отбор экспертов

Работу по отбору экспертов обычно начинают с определения областей научных, технических и административных интересов, которые затрагивают решение данной проблемы. Затем составляется список лиц, компетентных в этих областях. Этот список служит основой для отбора кандидатов в эксперты. Составляя список кандидатов в эксперты, исходят прежде всего из компетентности того или иного специалиста в области его непосредственной деятельности. Вместе с тем желательно, чтобы кандидат в эксперты обладал широким кругозором, был достаточно эрудирован и в смежных областях, а также имел ряд других качеств, о которых будет сказано ниже.

Один из способов анализа компетентности кандидатов в эксперты заключается в подготовке специальных анкет, отвечая на вопросы которых они должны показать свою эрудицию и аналитические способности. Для оценки полученных ответов используется числовая шкала, например от 1 до 5. Главное внимание при заполнении анкеты уделяется способности эксперта ответить на поставленные вопросы и дать числовую оценку своим знаниям в достаточно короткий срок (5—10 мин).

Получив данные об индивидуальной самооценке, можно рассчитать среднюю групповую самооценку путем деления суммы индивидуальных самооценок по каждому вопросу на число экспертов в группе. В результате получается численный индекс, характеризующий объем знаний, которым, по мнению группы, она обладает по данному вопросу.

Практика экспертиз показывает, что хотя методы самооценки недостаточно точны для того, чтобы служить единственным критерием выбора экспертов, использование таких методов дает возможность выполнить предварительный отбор группы наиболее компетентных специалистов. Имеются данные, подтверждающие наличие связи между групповой самооценкой и точностью экспертизы. На рис. 1 дана кривая, иллюстрирующая наличие зависимости между групповой самооценкой и средней групповой ошибкой.

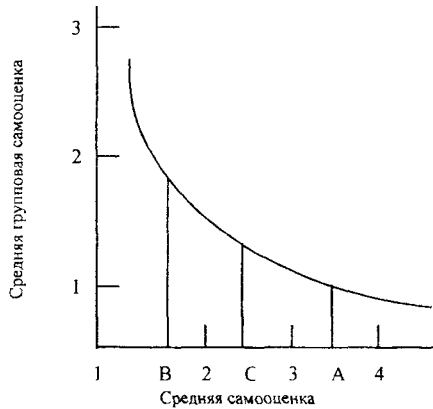


Рис. 1. Групповая самооценка

Совершенно очевидно, что существует обратная связь между этими величинами, т.е. средняя групповая ошибка монотонно убывает с возрастанием средней самооценки. Из этого следует, что если, например, группа кандидатов в эксперты со средней самооценкой *C* будет разделена на подгруппы, одна из которых имеет более высокую самооценку *A*, нежели группа в целом, а другая имеет более низкую самооценку *B*, то подгруппа *A* будет в среднем более точной, чем вся группа, а подгруппа *B* — менее точной.

Вместе с тем точность групповой оценки существенно зависит и от числа экспертов в группе. Ясно, что уменьшение числа экспертов ведет к снижению точности оценки, поскольку на групповую оценку излишнее влияние оказывает оценка каждого из экспертов. 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.

Установить оптимальную численность группы экспертов чрезвычайно трудно. Однако в последние годы разработан ряд подходов, позволяющих хотя бы приблизительно решать вопрос о необходимом числе экспертов. На рис. 2 дана кривая, характеризующая зависимость между количеством экспертов в группе и средней групповой ошибкой. Использование кривых такого типа позволяет выбрать минимально допустимое число экспертов. Однако нужно помнить, что каждая такая кривая не имеет универсального характера и обусловлена специфическими особенностями конкретной экспертизы.

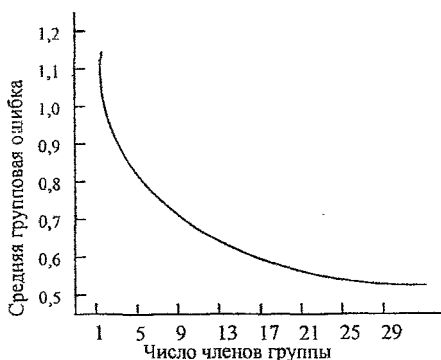


Рис.2. Роль численности группы

При подборе и оценке числа экспертов нужно учитывать еще одно ограничение, касающееся соответствия целей экспертов целям экспертизы. Группа не должна состоять из представителей одной узкой специальности, так как в этом случае их мнение будет в определенной степени тенденциозным. При отборе экспертов необходимо также принимать во внимание характер экспертизы: степень сложности и остроты обсуждаемой проблемы, (квалификацию и опытность экспертов, иногда даже их личные отношения).

С другой стороны, полезна разработка системы, стимулирующей объективную работу экспертов.

Не останавливаясь пока на методах числовой оценки надежности специалиста по результатам работы его в качестве эксперта в прошлом, отметим лишь важность соответствующей тренировки и обучения кандидатов в эксперты. Так, при отсутствии данных о результатах использования того или иного специалиста как эксперта можно с целью определения его компетентности провести специальные эксперименты. Для этого нужно подготовить вопросы о «достоверных» событиях, которые выбираются так, чтобы участники эксперимента не знали истинных ответов, но чтобы они располагали «фоновой» информацией, достаточной для выбора числовой оценки альтернатив. Можно организовать эксперимент-репетицию, в процессе которой «проигрывать» отдельные элементы предстоящей экспертизы с помощью двух (или нескольких) групп, одна из которых составлена из кандидатов в эксперты, а другая, контрольная, - из лиц, наиболее информированных в отношении исследуемой проблемы. Сравнение оценок, полученных от каждого из участников такого эксперимента (и каждой из групп), позволит точнее установить относительную степень надежности кандидатов в эксперты.

Кроме того, нужно выявить потенциально возможные цели экспертов, противоречащие целям экспертизы, т. е. наличие причин, которые могут

повлиять на сознательное смещение групповой оценки в направлении, желательном для данного эксперта либо для группы экспертов. Рекомендуются исключать из рассмотрения те факторы, в результатах которых эксперты лично заинтересованы.

2.4. Метод Дельфы

Одним из наиболее перспективных методов формирования групповой оценки экспертов является метод Дельфы, получивший название от греческого города Дельфы и мудрецов, славившихся в древности предсказаниями будущего. Метод представляет собой ряд последовательно осуществляемых процедур, направленных на формирование группового мнения по проблемам, по которым ощущается недостаток информации.

Процедуры, используемые в методе Дельфы, характеризуются тремя основными чертами: анонимностью, регулируемой обратной связью и групповым ответом. Анонимность достигается применением специальных вопросников или другими способами индивидуального опроса, например контактом экспертов с ЭВМ. Регулируемая обратная связь осуществляется за счет проведения нескольких туров опроса, причем результаты каждого тура обрабатываются с помощью статистических методов и сообщаются экспертам. С помощью статистических методов определения группового ответа можно уменьшить статистический разброс индивидуальных оценок и получить групповой ответ, в котором правильно отражено мнение каждого эксперта.

Если анонимность опроса является способом ослабления влияния отдельных «доминирующих» экспертов, то регулируемая обратная связь позволяет снизить «шумы», под которыми понимается влияние индивидуальных групповых интересов, не связанных с решаемыми проблемами. Кроме того, введение обратной связи вносит момент объективности и делает оценки более надежными.

Проведение опроса в несколько туров, в течение которых осуществляется ряд последовательных итераций (эксперты информируются о результатах предыдущих этапов опроса и предлагают в ряде случаев обосновать свое мнение), позволяет уменьшить колебания в индивидуальных ответах, ограничивает внутригрупповые колебания и имеет несомненные преимущества по сравнению с «простым» статистическим объединением индивидуальных мнений с помощью средних.

В основу метода Дельфы положены следующие предпосылки:

- 1) поставленные вопросы должны допускать возможность выражения ответа в виде числа;

2) эксперты должны располагать достаточной информацией для того, чтобы дать оценку;

3) ответ на каждый из вопросов (оценка) должен быть обоснован экспертом.

Выявление преобладающих суждений с помощью метода Дельфы позволяет сблизить точки зрения экспертов. Вместе с тем учитывается, что, несмотря на сближение оценок, различие будет существовать и в конце опроса.

Покажем, как используется метод Дельфы при подготовке научно-технических прогнозов. Каждый тур опроса требует в некоторой степени различных видов деятельности от экспертов либо организаторов экспертизы, либо от тех и других. Разумеется, еще до первого тура должны быть проведены подготовительные мероприятия.

Первый тур опроса

Первая анкета может быть полностью бесструктурной и допускать любые ответы. Целью такой анкеты является составление перечня событий для прогноза в определенной области науки и техники. У этого подхода есть некоторые недостатки, которые рассматриваются ниже. Однако он обладает и значительными преимуществами, хотя и возлагает большую ответственность на экспертов. Ведь предполагается, что специалисты гораздо лучше, чем организаторы экспертизы, знают соответствующую область науки и техники.

Если анкета для первого тура опроса составлена так, что она ограничивает участников экспертизы в постановке проблем, то это может привести к тому, что группа не учтет или опустит некоторые факторы, которые, вполне возможно, имеют более важное значение для организатора, чем факторы, которые он представляет на рассмотрение группы.

После того как прогнозы группы возвратились к организатору, он должен объединить их. Некоторые эксперты дают свои прогнозы в словесной форме или в виде сценария. Такой прогноз должен быть расчленен на ряд отдельных событий. Другие члены группы могут дать перечень событий, расположенных в хронологическом порядке. И в том и в другом случае события должны быть идентифицированы: одинаковые события объединены, второстепенные (с точки зрения организатора) - исключены, а окончательный перечень событий должен быть составлен в точных терминах. Полученный перечень событий становится основой второй анкеты.

Второй тур опроса

Экспертам направляют сводный перечень событий и просят дать им свою оценку. Их просят также привести соображения, по которым они считают свои оценки правильными.

После того как прогнозы и оценки событий, сделанные членами группы, вернулись к организатору, последний должен подготовить

статистическую сводку мнений экспертов, упоминая аргументы и доводы в пользу того, что рассматриваемое событие имеет оценку больше или меньше «средней» оценки.

После второго тура опроса аналитики производят обработку полученных оценок: уточняют перечень событий и анализируют характеристики ряда, т. е. рассчитывают медианы и квартили.

Полученные таким образом показатели принимаются за характеристики распределения оценок: медиана служит характеристикой группового ответа, а предпочтительный интервал квартилей - показателем разброса индивидуальных оценок.

Каждому эксперту сообщаются значения этих характеристик. Экспертов, чьи оценки оказались в крайних квартилях, просят их мотивировать, т. е. обосновать причины расхождения с групповым мнением. Эксперты могут приводить любые аргументы или возражения, такие же, какие они приводят во время дискуссии

Разница заключается лишь в том, что эти аргументы анонимны. Они могут пересмотреть свои мнения и при желании исправить

оценки. С полученными обоснованиями знакомят остальных экспертов, не указывая при этом, чьи они. Такая процедура позволяет всем экспертам принять в расчет обстоятельства, которые они могли случайно пропустить или которыми пренебрегли во время первого и второго туров опроса.

Третий тур опроса

Третья анкета состоит из перечня событий, групповой медианы оценок событий и верхнего и нижнего квартилей для каждого фактора, а также сводных данных (аргументов) о причинах более высоких или низких оценок. Участников экспертизы просят рассмотреть аргументы и сформулировать новые оценки каждого фактора. Если их новая оценка не попала в интервалы между квартилями (ИМК), полученными во втором туре опроса, то их просят обосновать свою точку зрения и прокомментировать точку зрения тех, кто придерживается противоположных взглядов. Иначе говоря, если их оценка даты отличается от оценки 3/4 участников экспертизы, их просят подтвердить эту оценку и показать, почему они считают аргументы большинства неправильными или неполными. Их аргументы могут включать ссылку на внешние факторы, которыми могли пренебречь другие члены группы, перечисление факторов, которые оказались не учтенными другими экспертами, и т. д. Участники экспертизы могут выдвигать аргументы и возражения точно так же, как это делали бы при личном общении, но при этом их аргументы остаются анонимными.

После того как пересмотренные оценки и новые аргументы возвратились к организатору, он опять должен суммировать оценки группы, рассчитав новые медианы и новые квартили, суммировать

аргументы, представленные с обеих сторон, и подготовить на этой основе новый прогноз.

Четвертый тур опроса

Участникам экспертизы вновь передают перечень факторов, статистическое описание оценок группы и аргументы обеих сторон. Эксперты должны принять во внимание аргументы и их критику и составить новую оценку. При необходимости организатор может потребовать от них новые аргументы. Получив прогнозы экспертов, снова рассчитывают медианы и квартили дат для каждого фактора. Поскольку этот тур опроса является последним, возможно, нет нужды анализировать аргументы и, следовательно, просить их представить. Если же группа не может прийти к согласованному (единому) мнению и организатор экспертизы заинтересуется аргументами обеих сторон, он собирает их и анализирует. Сам прогноз состоит из перечня факторов с соответствующими медианами и квартилями оценок.

Практика показывает, что необязательно проводить все четыре тура опроса. Если эксперты пришли к соглашению во втором туре, то опрос можно прекратить.

Основные результаты использования метода Дельфы заключаются в следующем. Типичным для первого тура опроса является широкий разброс индивидуальных ответов. По мере применения итерации и обратной связи сходимость индивидуальных ответов увеличивается. В большинстве случаев групповой ответ (определяемый как медиана окончательных индивидуальных ответов) становится точнее.

Для того чтобы понять механизм изменения оценок за счет последовательных итераций, была исследована тенденция к изменению, которая может быть описана одним параметром - расстоянием между оценками, полученными в последующих турах опроса, и медианой оценки первого тура.

Характер изменения оценок таков, что средняя оценка всей группы (M_G) находится между средними оценками экспертов, изменивших свое мнение (M_S), и экспертов, оставивших оценку неизменной (M_H). Поскольку средняя оценка экспертов, не изменивших своё мнение, обычно называется ближе к истинному ответу, предполагается, то последний находится где-то в заштрихованной области (см. рис. 3).

Из рис. 3 видно, что если средняя оценка экспертов, изменивших свое мнение, перемещается в направлении средней оценки всей группы, то последняя также будет смещаться вправо и в целом улучшится. Она станет менее точной только в случае «пересечения» средней оценки $\{M_S$ экспертов, не изменивших ответ, средней оценкой (M_G) экспертов изменивших свое мнение.

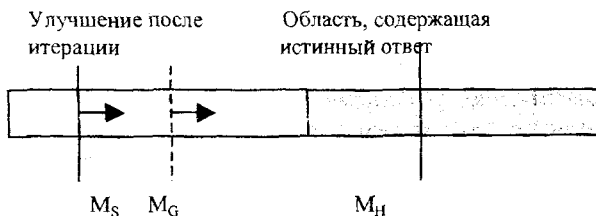


Рис. 3. Изменение групповых оценок при итерациях

Таким образом, итерация достигается за счет следующих двух предположений:

- 1) эксперты, не изменившие свои оценки, дают более точный ответ;
- 2) в процессе итерации средняя оценок экспертов, изменивших свое мнение, движется по направлению к средней оценке группы.

Этих двух допущений достаточно, чтобы в целом происходило улучшение средней оценки группы.

Было также установлено, что расстояние оценки от медианы оказывает существенное влияние на вероятность и величину изменения ответов после итерации.

Предполагается, что после первого тура опроса у группы экспертов имеется еще некоторое количество «остаточной» информации; итерация и обратная связь заставляют экспертов учесть эту информацию, что в свою очередь приводит к улучшению групповой оценки. Проверка предположения о том, что эксперты, давая оценку, имеют «в уме» грубое распределение вероятностей, также дала положительные результаты. Были проведены эксперименты, когда экспертов просили задавать не точечные, а «распределительные» ответы, т. е. назвать квартили или интервальные значения оценок, для которых соответственно того, что истинный ответ окажется меньше названного, равна соответственно 25, 50 и 75%. Получены достаточно обнадеживающие результаты, хотя разброс таких оценок оказался больше, чем точечных. Было также показано, что применение дополнительных «наводящих» вопросов действует аналогично дополнительной информации и улучшает точность оценок.

Проведенные эксперименты позволяют предполагать, что при использовании метода Дельфы наличие в группе менее знающих экспертов оказывает менее сильное влияние на групповую оценку, чем при простом усреднении оценок, поскольку итерация помогает этим экспертам улучшить свои оценки за счет информации, получаемой от

более компетентных специалистов. С другой стороны, компетентные специалисты, как правило, не располагают той информацией, которая находится в распоряжении у всех входящих в группу экспертов, что позволяет и им улучшать свои оценки в процессе опроса.

В последние годы разработан ряд модификаций метода Дельфы. В этих модификациях сохраняются принципы, первоначально предназначавшиеся для устранения некоторых недостатков групповой экспертизы. Изменяются, однако, многие элементы методики, используемой в «классическом» методе Дельфы.

Так, по основной методике работа начинается «с чистого листа». По-видимому, при этом перед некоторыми экспертами возникают трудности психологического характера, поскольку описание ситуации полностью бесструктурно, и они могут не знать, с чего начинать работу. Кроме того, нет гарантии, что прогнозы, разработанные группой экспертов в течение первого тура опроса, будут соответствовать требованиям организатора экспертизы. Наконец, возможно, что по мере уточнения и сужения формулировки рассматриваемого фактора в течение ряда туров опроса один или несколько членов группы могут не оказаться специалистами в данной узкой области. Чтобы преодолеть эти недостатки, более удобно начинать с перечня факторов, составленного заранее организатором, который нередко обращается к помощи экспертной процедуры. Последнее означает, что первый тур опроса проводится с одной группой, а его результаты передаются другой группе, которая фактически начинает работу со второго тура опроса. Поскольку при этом каждая группа организуется для различных целей, в некоторых случаях удобнее использовать данную модификацию метода Дельфы. Отметим, что нет причин, препятствующих частичному совпадению составов различных групп. Зачастую точное направление развития науки и техники зависит от политических решений, экономических условий и ограничений, и, следовательно, прогнозы определяются предположениями участников экспертизы относительно этих внешних событий. Если группа полностью состоит из экспертов-специалистов в конкретной области науки и техники, нельзя надеяться, что они будут также специалистами в области политики или экономики. Значит, может оказаться желательным заблаговременно получить прогноз политических или экономических тенденций и представить его группе как часть информации для первого тура опроса. Преимущество такого подхода состоит в том, что группа получает готовым описание существующей (будущей) ситуации, и не непрофессиональное суждение (ведь они являются специалистами в науке и технике) заменяется мнением профессионалов в соответствующей области знаний.

В ряде модификаций метода Дельфы менялось и число туров опроса. Некоторые эксперименты включали не менее пяти туров. Однако,

показал опыт, к концу четырех туров опроса группа достигала требуемого согласия. В ряде экспериментов с коротким циклом проведения испытания не было, по существу, надобности в том, чтобы выйти за пределы двух туров опроса. Это означает, что основной вариант метода Дельфы в некоторых случаях может быть модифицирован путем уменьшения числа туров опроса. Таким образом, не существует определённого ответа на вопрос о необходимом числе туров опроса. Если время ограничено и если начальный перечень событий может быть получен с помощью другого метода, то вполне возможно, что двух туров опроса будет достаточно для выяснения существа проблем, даже если не удастся достичь полного согласия со стороны некоторых экспертов.

Поскольку метод Дельфы дает лучшие результаты, чем использование суждений отдельных экспертов или групп с личным общением их членов, вполне возможно, что даже цикл проведения опроса, состоящий из двух туров будет лучше, чем любой другой метод разработки прогнозов.

В некоторых случаях при применении метода Дельфы экспертов просят оценить в баллах собственную степень компетентности по каждому из предложенных вопросов. Затем эти оценки комбинируются с полученными в результате опроса, (высокий балл показывает большую степень компетентности).

Ряд видоизменений метода Дельфы связан с ограничениями анонимности ответов. Условие анонимности было введено для того, чтобы доводы оценивались экспертами на основе собственных предпочтений и при этом поддерживающее или противоречащее мнение не влияло на их суждение. Однако нередко приходится выбирать между частичным исключением анонимности и полным отказом от использования метода Дельфы. Поскольку некоторые преимущества метода Дельфы могут быть сохранены даже при частичном исключении анонимности, то, видимо, имеет смысл использовать эту модификацию.

Известен, например, так называемый «упрощенный метод Дельфы». При проведении игр или имитаций, в которых эксперты играют роли принимающих решения специалистов, часто возникает ситуация, когда для перехода на последующий этап имитации требуется выработать единое мнение группы. Это мнение может быть получено путем использования письменных (анонимных) оценок, собранных и проанализированных организатором экспертизы на месте. Его сообщение об итогах анализа сопровождается устными доводами в пользу изменения групповых оценок, за которыми в свою очередь следует другой тур тайного опроса. Исключение анонимности доводов дает возможность значительно ускорить процесс опроса.

Известны случаи применения метода Дельфы, в которых обратная связь ограничивается. Обратная связь направлена только к так называемым «независимым» экспертам, которых просят подтвердить свою

точку зрения на основании того, что они могли бы оказаться единственными людьми, дающими правильный ответ. Если с точки зрения организатора экспертизы мнение «независимого» эксперта подтверждается, его оценка становится прогнозом; в противном случае в качестве прогнозной оценки принимается групповая медиана. Для выявления экспертов, наиболее влияющих на согласованность мнений, в некоторых случаях используют прием последовательного исключения одного участника экспертизы и вычисления коэффициента согласия оставшихся экспертов. Очевидно, что наибольшее влияние на общую согласованность экспертов оказывает тот из них, при исключении мнения которого коэффициент согласия принимает наибольшее значение.

Метод Дельфы в настоящее время используется как при долгосрочном прогнозировании, так и для изучения ряда технико-экономических и социальных проблем. Перспективность этого метода для получения групповой экспертной оценки и углубленного анализа событий в ситуациях неопределенности, особенно в сочетании с другими аналитическими методами, несомненна.

Вместе с тем опыт, накопленный при его использовании, позволил выявить ряд методических и фактических недостатков. Наиболее характерными из них являются:

- 1) большое влияние на результат экспертизы состава привлекаемых к опросу специалистов;
- 2) недостаточно продуманная подготовка вопросов;
- 3) недооценка со стороны экспертов качественно новых факторов, которые могут возникнуть в будущем;
- 4) излишний пессимизм в долгосрочных прогнозах и оптимизм в краткосрочных;
- 5) попытки получить незамедлительные и конкретные ответы на неопределенные вопросы;
- 6) опасность поверхностного анализа из-за стремления специалистов поскорее ответить на вопросы;
- 7) возможность сознательного искажения результатов экспертизы (со стороны ее организаторов) путем выдачи в первом туре ложной информации и т. д.

Большинство этих недостатков может быть ликвидировано. Очевидно, что со времени появления метода Дельфы происходит процесс его развития и совершенствования. Основные направления этого процесса связаны с попытками сочетания этого метода с другими методами прогнозирования, с развитием его философской и психологической базы, расширением областей применения, использованием усовершенствованных математико-статистических моделей, более рациональным применением электронно-вычислительной техники и изысканием путей устранения выявляющихся недостатков.

3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ОТ ЭКСПЕРТОВ

3.1. Формализация информации и шкалы

Рациональное использование информации, получаемой от экспертов, возможно при условии преобразования ее в форму, удобную для дальнейшего анализа, направленного на подготовку и принятие решений. В связи с этим необходимо рассмотреть основные возможности и ограничения ее формализации.

Возможности формализации информации зависят от специфических особенностей исследуемого объекта, надёжности и полноты имеющихся данных, уровня принятия решения. Форма представления экспертных данных зависит и от принятого критерия, на выбор которого, в свою очередь, существенное влияние оказывает специфика исследуемой проблемы.

Формализация информации, полученной от экспертов, должна быть направлена на подготовку решения таких технико-экономических и хозяйственных задач, которые не могут быть в полной мере описаны математически, поскольку являются «слабоструктуризованными», т. е. содержат неопределенности, связанные не только с измерением, но и с самим характером исследуемых целей, средств их достижения и внешних условий. Необходимость изучения составных элементов и процессов формализации таких задач не вызывает сомнения.

Если эксперт в состоянии сравнить и оценить возможные варианты действий, приписав каждому из них определённое число, будем считать, что он обладает определенной системой предпочтений.

В зависимости от того, по какой шкале могут быть заданы эти предпочтения, экспертные оценки содержат больший или меньший объем информации и обладают различной способностью к математической формализации.

Исследуемые объекты или явления можно опознавать или различать на основе признаков, или факторов. Определим фактор как множество, состоящее, по крайней мере, из двух элементов, отражающих различные уровни некоторых подлежащих рассмотрению величин.

Уровень одних факторов может быть выражен количественно (в рублях, процентах, тоннах и т. д.), и такие факторы называются количественными; уровень же других нельзя точно выразить с помощью числа, и их обычно называют качественными.

Факторы можно условно подразделить на дискретные и непрерывные. Под дискретными будем понимать факторы с определённым (чаще всего небольшим) числом уровней. Факторы, уровни которых рассматриваются как образующие непрерывное множество, будем называть непрерывными. В зависимости от целей и возможностей анализа одни и те же факторы могут трактоваться или как дискретные, или как непрерывные.

При использовании номинальных шкал исследуемые объекты можно опознавать и различать на основе трех аксиом идентификации:

- 1) i либо есть j , либо есть не j ;
- 2) если i есть j , то j есть i ;
- 3) если i есть j и j есть k , то i есть k .

Факторы в данном случае выступают как ассоциативные показатели, обладающие информацией, которая может быть формализована в виде бинарных оценок двух уровней: 1 (идентичен) или 0 (различен). В случаях, когда исследуемые объекты можно в результате сравнения расположить в определенной последовательности с учетом какого-либо существенного фактора (факторов), используются порядковые шкалы, позволяющие устанавливать равноценность или доминирование.

Предположим, что нам необходимо расположить в определённой последовательности n объектов по какому-либо фактору (критерию). Представим это упорядочение в виде матрицы $A(\alpha_{ij})$, где $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Величины α_{ij} устанавливают соотношения между объектами и могут быть определены, например, следующим образом:

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{если } i \text{ предпочтительнее } j; \\ -1, & \text{если } j \text{ предпочтительнее } i; \\ 0, & \text{если } i \text{ и } j \text{ равноценны.} \end{cases}$$

Использование порядковых шкал позволяет различать объекты и в тех случаях, когда фактор (критерий) не задан в явном виде, т. е. когда мы не знаем признака сравнения, но можем частично или полностью упорядочить объекты на основе системы предпочтений, которой обладает эксперт (эксперты).

Любое множество A будем называть упорядоченным, если для любых двух его элементов X и Y установлено, что либо X предшествует Y , либо Y предшествует X . Иногда не удается установить строгое предшествование для всех элементов множества, но можно произвести «групповое» упорядочение, когда упорядочиваются подмножества равноценных

элементов. Далее можно поставить задачу сравнения и упорядочения этих подмножеств.

Использование порядковых шкал позволяет производить преобразования полученных от экспертов оценок, соответствующих всем монотонно возрастающим функциям. Так, например, положительные оценки могут быть заменены их квадратами или логарифмами, или любой другой монотонно возрастающей функцией.

Для формализации оценок, полученных от экспертов, часто используют интервальные шкалы. При использовании таких шкал для этих целей можно брать почти все обычные статистические меры. Исключением являются те меры, которые предполагают знание «истинно» нулевой точки шкалы, которая вводится здесь условно.

Интервальные шкалы предполагают возможность трансформации оценок, полученных на одной шкале, в оценки на другой шкале при помощи уравнения:

$$x' = ax + b, \quad (1)$$

где x' – оценка на новой шкале; a – мультипликативный коэффициент; x – оценка на исходной шкале; b – аддитивный член.

Разности между значениями на шкале интервалов становятся мерами на шкале отношений (т. е. на обычной числовой шкале) по той простой причине, что в результате вычитания можно избавиться от постоянного слагаемого b .

В ряде случаев при формализации экспертных оценок используется свойство аддитивности (присущее, строго говоря, только шкале отношений). Наличие аддитивности выражается следующими аксиомами:

- 1) если $j = a$ и $i > 0$, то $i + j > a$;
- 2) $i + j = j + i$;
- 3) если $i = a$ и $j = b$, то $i + j = a + b$;
- 4) $(i + j) + k = i + (j + k)$.

Обычная ситуация, когда необходимо принять решение с учетом аддитивности, заключается в том, что имеется несколько (по крайней мере, два) качественных факторов. При наличии нескольких факторов (признаков), характеризующих конкретные объекты, существует множество реальных свойств и типов связей объектов.

Так, например, факторы (показатели), характеризующие эффективность создания и внедрения новой техники, по их объективному содержанию можно подразделить на технические, экономические и социальные. С другой стороны, эти факторы можно сгруппировать в соответствии с их ролью в процессе создания и внедрения новой техники, выделив, например, показатели, характеризующие затраты, технический уровень, качество, экономическую эффективность и т.д.

Таким образом, характер и количество факторов в значительной степени зависят от цели принимаемого решения, причем один и тот же

объект или явление может быть охарактеризован различными факторами, а одинаковые факторы могут иметь в различных ситуациях различную значимость.

В зависимости от характера и цели исследуемой проблемы факторы, по которым различаются объекты, могут быть количественно сравнимы или несравнимы между собой, частично сравнимы (т. е. не любой с любым другим, а лишь некоторые из них), упорядочены по степени их важности и т. д. Следует отметить, что несоизмеримость различных факторов обусловлена не только необходимостью применения разных единиц измерения, но и тем, что каждый фактор, выражая определенное свойство, одновременно является оценкой отношения к данному свойству со стороны принимающего решение.

В практике управления на всех его уровнях часто возникают ситуации, когда необходимо принять решение с учетом многих факторов. Разумеется, вопрос о том, какие именно факторы (признаки, критерии) следует считать наиболее важными, зависит от качественных особенностей объекта решения и целей, которым должно отвечать это решение.

В случае когда все факторы задаются по номинальной шкале, т. е. задаются по этой шкале некоторый признак a и исходное множество элементов M , цель состоит в выборе подмножества элементов $M(a)$, обладающих этим признаком. В таких случаях производится сравнение элементов, точнее их свойств, с признаком — эталоном, а результат — разбиение множества — можно рассматривать как упорядочение по двухэлементной шкале, по которой каждому из элементов присваивается балл, равный либо нулю, либо единице.

В случае, когда факторы заданы по порядковой шкале или по нескольким порядковым шкалам, цель состоит в упорядочении элементов исходного множества, точнее, в выявлении с помощью экспертов скрытой упорядоченности, которая, по предположению, присуща этому множеству. Необходимым условием решения этой задачи является допущение о транзитивности. Чем полнее упорядочены элементы, тем легче применить логико-математические и комбинаторные методы к решению таких задач.

В зависимости от существа или важности того или иного фактора на этапе подготовки и принятия решений могут быть использованы различные шкалы. Такие факторы, как затраты, прибыль, время, могут быть оценены по порядковой или интервальной шкале (в рублях, днях или условных единицах). Для оценки же таких факторов, как срок окупаемости или сравнительная эффективность вариантов, может быть использована интервальная шкала; качественные или социальные факторы могут оцениваться по порядковым или номинальным шкалам. В табл. 1 приведены типы шкал и их основные характеристики.

Таблица 1. Типы шкал и их основные характеристики

Тип шкалы	Определение шкалы	Отношения, задаваемые на шкале
Номинальная	Простейший тип измерения, в котором числа или символы используются только для классификации объектов	Эквивалентность (=)
Порядковая	Объекты одного класса находятся в некотором отношении с объектами другого класса (больше, чем; более предпочтителен; сильнее и т. д.). Если $[A] > [B]$ для некоторых (но не всех) объектов классов А и В, то имеет частично упорядоченную шкалу	Эквивалентность (=). Больше, чем (>)
Интервальная	Порядковая плюс известные расстояния между двумя любыми числами на шкале (нулевая точка шкалы и единица измерения выбираются произвольно)	Эквивалентность. Больше, чем (>). Известно отношение любых двух интервалов
Шкала отношений	Интервальная плюс истинная нулевая точка (отношение любых двух точек шкалы не зависит от единицы измерения)	Эквивалентность (=). Больше, чем (>). Определено отношение любых двух интервалов. Определено отношение между любыми двумя точками

3.2. Ранжирование и оценка

При решении многих практических задач часто оказывается, что факторы, определяющие конечные результаты, не поддаются непосредственному измерению. Расположение этих факторов в порядке возрастания (или убывания) какого-либо присущего им свойства называется ранжированием. Ранжирование позволяет выбрать из исследуемой совокупности факторов наиболее существенный.

Бывает, что явления имеют различную природу и вследствие этого несоизмеримы, т. е. у них нет общего эталона сравнения. И в этих случаях установление относительной значимости с помощью экспертов облегчает выбор наиболее предпочтительного.

Ранжирование может применяться в следующих ситуациях:

1) когда необходимо упорядочить какие-либо явления (объекты) во времени или пространстве. Это ситуация, когда интересуются не сравнением степени выраженности какого-либо их качества, а лишь взаимным пространственным или временным расположением этих явлений (объектов);

2) когда нужно упорядочить объекты в соответствии с каким-либо качеством, но при этом не требуется производить его точное измерение;

3) когда какое-либо качество в принципе измеримо, однако в настоящий момент не может быть измерено по причинам практического или теоретического характера.

Рассмотрим существо процедуры ранжирования подробнее. При ранжировании эксперт должен расположить объекты (альтернативы) в порядке, который представляется ему наиболее рациональным, и приписать каждому из них числа натурального ряда — ранги. При этом ранг 1 получает наиболее предпочтительная альтернатива, а ранг N — наименее предпочтительная.

Следовательно, порядковая шкала, получаемая в результате ранжирования, должна удовлетворять условию равенства числа рангов N числу ранжируемых объектов n .

Бывает так, что эксперт не в состоянии указать порядок следования для двух или нескольких объектов либо он присваивает разным объектам один и тот же ранг, и в результате число рангов N оказывается не равным числу ранжируемых объектов n . В таких случаях объектам приписывают так называемые стандартизированные ранги. С этой целью общее число стандартизированных рангов полагают равным n , а объектам, имеющим одинаковые ранги, присваивают стандартизированный ранг, значение которого представляет среднее суммы мест, поделенных между собой объектами с одинаковыми рангами.

Когда ранжирование производится несколькими (m) экспертами, обычно сначала для каждого объекта подсчитывают сумму рангов, полученную от всех экспертов, а затем, исходя из этой величины, устанавливают результирующий ранг для каждого объекта. Наивысший (первый) ранг присваивают объекту, получившему наименьшую сумму рангов, и, наоборот, объекту, получившему наибольшую сумму рангов присваивают самый низкий ранг N .

Остальные объекты упорядочивают в соответствии со значением суммы рангов относительно объекта, которому присваивается первый ранг.

Точность и надежность процедуры ранжирования в значительной степени зависят от количества объектов. В принципе, чем таких объектов меньше, тем выше их «различимость» с точки зрения эксперта, а следовательно, тем более надежно можно установить ранг объекта. Во всяком случае количество ранжируемых объектов n не должно быть больше 20, а наиболее надежна эта процедура, когда $n < 10$.

Метод ранжирования редко используется «в чистом виде». Чаще всего он сочетается с другими методами, обеспечивающими более четкое различие между факторами. Одним из них является метод непосредственной оценки и некоторые его модификации.

3.3. Метод непосредственной оценки

Метод непосредственной оценки состоит в том, что диапазон изменения какой-либо качественной переменной разбивается на несколько интервалов, каждому из которых присваивается определенная оценка (балл), например от 0 до 10. Шкала оценок может быть не только положительной, а например, включать в себя диапазон с интервалом оценок от -3 до $+3$. Задача эксперта заключается в помещении каждого из рассматриваемых объектов (факторов) в определенный оценочный интервал, либо в соответствии со степенью обладания тем или иным свойством, либо в соответствии с предположениями эксперта об их значимости. Заметим, что число интервалов, на которые разбивается весь диапазон изменения качества, не обязательно должно быть одинаково для каждого эксперта. Кроме того, каждому эксперту разрешается давать одну и ту же оценку двум (или нескольким) качественно различным факторам.

В некоторых случаях оказывается удобнее для выбора наиболее предпочтительного фактора сначала произвести оценку, а затем -- ранжирование.

В ряде случаев суммарные оценки рангов нормируются. Нормирование любой меры означает, что представляющее ее число для всего множества в целом принимается равным единице. Нормирование позволяет установить более тесную связь между оценками, приписанными экспертами отдельным объектам. С этой целью оценки по всем объектам суммируются, а затем каждая из них делится на полученную сумму. Рассчитанные таким образом нормированные оценки могут быть вновь проранжированы.

Когда в экспертизе участвует несколько экспертов, обычно стремятся получить усредненную оценку (вес) для каждого объекта.

Для этого нормированные оценки каждого объекта суммируются, а затем полученная сумма делится на число экспертов.

При наличии нескольких факторов, по которым следует оценить каждый из объектов, средняя оценка (вес) каждого объекта может быть рассчитана по формуле

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n w_{ij}}, \quad (2)$$

где w_{ij} – вес i -го объекта, подсчитанный по оценкам всех экспертов.

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad (3)$$

где x_{ij} – оценка фактора i , данная экспертом j ; n – число факторов; m – число экспертов.

Другой способ установления зависимости между оценками факторов (объектов, характеристик) состоит в том, что важнейшему (с точки зрения экспертов) фактору назначается оценка (вес), равная наперед заданному числу (обычно 1 или 10), а оценка следующих друг за другом по важности факторов определяется последовательно как доля более важного. Полученные таким образом значения нормируются. Основное достоинство такого способа заключается в том, что он облегчает процесс выбора оценок, поскольку эксперту не нужно каждый раз сопоставлять весь их ряд, а лишь учитывать значение первой и предыдущей по важности оценок. Оценки, полученные от группы экспертов, могут быть усреднены для каждого фактора путем расчета средней арифметической.

В случаях, когда группа, состоящая из нескольких экспертов, оценивает ряд факторов, причем у каждого из экспертов имеется своя шкала предпочтений, для нахождения усредненной оценки каждого фактора может быть рекомендована следующая методика:

1. Составляется матрица «эксперты — факторы», в которой проставляются полученные от каждого эксперта оценки факторов по шкале от 0 до 10.

2. Рассчитывается относительная значимость (W_{ij}) всех факторов в отдельности для каждого эксперта. С этой целью оценки, полученные от каждого эксперта, суммируются (по горизонтали), а затем нормируются.

3. Вычисляется усредненная оценка, данная всеми экспертами каждому фактору. Для этого нормированные оценки, полученные в предыдущем шаге, суммируются (по вертикали), а затем рассчитывается средняя арифметическая для каждого фактора.

В случае большого числа факторов могут возникнуть трудности при

оценке экспертами большого числа факторов. В этом случае рекомендуется применять двухэтапный метод ранжирования.

На первом этапе осуществляется ранжирование предварительно сформированных групп факторов. На втором этапе факторы ранжируются внутри отдельных групп.

Задачей следующего этапа является получение на основе синтеза группового и внутригруппового ранжирования единой системы расположения всех факторов. Для решения этой задачи могут быть применены несколько способов:

1. Простое ранжирование. Оно заключается в том, что все факторы располагаются в последовательности, соответствующей значимости отдельных групп и значимости факторов внутри групп.

Преимуществом этого способа является простота и лёгкость получения единой классификации факторов. Но установленная подобным образом общая ранжировка очень огрубленная. При таком способе ранжировки совершенно игнорируется возможность ситуации, когда факторы, стоящие на первых местах в следующей по значению группе, могут быть более важны, нежели стоящие на последних местах в предыдущей группе.

2. Ранжирование по сумме оценок. В основе ранжирования по этому способу лежит величина, получаемая при сложении оценок места группы и места фактора внутри группы. В качестве оценки в обоих случаях использовалось значение средневзвешенного места. Ранжирование по сумме оценок более объективно, поскольку учитывает степень различия в оценках мест групп и факторов внутри групп. Однако при этом способе возможно и механическое суммирование в связи с тем, что оценки мест групп и факторов могут быть даны в разных шкалах. Получается, что каждый раз с величиной, измеренной в одном масштабе, складываются величины, выраженные в других масштабах. Этот дефект можно устранить, если проводить ранжирование по третьему способу.

3. Ранжирование по сравнимой шкале. Чтобы выразить ценность места внутри группы в той же системе измерения, которая принята для групп, используется следующий прием. Оценки факторов внутри каждой группы суммируются, и на эту сумму делится оценка группы. Полученная при этом величина представляет вес единицы внутригрупповой шкалы, выраженный в единицах другой шкалы.

Умножая на этот коэффициент место каждого фактора, получаем скорректированные средневзвешенные значения, по которым производится ранжирование.

Недостатком третьего способа является то, что величина корректировочного коэффициента в сильной мере зависит от числа факторов, вошедших в группу. Для его устранения было предложено комбинирование второго и третьего способов (способ 4).

4. Ранжирование комбинированным способом. За оценку места фактора принималась сумма: оценка группы плюс скорректированная оценка фактора в группе.

Дальнейшее ранжирование состоит в упорядочении их расположения по величине полученной оценки.

Метод непосредственной оценки может быть использован в самых различных ситуациях, характеризующихся отсутствием полной информации, например для оценки трудоемкости научно-исследовательских работ, когда нет сходных отчетно-статистических данных. В таких случаях оценка трудоемкости может производиться специалистами лишь примерно, на основе имеющейся у них информации. Эта информация имеет некоторую долю неопределенности, величина которой зависит от опыта и знаний специалистов-экспертов.

3.4. Метод последовательных сравнений

Общим дефектом показателей, получаемых на основе суммирования оценок, является то, что недостаток качества по одному из факторов можно компенсировать за счёт другого, получая один и тот же результат при разной значимости факторов. Поэтому для повышения надёжности подобных оценок весьма важное значение имеет выявление связей и установление зависимостей (по возможности количественных) между всеми значимыми факторами.

Как было показано ранее, аддитивность оценок присуща шкале отношений и при некоторых условиях — шкале интервалов. Поэтому суммирование баллов, расчет результирующих рангов и оценок должны быть основаны не только на их упорядочении, но и еще на некоторых логических допущениях о зависимостях, используя которые можно обоснованно приписывать качественно различным факторам веса в одинаковых единицах по общей шкале измерения.

Основные из этих допущений заключаются в следующем:

1) каждому результату (событию, фактору) соответствует действительное неотрицательное число v_j , рассматриваемое как оценка истинной значимости (ценности) Q_j ;

2) если результат Q_j более важен, чем Q_k , то $v_j > v_k$. И если Q_j равноценен Q_k , то $v_j = v_k$;

3) если оценки v_j и v_k соответствуют результатам Q_j и Q_k , то оценка $v_j + v_k$ соответствует общему результату Q_j и Q_k .

Последнее допущение и является допущением об аддитивности оценок. Это допущение выполняется, когда результаты дискретны, непротиворечивы и взаимно независимы.

Следствиями допущения об аддитивности являются:

1) если результат Q_j предпочтительнее Q_k а Q_k предпочтительнее Q_i , то совместный результат Q_j и Q_k предпочтительнее Q_i ;

2) значимость общего результата Q_j и Q_k эквивалентна значимости общего результата Q_k и Q_j ;

3) если общий результат Q_j и Q_k эквивалентен Q_k , то $v_j=0$. Отсюда, если существует результат Q_j , удовлетворяющий данному условию, то существует и нулевая точка определенной шкалы, инвариантная к любым преобразованиям шкалы оценок v .

Процедура последовательных сравнений состоит в следующем. Эксперту предоставляется перечень факторов, которые необходимо оценить по их относительной важности и ранжировать. Наиболее важному фактору придается оценка $v_1=1$, а остальным факторам - оценки v_i между 0 и 1 в порядке их относительной важности.

Затем эксперт устанавливает, является ли фактор с оценкой 1 более важным, чем комбинация остальных факторов. Если это так, то он увеличивает оценку v_1 , чтобы она была больше, чем сумма всех остальных.

Если нет, то он корректирует оценку v_1 (если необходимо) так, чтобы она была меньше суммы всех остальных.

Далее определяется, является ли второй наиболее важный фактор с оценкой v_2 более важным, чем все остальные факторы, получившие более низкие оценки; и повторяется та же процедура, что и для v_1 . Процедура последовательных сравнений продолжается вплоть до $(n-1)$ -го фактора.

Таким образом, используемая здесь процедура состоит в систематической проверке оценок на базе их последовательного сравнения.

Сформулируем общую процедуру метода оценки весов на основе последовательных сравнений так:

1. Упорядочить результаты в соответствии с их важностью с точки зрения эксперта.

2. Приписать вес 1,00 результату Q_1 (т. е. $v_1=1,00$) и другие веса — всем остальным результатам.

3. Сравнить Q_1 с $Q_2+Q_3+...+Q_m$:

а) если Q_1 предпочтительнее $Q_2+Q_3+...+Q_m$, изменить (в случае необходимости) значение v_1 так, чтобы выполнялось неравенство $v_1 > v_2+v_3+...+v_m$. При этой корректировке, так же как и при всех остальных, следует стремиться к тому, чтобы веса набора (v_2, v_3 и т. д.) остались без изменений. Далее следует перейти к шагу 4;

б) если Q_1 и $Q_2+Q_3+...+Q_m$ равноценны, то изменить (в случае необходимости) значение v_1 так, чтобы выполнялось равенство $v_1 = v_2+v_3+...+v_m$ и затем перейти к шагу 4;

в) если результат Q_1 менее предпочтителен, чем $Q_2+Q_3+...+Q_m$, то изменить (в случае необходимости) значение v_1 так, чтобы выполнялось

неравенство $v_1 < v_2 + v_3 + \dots + v_n$. Далее сравнить Q_1 с $Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{m-1}$ и повторить описанную процедуру до тех пор, пока Q_1 будет или предпочтительнее, или равен всем остальным результатам.

4) Сравнить Q_2 с $Q_3 + Q_4 + \dots + Q_m$ и выполнить весь шаг 3.

5) Продолжить шаг 4 до тех пор, пока не будет выполнено сравнение Q_{m-2} с $Q_{m-1} + Q_m$.

6) Преобразовать каждое полученное значение V_j в нормированное v'_j .

Описанный метод становится громоздким, когда число результатов равно или более семи. В этом случае может быть использована следующая процедура:

1. Упорядочить все множество, учитывая предпочтения эксперта (экспертов) и не ставя им в соответствие числовых значений.

2. Выбрать случайным образом любой результат из множества, допустим Q_q .

3. Разбить случайным образом оставшиеся результаты на подмножества так, чтобы каждое из них содержало не более 6 результатов.

4. Включить в каждое из подмножеств результат, выбранный в шаге 1.

5. Применить процедуру, описанную выше, к каждому подмножеству результатов в отдельности, приписав предварительно некоторое число v_s результату Q_q (например, 1, 10 или 100). При этом, корректируя значения оценок остальных результатов v_s , значение v_s оставляем без изменений.

6. Сравнить оценки v_s с предпочтениями, полученными в шаге 1. Если в итоге получены непротиворечивые результаты, следует пронормировать оценки. Об обнаруженных противоречиях надо сообщить эксперту, который (в случае необходимости) меняет значения оценок.

Основой описанного подхода является введение в каждое подмножество результатов некоторой стандартной меры или базиса сравнения. Надежность полученных оценок можно проверить, образуя новые подмножества и используя другие базисные оценки.

Таким образом, применение метода последовательных сравнений основано на предположении о том, что если задан некоторый интервал действительного переменного, скажем от 0 до 1, то эксперт, основываясь на имеющейся у него информации, может установить предварительные оценки для каждого события, а затем уточнить их на основе сравнения с помощью определенной логической процедуры.

Поскольку множества, содержащие 7 и более элементов (результатов), трудно упорядочить с помощью метода последовательных сравнений (процедура становится громоздкой), целесообразно разбивать такие множества на несколько подмножеств, каждое из которых включает в себя не более 6 результатов.

Квантификация (сведение качественных характеристик к количественным) предпочтений в сложных и комплексных проблемах с

помощью метода последовательных сравнений при наличии большого числа факторов становится затруднительной. В таких случаях следует попытаться разделить проблему на ряд более простых «подпроблем» и задач, для которых сравнительно просто выявить предпочтения либо, если это оказывается невозможным, использовать метод парных сравнений.

3.5. Метод парных сравнений

Трудности использования ранжирования, непосредственной оценки и метода последовательных сравнений при выявлении предпочтений для большого числа факторов можно в определенной степени уменьшить, если предложить экспертам произвести сравнение этих факторов попарно, с тем чтобы установить в каждой паре наиболее важный.

В методе парных сравнений объекты сопоставляются попарно экспертом (экспертами), а затем выбирается один из них. Будем говорить, что в этом случае эксперт предпочитает данный объект, хотя выбор не обязательно будет выражать его предпочтение. В общем случае эксперт может установить равенство объектов или зафиксировать свои предпочтения на некоторой шкале.

Основной элементарный акт — сравнение двух объектов A и B одним экспертом — можно распространить на случай, когда несколько экспертов рассматривают более чем два объекта. Производить парное сравнение удобно не только тогда, когда число объектов велико, но и в тех случаях, когда различия между объектами настолько малы, что непосредственное ранжирование или оценка не обеспечивают их разумного упорядочения. Таким образом, метод парных сравнений имеет некоторое преимущество перед другими методами упорядочения в случаях, когда объектов много и (или) они трудно различимы.

Чаще всего при парном сравнении двух объектов ограничиваются простой констатацией того, что один из них предпочтительнее другого. В отдельных случаях, когда степень предпочтения можно выявить, используются специальные шкалы, где каждой степени предпочтения присваивается определенная оценка. Однако простейшая форма парных сравнений, когда устанавливается, что объект A «лучше» в некотором отношении объекта B , наиболее удобна, поскольку она уменьшает область возможной несогласованности между экспертами до минимума. Практика показывает, что даже допущение о возможности равенства объектов создает трудности при сборе и обработке информации, полученной от экспертов. Установлено, например, что одни эксперты объявляют объекты равными более охотно, чем другие.

Рассмотрим случай, когда сравниваются попарно три объекта A , B и C . Пусть суждение каждого эксперта состоит из простого предпочтения того

или иного объекта, причем «ничьи» не допускаются. Тогда для каждого из трех сравнений (A с B), (A с C), (B с C) возможны два исхода. Общее число исходов — 8, причем 6 из них типа: $A \rightarrow B$, $A \rightarrow C$, $B \rightarrow C$ (стрелка означает «предпочтительнее, чем»). Результаты сравнения в таком случае удобно представить в виде тройки чисел $[2, 1, 0]$, которые указывают, что один объект (не обязательно A) «выигрывает» два раза, другой — один раз, а третий — ни разу. Два оставшихся результата

$$A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow A,$$

$$A \leftarrow B, B \leftarrow C, C \leftarrow A$$

могут быть представлены как $[1, 1, 1]$ или же как $[1^3]$ и названы циклическими триадами. Ясно, что циклическая триада означает непоследовательность в суждениях части экспертов, причем вероятность возникновения циклической триады равна $1/4$, когда объекты идентичны.

Причины возникновения циклических триад могут состоять в недостаточной компетентности эксперта или же в том, что объекты нельзя сравнивать по одной линейной шкале, поскольку имеется несколько признаков, по которым они различаются.

Важным свойством парных сравнений является возможность выявления таких противоречий, а следовательно, установления некоторых критериев предпочтения.

4. ПРОВЕРКА СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Групповая оценка может считаться достаточно надежной только при условии хорошей согласованности ответов опрашиваемых специалистов. Поэтому статистическая обработка информации, полученной от экспертов, должна включать в себя оценку степени согласованности мнений экспертов и выявление причин их неоднородности.

Оценки, полученные от экспертов, могут рассматриваться как случайная переменная, распределение которой отражает суждения специалистов о вероятности того или иного исхода события (признака). Поэтому для анализа разброса и согласованности оценок, полученных от экспертов, применяются обобщенные статистические характеристики — средние и меры разброса.

Существуют два основных метода измерения разброса: рассматриваются либо расстояния между двумя упорядоченными исходами событий, либо средние расстояния результатов отдельных наблюдений от некоторого центрального значения. Показатели первого типа называют вариационным размахом, а второго — средними отклонениями.

Для оценки вариационного размаха (амплитуды колебаний) R чаще всего используется следующая пара величин — (X_{min}, X_{max}) . По существу, именно эти величины (или расстояние между ними) имеют в виду, когда говорят о размахе вариации. Чтобы определить любой другой тип вариационного размаха, необходимо добавить ещё какие-то определения. К примеру, вариационный размах между квантилями равен разности между третьим и первым квантилями $Q_3 - Q_1$. В этом случае для сравнительного изучения вариаций может быть вычислен коэффициент интерквартильной вариации:

$$q = \frac{Q_3 - Q_1}{Me}, \quad (4)$$

где q — коэффициент интерквартильной вариации;

Q_3 — граница третьего квантиля;

Q_1 — граница первого квантиля;

Me — медиана.

Или приблизительно

$$q = \frac{\frac{Q_3 - Q_1}{2}}{\frac{Q_3 + Q_1}{2}} = \frac{Q_3 - Q_1}{Q_3 + Q_1}. \quad (5)$$

Коэффициент интерквартильной вариации колеблется между -1 и +1 и приближается к нулю в случае симметричного распределения с очень малой вариацией.

Хорошими характеристиками разброса оценок являются средние отклонения. Среднее абсолютное отклонение представляет среднюю арифметическую абсолютных величин разностей между каждой оценкой и выборочной средней. В практике статистической обработки оценок, полученных от экспертов, чаще используют не среднее абсолютное отклонение, а среднее квадратическое (стандартное) отклонение и дисперсию.

Среднее квадратическое отклонение есть корень квадратный из среднего квадрата отклонений отдельных значений признака от средней арифметической:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - x_{cp})^2}{m}}, \quad (6)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение;

x — варианты (оценки);

x_{cp} — средняя арифметическая;

m — число оценок.

Если число оценок не превышает 30, что характерно для большинства экспертиз, то для расчета среднего квадратического отклонения применяется формула несмещенного среднего квадратического отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - x_{cp})^2}{m - 1}}. \quad (7)$$

Нередко за показатель разброса удобнее принимать не среднее квадратическое отклонение, а его квадрат (σ^2). Эта величина называется дисперсией и обладает среди прочих тем свойством, что при увеличении (уменьшении) оценок в k раз, увеличивается (уменьшается) в k^2 раз.

При анализе согласованности оценок экспертов нередко используется коэффициент вариации V , характеризующий вариабельность, рассчитываемую в виде отношения среднего квадратического отклонения к средней арифметической. Обычно он выражается в процентах:

$$V = \frac{\sigma}{x_{cp}} \cdot 100\% . \quad (8)$$

Меры рассеяния являются важными характеристиками распределения оценок, полученных от экспертов. Однако при анализе согласованности оценок недостаточно знать величину варибельности признака, необходимо также полнее выявить факторы, влияющие на эту изменчивость по каждому признаку. С этой целью применяются специальные характеристики и показатели.

Нередко при анализе согласованности ответов экспертов необходимо оценить связь между альтернативными признаками. Это делается с помощью коэффициентов ассоциации (связи) и коэффициентов контингенции (сопряженности).

Связь считается более тесной в том случае, когда каждому значению одного признака соответствуют близкие друг другу, тесно расположенные около своей средней величины значения другого признака; связь менее тесная, если эти значения сильно отклоняются от своей средней, т. е. сильно варьируют. Тип, форма и плотность связи обычно выявляются с помощью таких статистических характеристик, как коэффициент корреляции, корреляционное отношение, коэффициент регрессии и некоторых других.

Большинство статистических методов измерения связей основано либо на принципе взаимной сопряженности, либо на принципе ковариации. О взаимной сопряженности признаков говорят в случаях, когда интересуются связью какого-либо выделенного признака с другими признаками при осуществлении определенного события, причем градация значений признаков по интенсивности для исследователя безразлична. При обнаружении такой связи предполагается, что существует зависимость между данными признаками.

Основанием для заключения о наличии связи между количественными признаками служит параллельное и одновременное изменение их численных значений. Подобный вывод о наличии связи между признаками основан на принципе ковариации. В математическом отношении задача сводится к вычислению величины ковариации, т. е. сопутствующего изменения численных значений признаков, и последующему нормированию ее с помощью различных приемов.

При оценке связи между признаками используется много самых различных корреляционных показателей, разнообразие которых объясняется стремлением отразить реально существующее разнообразие типов связей в природе и обществе. Поскольку и степень точности расчетов, и вид зависимости между переменными, в конечном счете, выявляются на основе качественного анализа, выбор показателя связи определяется задачами исследования. В некоторых ситуациях в

одинаковой степени пригодными для исследования могут оказаться несколько коэффициентов. Решающее значение в этом случае приобретают цели анализа, природа данных (качественные или количественные признаки), требуемая точность расчетов, удобство при вычислении, сравнительная простота интерпретации, а также личный опыт исследователя.

В общем случае статистический анализ согласованности оценок экспертов и получение групповой оценки включает:

- 1) группировку, агрегирование признаков;
- 2) оценку степени согласованности ответов экспертов каждому признаку в отдельности и в целом по всему набору;
- 3) выделение групп экспертов с «близким» мнением относительно порядка признаков в случае наличия существенных расхождений в ответах;
- 4) выявление причин разброса мнений, определение влияния компетентности и других качеств экспертов на содержание ответов;
- 5) оценку качества экспертных оценок и компетентности экспертов;
- 6) формирование группового решения.

Рассмотрим подробнее каждый из этапов анализа.

Необходимость в группировке и агрегировании признаков обусловлена рядом обстоятельств. Во-первых, опыт показывает, что отдельные признаки могут быть по-разному истолкованы. Вместе с тем группы признаков, в некотором смысле объективно близкие, истолковываются экспертами более определенно. Следовательно, объединяя признаки в группы, можно «извлечь» их однозначный смысл и получить более точную и согласованную оценку. Во-вторых, сама оценка значимости (степени влияния) группового фактора более точна и достоверна, чем оценка отдельных признаков. Это объясняется тем, что в групповых оценках устраняются случайные ошибки измерения отдельных признаков при естественном предположении, что ошибка оценки одного признака не коррелирует с ошибкой оценки другого. И наконец, в процессе ранжирования часто возникают ситуации, когда два или несколько признаков имеют близкие оценки, и эксперты не различают их по информативности. В этом случае группировка позволяет определить рациональную степень агрегирования признаков.

Основой решения задачи группировки признаков является матрица их взаимосвязи, формализующая понятие близости между признаками. В качестве мер взаимосвязи в зависимости от характера идеализации балльных оценок могут выступать коэффициенты корреляции (сильное предположение о метрической шкале), коэффициенты взаимной сопряженности (упрощающее предположение о качественном характере оценок), коэффициенты ранговой корреляции (предположение о порядковой шкале), коэффициенты близости двух разбиений и др. При

проведении исследования полезно использовать разные (две-три) меры связи и оценить степень устойчивости полученных группировок.

Для оценки согласованности ответов по каждому признаку данные опроса удобно представить в виде таблицы вариационных рядов ответов (табл. 2).

Таблица 2. Таблица вариационных рядов ответа

Признак	Число мнений о ранге признака						Общее число ответов
	1	2	...	i	...	k	
x_1	f_{11}	f_{21}	...	f_{i1}	...	f_{k1}	$\sum_{i=1}^k f_{i1}$
x_2	f_{12}	f_{22}	...	f_{i2}	...	f_{k2}	$\sum_{i=1}^k f_{i2}$
...	
x_j	f_{1j}	f_{2j}	...	f_{ij}	...	f_{kj}	$\sum_{i=1}^k f_{ij}$
...	
x_n	f_{1n}	f_{2n}	...	f_{in}	...	f_{kn}	$\sum_{i=1}^k f_{in}$

Здесь f_{ij} — число ответов о присвоении i -го места j -му признаку. Если все эксперты дали ответы по всем признакам, то итоги строк будут равными.

На основе приведенной таблицы могут быть рассчитаны меры согласованности ответов экспертов по каждому признаку x_j . Оценка степени согласованности ответов - задача, обратная оценке уровня вариации. Если обозначить некоторый показатель вариации j -го признака через μ_j , то мера согласованности по этому признаку будет $1 - \mu_j$. Для расчета величины μ_j могут быть применены общеизвестные статистические приемы оценки вариации в рядах распределения:

- а) измерение области, содержащей основную часть ответов;
- б) измерение отклонений переменных от центрального значения (средней, медианы);
- в) измерение степени однородности качественных переменных.

Исходя из природы балльных оценок наиболее приемлемы первый и третий приемы.

При первом из них, наиболее простом и приближенном, в качестве меры согласованности ответов может быть, например, использован

коэффициент, равный отношению числа ответов, совпадающих с медианой и двумя соседними с ней местами, к общему числу ответов.

Третий прием расчета меры согласованности основан на вычислении коэффициентов вариации качественных переменных. Для этого фактическое число различимых (по определенному значению признака) пар событий сравнивается с максимально возможным числом пар. Подобная мера вариации качественных признаков представляет аналог дисперсии.

На основе табл. 2 величина коэффициента вариации для j -го признака вычисляется по формуле:

$$\mu_j = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{(\sum_j f_{ij})^2 - \sum_j f^2_{ij}}{(\sum_j f_{ij})^2}, \quad (9)$$

где μ_j - коэффициент вариации для j -го признака;

k - число градаций (число мест) j -го признака;

f_{ij} - число ответов о присвоении i -го места j -му признаку.

Величина μ_j меняется в пределах $0 \leq \mu_j < 1$.

Коэффициент μ_j приспособлен к анализу вариации качественных признаков. При расчете его величины не учитывается информация о последовательности мест; расхождение в ответах на одно место имеет такой же вес, как и расхождение в несколько мест. С целью устранения этого недостатка для ранговых признаков, А. В. Беккером предложена другая мера вариации ответов:

$$\Delta_j = \frac{\sum_j \sum_k f_{ij} f_{ki} (k-i)}{C_N^2}, \quad (10)$$

где C_N^2 - нормирующий множитель.

Преимуществом коэффициента вариации этого вида является учет расстояния между отдельными ответами, недостатком - оперирование разностями рангов.

Расчет подобного рода коэффициентов весьма полезен на последующих стадиях анализа - при формировании признаковых пространств и выделении однородных групп экспертов. При разбиении экспертов в первую очередь следует учитывать признаки с большой вариацией ответов по ним.

Для оценки меры сходства мнений каждой пары экспертов могут быть использованы различные методы.

Наиболее грубый подход основан на расчете так называемых коэффициентов ассоциации, с помощью которых учитывается лишь число

совпадающих или несовпадающих ответов и не учитывается их последовательность. В статистической литературе описано большое число видов таких коэффициентов. Приведем один из них — информационную меру близости ответов двух экспертов:

$$S_{ij} = \frac{2m_{ij}}{t_i \log_2 \left(1 + \frac{t_j}{t_i}\right) + t_j \log_2 \left(1 + \frac{t_i}{t_j}\right)}, \quad (11)$$

где S_{ij} - информационная мера близости двух ответов;

m_{ij} — количество признаков, одинаково оцененных i -м и j -м специалистами;

t_i — количество признаков, оцененных i -м специалистом;

t_j — количество признаков, оцененных j -м специалистом.

Величина S_{ij} меняется в пределах от 1 до 0, причем $S_{ij}=1$ указывает на полное совпадение мнений опрашиваемых, а $S_{ij}=0$ — на полное различие мнений.

Покажем некоторые из статистических способов анализа согласованности оценок, полученных от группы экспертов, на примере прогнозирования технических характеристик систем.

Если каждый из m экспертов, участвующих в опросе, дает одну оценку y_j (j — номер данного эксперта) будущего значения прогнозируемой величины, то в результате обработки этих оценок могут быть получены следующие показатели:

1) среднее значение оценок (точечная оценка для данной группы экспертов), характеризующее их обобщенное мнение:

$$y_{\text{ср}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_j, \quad (12)$$

где $y_{\text{ср}}$ — среднее значение оценок;

m — число экспертов;

y_j — оценка, данная j -м экспертом;

2) дисперсия оценок, характеризующая разброс мнения отдельных экспертов относительно среднего значения $y_{\text{ср}}$:

$$D_{\text{ср.}}(y) = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_{\text{ср.}} - y_j)^2, \quad (13)$$

где $D_{\text{ср.}}(y)$ — дисперсия;

3) среднее квадратическое отклонение, характеризующее указанный разброс, по размерности совпадающий с размерностью величины y :

$$\sigma_{\text{ср}} = \sqrt{D_{\text{ср.}}(y)}, \quad (14)$$

где $\sigma_{\text{ср}}$ — среднее квадратическое отклонение.

4) коэффициент вариации

$$V = \frac{\sigma_{cp}}{y_{э,ср}}, \quad (15)$$

где V – коэффициент вариации.

Статистические показатели позволяют прогнозировать и размеры той области, в которую с заданной вероятностью P попадет будущее значение оцениваемой величины. Эту область можно определить следующим образом:

$$y_{э,ср} - \Delta_1 \leq y \leq y_{э,ср} + \Delta_2, \quad (16)$$

где Δ – размах области.

Для построения указанной области (определения Δ_1 и Δ_2) необходимо сделать предположение о виде закона распределения суммы величин y_i . Очень часто этот закон распределения считается нормальным, что тем более оправдано, чем большее количество экспертов (например, $m \geq 10$) участвуют в опросе.

Для симметричного закона

$$\Delta_1 = \Delta_2 = t \frac{\sigma_{cp}}{\sqrt{m}}, \quad (17)$$

где t – величина, определяемая для данного конкретного закона распределения при данной вероятности P .

Для нормального закона распределения оценок экспертов установлено, что величина t имеет распределение Стьюдента с $m - 1$ степенями свободы. Она определяется по специальным таблицам в зависимости от $m-1$ и $1-P$.

С точки зрения математической статистики исходные оценки y_j , далеко отстоящие от среднего значения $y_{э,ср}$, могут считаться случайными.

Введем понятие противоречивости мнения эксперта k обобщенному мнению всех экспертов. Допустим, что мнение y_k эксперта k является крайним среди мнений m экспертов.

Действительное значение дисперсии $D(y)$ нам, как правило, неизвестно, а известна лишь ее оценка $D'(y)$, определенная с помощью выражения

$$D'_{cp}(y) = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^n (y_{э,ср} - y_j)^2. \quad (18)$$

Анализ противоречивости мнения эксперта k проведем с использованием оценки аномальности результатов при неизвестной генеральной дисперсии, суть которого заключается в следующем.

Сначала вычисляется вероятность того, что величина t превзойдет некоторый максимум β :

$$t = \frac{y_k - y_{\text{ср}}}{\sqrt{D_{\text{ср}}(y)}}, \quad (19)$$

$$\alpha = P\{y_k - y_{\text{ср}} > \beta \sqrt{D_{\text{ср}}(y)}\}. \quad (20)$$

Если эта вероятность достаточно велика (больше 0,05 – 0,1), то гипотеза об аномальности y_k может быть отброшена, в противном случае – принята. В связи с этим «противоречивым» будем считать мнение эксперта y_k , при котором выполняется неравенство

$$y_k - y_{\text{ср}} > \beta \sqrt{D_{\text{ср}}(y)}, \quad (21)$$

с вероятностью, меньшей α' . Обычно за α' принимают величину порядка 0,05 и менее.

Выполнение неравенства (21) при условии $\alpha < \alpha'$ является, таким образом, математическим признаком наличия противоречивого мнения среди данной группы экспертов. Необходимо заметить, что этот признак может быть использован только при нормальном распределении мнений экспертов.

Следует заметить, однако, что выполнение (или невыполнение) условия противоречивости может зависеть от величины вероятности α' . Одно и то же мнение того или иного эксперта оказывается противоречивым при одной вероятности α' и непротиворечивым – при другой. Поэтому указанный признак в этом смысле является условным и должен дополняться логическим анализом, учитывающим требования к точности прогноза, физические, экономические и другие ограничения.

При обработке результатов экспертных опросов необходимо иметь в виду еще и следующее. Противоречивость мнения эксперта может объясняться тем, что он лучше других представляет себе развитие прогнозируемого процесса в будущем и поэтому его мнение выпадает из области, характеризующей мнение его коллег. Поэтому к крайним оценкам таких опросов необходимо относиться весьма внимательно, тщательно изучив доводы экспертов в пользу своих оценок и ознакомив с этим мнением его коллег.

Таким образом, одна из возможных процедур оценки результатов опроса экспертов, давших прогнозы y_j ($j = 1, 2, \dots, m$) о будущем значении величины Y , будет следующей:

определяется обобщенное мнение группы (точечный прогноз) с помощью выражения (12);

определяются дисперсия и среднее квадратическое отклонение мнений экспертов с помощью выражений (13) и (14);

- производится оценка противоречивости крайних мнений с помощью логического анализа и неравенства (21);
- при непротиворечивых мнениях результаты опроса оформляются в виде точечного (12) и интервального (16) прогнозов;
- при противоречивых мнениях проводится второй тур опроса (с обсуждением результатов и мнений первого) в целях согласования мнений данной группы экспертов (или при необходимости привлечения новых специалистов).

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ПЕРВЫЙ ТУР ОПРОСА

5.1. Постановка проблемы

Рассмотрим процедуру проведения экспертного опроса и обработки его результатов на следующем примере.

Экспертам был предоставлен следующий список вопросов:

1. При разработке микросхем спецназначения используются следующие виды испытаний (см. табл. 3). Из этого списка надо выбрать испытания, необходимые для случая нового КТВ микросборки.

Таблица 3. Перечень контрольных операций

№	Наименование
1	Проверка внешнего вида
2	Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров
3	Проверка качества маркировки
4	Внутренний визуальный контроль
5	Проверка массы микросхемы
6	Испытание на воздействие растягивающей силы
7	Испытание гибких ленточных выводов на изгиб
8	Контроль прочности сварного соединения
9	Испытание соединения кристалл-подложка на сдвиг
10	Испытание на воздействие линейного ускорения
11	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)
12	Испытания на чувствительность к разряду статического электричества
13	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок
14	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха
15	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления
16	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления
17	Испытания на воздействие плесневых грибов
18	Испытание на воздействие инея и росы
19	Испытание на воздействие соляного тумана

Таблица 3. Окончание

20	Испытание на воздействие акустического шума
21	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов
22	Контроль содержания паров воды внутри корпуса
23	Испытания на способность к пайке
24	Испытания на теплостойкость к пайке
25	Испытания на герметичность
26	Испытание на способность вызывать горение
27	Проверка статических параметров при различных температурах окружающей среды
28	Функциональный контроль при различных температурах окружающей среды
29	Проверка электрических параметров
30	Проверка срабатывания встроенной защиты по току при нормальных климатических условиях
31	Проверка температурного коэффициента напряжения
32	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания)
33	Испытания на безотказность
34	Испытания на долговечность
35	Испытания на сохраняемость

2. В условиях вертикальной интеграции часть испытаний МСБ (см. табл. 3) можно перенести на этап испытания аппаратуры. Какие виды испытаний целесообразно перенести на этот этап?

3. Каким должен быть объем испытаний (объем выборки, время испытаний, режимы) в случае переноса части испытаний МСБ на этап испытания аппаратуры? (в % от обычного).

4. На каких операциях ТП производства МСБ (см. табл. 4) целесообразно вводить ДНК?

Таблица 4. Перечень основных операций ТП производства толстопленочных НЧ МСБ

№	Наименование
1	Контроль подложек
2	Очистка подложек
3	Входной контроль паст
4	Высокотемпературная обработка подложек
5	Нанесение проводников нижнего уровня (НУ)
6	Предварительная термообработка проводников НУ
7	Высокотемпературная обработка проводников НУ
8	Нанесение конденсаторной пасты (КП)
9	Предварительная термообработка КП
10	Высокотемпературная обработка КП
11	Нанесение проводников верхнего уровня (ВУ)
12	Предварительная термообработка проводников ВУ
13	Высокотемпературная обработка проводников ВУ
14	Нанесение резистивной пасты (РП)

Таблица 4. Окончание

15	Предварительная термообработка РП
16	Высокотемпературная обработка РП
17	Лужение проводниковых элементов
18	Лужение паст
19	Подгонка резисторов
20	Подгонка конденсаторов
21	Монтаж компонентов и их контактирование
22	Функциональный контроль и функциональная подгонка
23	Защита плат компаундом (лаком)
24	Корпусная герметизация

5. На каких операциях ТП производства тонкопленочных МСБ (см. табл. 5) целесообразно вводить ДНК?

Таблица 5. Перечень основных операций ТП производства толстопленочных НЧ МСБ

№	Наименование
1	Контроль подложек
2	Очистка подложек
3	Контроль напыляемых материалов
4	Обезгаживание напыляемых материалов
5	Напыление и формирование рисунка резисторов
6	Напыление и формирование рисунка конденсаторов
7	Термообработка резисторов
8	Электротренировка резисторов
9	Подгонка резисторов
10	Герметизация (защита) резисторов герметиком (лаком)
11	Корпусная герметизация
12	Термообработка конденсаторов
13	Электротренировка конденсаторов
14	Подгонка конденсаторов
15	Герметизация (защита) конденсаторов герметиком (лаком)
16	Монтаж и контактирование компонентов
17	Контроль функционирования и функциональная подгонка
18	Формирование межслойной изоляции

6. В каких случаях целесообразно вводить ДНК компонентов (см. табл. 6)?

Таблица 6. Назначение и области применения МСБ

№	Наименование
1	Бытовая аппаратура
2	Персональная аппаратура
3	Аппаратура народнохозяйственного (НХ) назначения
4	Промышленная аппаратура общего назначения
5	Промышленная аппаратура специального назначения (управление АЭС и др.)
6	Научная аппаратура
7	Военная аппаратура
8	Космические РЭС НХ назначения
9	Космические РЭС военного назначения
10	Системы управления КА и РН
11	Космические РЭС для изделий с длительным сроком активного функционирования (САФ)

7. В каких случаях (см. табл. 7) целесообразно вводить ДНК паст?

Таблица 7. Особенности поставок паст, производства, назначения и применения МСБ

№	Наименование
1	Разные поставщики паст
2	Этап отработки нового КТВ МСБ
3	“Отрицательная” статистика отказов при испытаниях МСБ или аппаратуры
4	Наличие отказов при эксплуатации МСБ (МЭА)
5	Бытовая аппаратура
6	Персональная аппаратура
7	Аппаратура народнохозяйственного (НХ) назначения
8	Промышленная аппаратура общего назначения
9	Промышленная аппаратура специального назначения (управление АЭС и др.)
10	Научная аппаратура
11	Военная аппаратура
12	Космические РЭС НХ назначения
13	Космические РЭС военного назначения
14	Системы управления КА и РН
15	Космические РЭС для изделий с длительным сроком активного функционирования (САФ)

8. Какие показатели качества (см. табл. 8) являются наиболее важными для микросбороков?

Таблица 8. Основные показатели качества МСБ

№	Наименование
1	Стабильность параметров во времени (слабая деградация)
2	Потребляемая мощность
3	Минимальная масса
4	Габариты

Таблица 8. Окончание

5	Надежность
6	Стоимость
7	Процент выхода годны
8	Эргономичность
9	Технологичность
10	Правовая защита

9. Какие факторы (см. табл. 9) оказывают наибольшее влияние на надежность и качество микросборок? (стабильность компонентов, стабильность элементов, точность изготовления элементов и др.).

Таблица 9. Предполагаемые факторы качества и надежности МСБ

№	Наименование
1	Стабильность ТП производства
2	Высокая культура труда
3	Технологическая дисциплина
4	Исполнительская дисциплина
5	Штрафные санкции потребителя
6	Материальная заинтересованность предприятия
7	Материальная заинтересованность исполнителей
8	Моральная заинтересованность предприятия
9	Моральная заинтересованность исполнителей
10	Стабильность резистивных элементов
11	Стабильность емкостных компонентов
12	Стабильность компонентов
13	Точность изготовления резисторов
14	Точность изготовления конденсаторов
15	Точность изготовления проводников
16	Совершенство конструкции
17	Отработанность схемы
18	Совместимость паст и материалов

10. Какие операции ТП производства толстопленочных микросборок (см. табл. 10) в наибольшей степени влияют на качество МСБ?

Таблица 10. Операции ТП производства толстопленочных МСБ

№	Наименование
1	Изготовление графаретов
2	Контроль качества графаретов
3	Приготовление паст
4	Контроль подложек
5	Очистка подложек
6	Входной контроль паст
7	Высокотемпературная обработка подложек
8	Нанесение проводников нижнего уровня (НУ)
9	Предварительная термообработка проводников НУ

Таблица 10. Окончание

10	Высокотемпературная обработка проводников НУ
11	Нанесение конденсаторной пасты (КП)
12	Предварительная термообработка КП
13	Высокотемпературная обработка КП
14	Нанесение проводников верхнего уровня (ВУ)
15	Предварительная термообработка проводников ВУ
16	Высокотемпературная обработка проводников ВУ
17	Нанесение резистивной пасты (РП)
18	Предварительная термообработка РП
19	Высокотемпературная обработка РП
20	Лужение проводниковых элементов
21	Лужение паст
22	Подгонка резисторов
23	Подгонка конденсаторов
24	Монтаж компонентов и их контактирование
25	Функциональный контроль и функциональная подгонка
26	Защита плат компаундом (лаком)
27	Корпусная герметизация
28	Нанесение изоляционной пасты (ИП)
29	Предварительная термообработка ИП
30	Высокотемпературная обработка ИП
31	Межоперационный контроль
32	Диагностический неразрушающий контроль (ДНК) на операциях
33	Финишный ДНК
34	Маркировка

11. Какие операции (см. табл. 11) ТП производства тонкопленочных МСБ в наибольшей степени влияют на их качество?

Таблица 11. Операции ТП производства тонкопленочных МСБ

№	Наименование
1	Изготовление масок
2	Контроль качества масок
3	Изготовление испарителей
4	Контроль качества испарителей
5	Контроль подложек
6	Очистка подложек
7	Контроль напыляемых материалов
8	Обезгаживание напыляемых материалов
9	Напыление подслоя
10	Напыление резистивных слоев
11	Вакуумная термообработка резисторов
12	Напыление проводников и контактных площадок
13	Напыление проводников и нижних обкладок
14	Напыление диэлектрического слоя конденсаторов
15	Напыление межслойной изоляции
16	Напыление проводников и верхних обкладок
17	Напыление защитного слоя контактных площадок

Таблица 11. Окончание

18	Термообработка конденсаторов в вакууме
19	Термообработка резисторов на воздухе
20	Электротренировка резисторов
21	Индивидуальная подгонка резисторов
22	Электротренировка конденсаторов
23	Индивидуальная подгонка конденсаторов
24	Монтаж компонентов
25	Контактирование компонентов (сварка, пайка и др.)
26	Монтаж платы в корпус
27	Контактирование (пайка, сварка и др.) выводов платы с выводами корпуса
28	Контроль функционирования
29	Функциональная подгонка
30	Защита элементов и компонентов лаком (компаундом)
31	Корпусная герметизация
32	Выходной контроль
33	Маркировка
34	Упаковка

Экспертам были выданы опросные материалы включающие в свой состав описание проблемы, анкетные данные и опросные карточки (см. приложения 1 - 4).

5. 2. Обработка результатов первого тура опроса

5.2.1. Обработка ответов экспертов на первую группу вопросов (1-3)

Экспертам предлагалось ответить на поставленные вопросы в соответствии с методикой эксперимента. Результаты опроса приведены в приложениях 5 - 7. Все расчеты производятся с использованием редактора электронных таблиц Microsoft Excel 97.

Первым пунктом опроса экспертам предлагалось выбрать из списка (см. табл. 3) те испытания, которые по их мнению необходимо оставить для случая нового КТВ МСБ. Причем ответ мог быть дан либо в виде "1" – "да", либо "0" – "нет". Количество экспертов ответивших утвердительно (X_1) приведено в табл. 12.

Второй пункт опросника предлагал экспертам выбрать из списка те испытания МСБ, которые целесообразно перенести на этап испытания аппаратуры и оценить их объем от обычного (вопрос № 3). Результаты опроса также представлены в табл. 12 (X_2 – количество экспертов ответивших утвердительно на 2 вопрос, V_{cp} – среднearифметическое значение объема испытаний).

Таблица 12. Результаты опроса по первой группе вопросов

№	Наименование	X ₁	X ₂	V _{ср}
1	Проверка внешнего вида	9	1	1
2	Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров	9	1	1
3	Проверка качества маркировки	0	1	0,3
4	Внутренний визуальный контроль	10	2	0,65
5	Проверка массы микросхемы	8	1	1
6	Испытание на воздействие растягивающей силы	9	0	-
7	Испытание гибких ленточных выводов на изгиб	2	0	-
8	Контроль прочности сварного соединения	9	0	-
9	Испытание соединения кристалл-подложка на сдвиг	2	0	-
10	Испытание на воздействие линейного ускорения	10	9	0,98
11	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	10	10	0,96
12	Испытания на чувствительность к разряду статического электричества	9	1	1,4
13	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	10	8	1,25
14	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	10	9	1,24
15	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	8	10	0,94
16	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	7	9	1,13
17	Испытания на воздействие плесневых грибов	8	8	0,925
18	Испытание на воздействие инея и росы	9	9	1,02
19	Испытание на воздействие соляного тумана	9	9	0,96
20	Испытание на воздействие акустического шума	8	9	0,93
21	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	9	1	1,04
22	Контроль содержания паров воды внутри корпуса	1	0	-
23	Испытания на способность к пайке	8	0	-
24	Испытания на теплостойкость к пайке	7	1	1
25	Испытания на герметичность	9	6	1,2
26	Испытание на способность вызывать горение	0	3	1
27	Проверка статических параметров при различных температурах окружающей среды	9	2	1,1
28	Функциональный контроль при различных температурах окружающей среды	4	9	1,01
29	Проверка электрических параметров	1	0	-
30	Проверка срабатывания встроенной защиты по току при нормальных климатических условиях	5	8	1
31	Проверка температурного коэффициента напряжения	1	0	-
32	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания).	10	10	1,07
33	Испытания на безотказность.	10	9	1,1
34	Испытания на долговечность.	8	10	1,11
35	Испытания на сохраняемость	8	10	1,08

В качестве критерия отбора было выбрано предположение, что ответ истинный, если на него ответили утверждающе не менее 8 экспертов.

На основе полученных данных можно рекомендовать при разработке нового КТВ МСБ использовать следующие испытания (см. табл. 13).

Таблица 13. Испытания, необходимые при разработке нового КТВ МСБ

№	Наименование	X _i
1	Внутренний визуальный контроль	10
2	Испытание на воздействие линейного ускорения	10
3	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	10
4	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	10
5	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	10
6	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания)	10
7	Испытания на безотказность	10
8	Проверка внешнего вида	9
9	Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров	9
10	Испытание на воздействие растягивающей силы	9
11	Контроль прочности сварного соединения	9
12	Испытания на чувствительность к разряду статического электричества	9
13	Испытание на воздействие инея и росы	9
14	Испытание на воздействие соляного тумана	9
15	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	9
16	Испытания на герметичность	9
17	Проверка статических параметров при различных температурах окружающей среды	9
18	Проверка массы микросхемы	8
19	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	8
20	Испытания на воздействие плесневых грибов	8
21	Испытание на воздействие акустического шум	8
22	Испытания на способность к пайке	8
23	Испытания на долговечность	8
24	Испытания на сохраняемость	8

По результатам опроса можно говорить о целесообразности переноса следующей части испытаний МСБ на этап испытания всей аппаратуры (см. табл. 14). Объем испытаний в долях от обычного указан в колонке V_{ср}.

Таблица 14. Испытания МСБ, которые целесообразно перенести на этап испытания аппаратуры и их объем

№	Наименование	X ₂	V _{ср}
1	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	10	0,96
2	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	10	0,94
3	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания)	10	1,07
4	Испытания на долговечность	10	1,11
5	Испытания на сохраняемость	10	1,08
6	Испытание на воздействие линейного ускорения	9	0,98
7	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	9	1,24
8	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	9	1,13
9	Испытание на воздействие инея и росы	9	1,02
10	Испытание на воздействие соляного тумана	9	0,96
11	Испытание на воздействие акустического шума	9	0,93
12	Функциональный контроль при различных температурах окружающей среды	9	1,01
13	Испытания на безотказность	9	1,1
14	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	8	1,25
15	Испытания на воздействие плесневых грибов	8	0,925
16	Проверка срабатывания встроенной защиты по току при нормальных климатических условиях	8	1

5.2.2. Обработка ответов экспертов на вторую группу вопросов (4-7)

В этой группе вопросов экспертам предлагалось оценить целесообразность введения ДНК на некоторых операциях ТП производства толсто- и тонкопленочных МСБ и в различных случаях применения паст и компонентов.

Эксперты оценивали факторы по 100 - бальной методике в соответствии с описанием методики опроса. В связи с тем, что у каждого эксперта существует собственная шкала предпочтений и различий, окончательные выводы делались на основе относительных значимостей факторов относительно друг друга.

Относительная значимость всех факторов в отдельности для каждого эксперта рассчитывается по формуле:

$$W_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1} a_{ij}}, \quad (22)$$

где W_{ij} – относительная значимость фактора; a_{ij} – оценка i – го эксперта j –

го фактора.

После чего определяем усреднённую оценку, данную всеми экспертами каждому фактору как среднюю арифметическую нормированных оценок.

Результаты опроса и расчёта относительных значимостей каждого фактора приведены в приложениях.

Критерием отбора будем считать относительную значимость, которая должна быть не меньше 0,5 от максимальной.

На основе полученных оценок можно сделать следующие выводы.

1. По результатам ответов на 4-й вопрос признана достаточно высокая целесообразность введения ДНК на следующих операциях ТП производства толстоплёночных МСБ (см. табл. 15).

Таблица 15. Операции ТП производства толстоплёночных МСБ, на которых целесообразно вводить ДНК

№	Операции ТП производства МСБ
1	Функциональный контроль и функциональная подгонка
2	Высокотемпературная обработка РП
3	Подгонка резисторов
4	Корпусная герметизация
5	Входной контроль паст
6	Подгонка конденсаторов

2. По результатам ответов на 5-й вопрос признана достаточно высокая целесообразность введения ДНК на следующих операциях ТП производства тонкоплёночных МСБ (см. табл. 16).

Таблица 16. Операции ТП производства тонкоплёночных МСБ, на которых целесообразно вводить ДНК

№	Операции ТП производства МСБ
1	Контроль функционирования и функциональная подгонка
2	Подгонка резисторов
3	Подгонка конденсаторов
4	Электротренировка конденсаторов

3. По результатам ответов на 6-й вопрос признана достаточно высокая целесообразность введения ДНК компонентов в следующих случаях (см. табл. 17).

Таблица 17. Назначение и области применения МСБ, когда целесообразно введение ДНК компонентов

№	Назначение и области применения МСБ
1	Космические РЭС для изделий с длительным сроком активного функционирования (САФ)
2	Системы управления КА и РН
3	Космические РЭС военного назначения
4	Военная аппаратура
5	Космические РЭС НХ назначения
6	Промышленная аппаратура специального назначения (управление АЭС и др.)
7	Научная аппаратура

4. По результатам ответов на 7-й вопрос признана достаточно высокая целесообразность введения ДНК паст в следующих случаях (см. табл. 18).

Таблица 18. Особенности поставок паст, производства, назначения и применения МСБ, при которых целесообразно введение ДНК

№	Особенности поставок паст, производства, назначения и применения МСБ
1	Космические РЭС для изделий с длительным сроком активного функционирования (САФ)
2	Системы управления КА и РН
3	Космические РЭС военного назначения
4	Военная аппаратура
5	Космические РЭС НХ назначения
6	Промышленная аппаратура специального назначения (управление АЭС и др.)

5.2.3. Обработка ответов экспертов на третью группу вопросов (8-11)

На третью группу вопросов (8-11) эксперты отвечали путем проставления оценок факторам по 100 - балльной шкале в соответствии с методикой эксперимента.

Как и при обработке ответов второй группы вопросов в третьей группе использовались относительные значимости факторов W_{ij} . Результаты опроса и расчёта относительных значимостей каждого фактора приведены в приложениях 12 - 15.

На основе полученных средних оценок произведём ранжирование. Факторы с максимальной оценкой поставим на самое важное (первое) место.

Можно поступить по - другому и при ранжировании факторов не нормировать их оценки и использовать такие средние величины как мода, медиана, средняя арифметическая.

В приложениях 12 - 15 также указаны результаты расчета показателей распределения.

Результаты ранжирования по обоим методам представлены в таблицах 19-22.

Таблица 19. Ранги показателей качества для микроборков

№	Показатели качества	Место по Ме	Место по Х _{ср}	Место по Мо	Место по показателям распределения	Место по относительным значимостям	Итоговое место по двум методам
1	Стабильность параметров во времени (слабая деградация)				1		
2	Потребляемая мощность				5		
3	Минимальная масса				6		
4	Габариты				7		
5	Надежность				2		
6	Стоимость				8		
7	Процент выхода годных				3		
8	Эргономичность	9-10	10	8-10	10	10	10
9	Технологичность	4	4	4-6	4	4	4
10	Правовая защита	9-10	9	8-10	9	9	9

Таблица 20. Ранги факторов качества и надежности МСБ

№	Показатели качества	Место по Ме	Место по Х _{ср}	Место по Мо	Место по показателям распределения	Место по относительным значимостям	Итоговое место по двум методам
1	Стабильность ТП производства	1	1	1	1	1	1
2	Высокая культура труда	9	9	9	9	9	9
3	Технологическая дисциплина	6-7	6	7-8	6	6	6
4	Исполнительская дисциплина	12	10	12	12	10	10
5	Штрафные санкции потребителя	14-16	14-16	15-18	15	15	15
6	Материальная заинтересованность предприятия	10	12	10	10	12	12

Таблица 20. Окончание

7	Материальная заинтересованность исполнителей	11	11	11	11	11	11
8	Моральная заинтересованность предприятия	14-16	16	15-18	16	16	16
9	Моральная заинтересованность исполнителей	17	17	15-18	17	17-18	17
10	Стабильность резистивных элементов	3	2	3-4	3	2	2-3
11	Стабильность емкостных элементов	4	4	3-4	4	4	4
12	Стабильность компонентов	2	3	2	2	3	2-3
13	Точность изготовления резисторов	5	5	5	5	5	5
14	Точность изготовления конденсаторов	8	8		8	8	8
15	Точность изготовления проводников	13	13		13	13	13
16	Совершенство конструкции	18	18		18		18
17	Отработанность схемы				14	14	14
18	Совместимость паст и материалов		7	7	7	7	7

Таблица 21. Ранги операций ТП производства толстополеночных МСБ

№	Операции ТП производства толстополеночных МСБ	Место по Мс	Место по X _{ср}	Место по Мо	Место по показателям распределения	Место по относительным значениям	Итоговое место по двум методам
1	Изготовление трафаретов	26-27	27	26-33	26	26	26
2	Контроль качества трафаретов	28-33	32-33	26-33	32-33	32-33	32-33
3	Приготовление паст	18-19	18-19	15-18	18	19	19
4	Контроль подложек	26-27	31	26-33	31	30-31	31
5	Очистка подложек	15-17	14-16	11-14	15	12-14	13

Таблица 21. Продолжение

6	Входной контроль паст	11	11	11-14	11	11	11
7	Высокотемпературная обработка подложек	28-33	21	26-33	22	22	22
8	Нанесение проводников нижнего уровня (НУ)	28-33	26	26-33	29	27-29	29
9	Предварительная термообработка проводников НУ	20-25	23-25	23-25	23-25	23-25	23-25
10	Высокотемпературная обработка проводников НУ	8-9	8	7-9	8	8	8
11	Нанесение конденсаторной пасты (КП)	28-33	29-30	26-33	30	30-31	30
12	Предварительная термообработка КП	28-33	32-33	26-33	32-33	32-33	32-33
13	Высокотемпературная обработка КП	10	10	10	10	10	10
14	Нанесение проводников верхнего уровня (ВУ)	20-25	23-25	19-25	23-25	23-25	23-25
15	Предварительная термообработка проводников ВУ	12-13	17	11-14	13	15-16	15
16	Высокотемпературная обработка проводников ВУ	7	7	7-9	7	7	7
17	Нанесение резистивной пасты (РП)	15-17	12	15-18	16	15-16	16
18	Предварительная термообработка РП	15-17	18-19	15-18	17	18	17
19	Высокотемпературная обработка РП	3-5	3	3-4	3	3	3
20	Лужение проводниковых элементов	20-25	29-30	19-25	27	27-29	27
21	Лужение паст	20-25	23-25	19-25	23-25	23-25	23-25
22	Подгонка резисторов	1	1	1	1	1	1
23	Подгонка конденсаторов	3-5	4	3-4	4	4	4

Таблица 21. Окончание

24	Монтаж компонентов и их контактирование	12-13	14-16	11-14	12	12-14	12
25	Функциональный контроль и функциональная подгонка	6	6	5-6	6	6	6
26	Защита плат компаундом (лаком)	20-25	20	19-25	20	20	20
27.	Корпусная герметизация	18-19	13	19-25	19	17	18
28	Нанесение изоляционной пасты (ИП)	28-33	28	26-33	28	27-29	28
29	Предварительная термообработка ИП	20-25	22	19-25	21	21	21
30	Высокотемпературная обработка ИП	14	14-16	15-18	14	12-14	14
31	Межоперационный контроль	8-9	9	7-9	9	9	9
32	Диагностический неразрушающий контроль (ДНК) на операциях	2	2	2	2	2	2
33	Финишный ДНК	3-5	5	5-6	5	5	5
34	Маркировка	34	34	34	34	34	34

Таблица 22. Ранги операций ТП производства тонкопленочных МСБ

№	Операции ТП производства тонкопленочных МСБ	Место по Ме	Место по Хср	Место по Мо	Место по показателям распределения	Место по относительным значениям	Итоговое место по двум методам
1	Изготовление масок	16-19	14-16	25-32	16	15-17	16
2	Контроль качества масок	27-32	27-29	25-32	28-29	28-29	28-29
3	Изготовление испарителей	27-32	26	25-32	26	26	26
4	Контроль качества испарителей	27-32	32	25-32	32	31-32	32
5	Контроль подложек	20-25	11	15-24	12	20-22	21
6	Очистка подложек	4-8	6	4-8	6	7	7

Таблица 22. Продолжение

7	Контроль напыляемых материалов	27-32	26-29	25-32	28-29	28-29	28-29
8	Обезгаживание напыляемых материалов	20-25	24	15-24	24	23-24	24
9	Напыление подслоя	20-25	25	15-24	25	25	25
10	Напыление резистивных слоев	4-8	4-5	4-8	5	5-6	5
11	Вакуумная термообработка резисторов	9-10	9-10	9-11	9-10	9-10	9-10
12	Напыление проводников и контактных площадок.	20-25	21-22	15-24	21-22	20-22	22
13	Напыление проводников и нижних обкладок	11-15	17-19	12-14	18	12-14	13
14	Напыление диэлектрического слоя конденсаторов	4-8	3	4-8	4	4	4
15	Напыление межслойной изоляции	16-19	17-19	15-24	19	12-14	14
16	Напыление проводников и верхних обкладок	9-10	9-10	9-11	9-10	9-10	9-10
17	Напыление защитного слоя контактных площадок	27-32	31	25-32	31	31-32	31
18	Термообработка конденсаторов в вакууме	20-25	23	15-24	23	23-24	23
19	Термообработка резисторов на воздухе	11-15	20	12-14	20	18-19	18
20	Электро-тренировка резисторов	11-15	12	12-14	11	11	11

Таблица 22. Окончание

21	Индивидуальная подгонка резисторов	1	1	1	1	1	1
22	Электротренировка конденсаторов	4-8	8	4-8	8	8	8
23	Индивидуальная подгонка конденсаторов	2	2	2	2	2	2
24	Монтаж компонентов	26	27-29	25-32	27	27	27
25	Контактирование компонентов (сварка, пайка и др.)	16-19	14-16	15-24	15	15-17	15
26	Монтаж платы в корпус	27-32	30	25-32	30	30	30
27	Контактирование (пайка, сварка и др.) выводов платы с выводами корпуса	20-25	13	15-24	13	20-22	20
28	Контроль функционирования	16-19	21-22	15-24	21-22	18-19	19
29	Функциональная подгонка	3	4-5	3	3	3	3
30	Защита элементов и компонентов лаком (компаундом)	11-15	17-19	9-11	17	15-17	17
31	Корпусная герметизация	11-15	14-16	15-24	14	12-14	12
32	Выходной контроль	4-8	7	4-8	7	5-6	6
33	Маркировка	33-34	33	33-34	33	33	33
34	Упаковка	33-34	34	33-34	34	34	34

Как видим, ранжирование факторов различными способами дало примерно одинаковые результаты. В случае неопределенности ранга фактора по относительным значимостям для определения итогового ранга использовались значения, полученные при сравнении рангов по показателям распределения. Следовательно, окончательное ранжирование факторов будет следующим (см. табл. 23-26).

Таблица 23. Показатели качества для микросборок

Место	Показатели качества
1	Стабильность параметров во времени (слабая деградация)
2	Надежность
3	Процент выхода годных
4	Технологичность
5	Потребляемая мощность
6	Минимальная масса
7-8	Стоимость
7-8	Габариты
9	Правовая защита
10	Эргономичность

Таблица 24. Факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество и надежность МСБ

Место	Факторы
1	Стабильность ТП производства
2-3	Стабильность резистивных элементов
2-3	Стабильность компонентов
4	Стабильность емкостных элементов
5	Точность изготовления резисторов
6	Технологическая дисциплина
7	Совместимость паст и материалов
8	Точность изготовления конденсаторов
9	Высокая культура труда
10	Исполнительская дисциплина
11	Материальная заинтересованность исполнителей
12	Материальная заинтересованность предприятия
13	Точность изготовления проводников
14	Отработанность схемы
15	Штрафные санкции потребителя
16	Моральная заинтересованность предприятия
17	Моральная заинтересованность исполнителей
18	Совершенство конструкции

Таблица 25. Операции ТП производства толсто пленочных МСБ, оказывающие наибольшее влияние на качество МСБ

Место	Операции ТП производства толсто пленочных МСБ
1	Подгонка резисторов
2	Диагностический неразрушающий контроль (ДНК) на операциях
3	Высокотемпературная обработка ПП
4	Подгонка конденсаторов
5	Финишный ДНК
6	Функциональный контроль и функциональная подгонка
7	Высокотемпературная обработка проводников ВУ
8	Высокотемпературная обработка проводников НУ
9	Межоперационный контроль

Таблица 25. Окончание

10	Высокотемпературная обработка КП
11	Входной контроль паст
12	Монтаж компонентов и их контактирование
13	Очистка подложек
14	Высокотемпературная обработка ИП
15	Предварительная термообработка проводников ВУ
16	Нанесение резистивной пасты (РП)
17	Предварительная термообработка РП
18	Корпусная герметизация
19	Приготовление паст
20	Защита плат компаундом (лаком)
21	Предварительная термообработка ИП
22	Высокотемпературная обработка подложек
23-25	Нанесение проводников верхнего уровня (ВУ)
23-25	Предварительная термообработка проводников ВУ
23-25	Лужение паст
26	Изготовление трафаретов
27	Лужение проводниковых элементов
28	Нанесение изоляционной пасты (ИП)
29	Нанесение проводников нижнего уровня (НУ)
30	Нанесение конденсаторной пасты (КП)
31	Контроль подложек
32-33	Контроль качества трафаретов
32-33	Предварительная термообработка КП
34	Маркировка

Таблица 26. Операции ТП производства тонкопленочных МСБ, оказывающие наибольшее влияние на качество МСБ

Место	Операции ТП производства тонкопленочных МСБ
1	Индивидуальная подгонка резисторов
2	Индивидуальная подгонка конденсаторов
3	Функциональная подгонка
4	Нанесение диэлектрического слоя конденсаторов
5	Нанесение резистивных слоев
6	Выходной контроль
7	Очистка подложек
8	Электротренировка конденсаторов
9-10	Вакуумная термообработка резисторов
9-10	Нанесение проводников и верхних обкладок
11	Электротренировка резисторов
12	Корпусная герметизация
13	Нанесение проводников и нижних обкладок
14	Нанесение межслойной изоляции
15	Контактирование компонентов (сварка, пайка и др.)
16	Изготовление масок
17	Защита элементов и компонентов лаком (компаундом)
18	Термообработка резисторов на воздухе
19	Контроль функционирования
20	Контактирование (пайка, сварка и др.) выводов платы с выводами корпуса
21	Контроль подложек

Таблица 26. Окончание

22	Напыление проводников и контактных площадок
23	Термообработка конденсаторов в вакууме
24	Обезгаживание напыляемых материалов
25	Напыление подслоя
26	Изготовление испарителей
27	Монтаж компонентов
28-29	Контроль качества масок
28-29	Контроль напыляемых материалов
30	Монтаж платы в корпус
31	Напыление защитного слоя контактных площадок
32	Контроль качества испарителей
33	Маркировка
34	Упаковка

5.3. Анализ согласованности экспериментальных данных

При анализе согласованности оценок факторов будем использовать такие показатели как коэффициент вариации (VAR) и коэффициент интерквартильной вариации (q). Результаты расчета показателей приведены в приложениях 5-15.

Коэффициент интерквартильной вариации служит показателем согласованности экспертов. При его значении, близком к нулю, или когда он не существует, считается, что эксперты пришли к согласию.

При одновременно большом значении коэффициента вариации и близком к нулю значении коэффициента интерквартильной вариации наблюдаются высказывающие варианты.

Воспользуемся положением о том, что критическое значение коэффициента вариации равно 33,3%. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что оценки большой группы факторов имеют недопустимый разброс, что подтверждается и большим коэффициентом интерквартильной вариации.

Как видно, возникает необходимость в проведении второго тура опроса.

Второй тур опроса будет проведён с использованием программы автоматизированного сбора и обработки информации разработанной в ходе выполнения экспериментов с учётом опыта, полученного при ручной неавтоматизированной обработке результатов.

6. ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

6.1. Постановка задачи

Перед программой поставлены следующие задачи:

- 1) на основе введённого организатором экспертизы образца опросной карточки подготовить опросные карточки для всех экспертов;
- 2) обеспечить комфортную работу экспертов с карточками;
- 3) обеспечить необходимую конфиденциальность работы экспертов с целью соблюдения «чистоты» эксперимента;
- 4) выдавать организатору экспертизы результаты опроса в форме удобной для принятия решения;

Программа, кроме того, должна иметь возможность быстрой и лёгкой модернизации алгоритма вычисления организатором экспертизы и основываться на широко распространённых программных продуктах.

6.2. Состав программного пакета

Пакет программ, входящих в систему, находится в папке **EXPERT** и состоит из следующих файлов:

1. **Вопрос1(1тур).xls** – программа обработки мнений экспертов о необходимости применения некоторых испытаний при разработке нового КТВ МСБ в первом туре опроса.
2. **Вопрос2(1тур).xls** – программа обработки мнений экспертов о целесообразности переноса части испытаний МСБ на этап испытания аппаратуры в первом туре опроса.
3. **Вопрос3(1тур).xls** – программа обработки мнений экспертов об объеме испытаний в первом туре опроса.
4. **Вопрос4(1тур).xls** – программа обработки мнений экспертов о целесообразности введения ДНК на некоторых операциях ТП производства толстопленочных МСБ в первом туре опроса.
5. **Вопрос5(1тур).xls** – программа обработки мнений экспертов о целесообразности введения ДНК на некоторых операциях ТП производства тонкопленочных МСБ в первом туре опроса.

6. **Вопрос6(1тур).xls** – программа обработки мнений экспертов о целесообразности применения ДНК компонентов в первом туре.

7. **Вопрос7(1тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о целесообразности применения ДНК паст в первом туре.

8. **Вопрос8(1тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о важности показателей качества для МСБ в первом туре.

9. **Вопрос9(1тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о влиянии факторов на качество и надежность МСБ в первом туре.

10. **Вопрос10(1тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о влиянии операций ТП производства толстопленочных МСБ на качество МСБ в первом туре.

11. **Вопрос10(1тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о влиянии операций ТП производства тонкопленочных МСБ на качество МСБ в первом туре.

12. **Вопрос1(2тур).xls** – программа обработки мнений экспертов о необходимости применения некоторых испытаний при разработке нового КТВ МСБ во втором туре опроса.

13. **Вопрос2(2тур).xls** -- программа обработки мнений экспертов о целесообразности переноса части испытаний МСБ на этап испытания аппаратуры во втором туре опроса.

14. **Вопрос3(2тур).xls** – программа обработки мнений экспертов об объеме испытаний во втором туре опроса.

15. **Вопрос4(2тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о целесообразности введения ДНК на некоторых операциях ТП производства толстопленочных МСБ во втором туре опроса.

16. **Вопрос5(2тур).xls** – программа обработки мнений экспертов о целесообразности введения ДНК на некоторых операциях ТП производства тонкопленочных МСБ во втором туре опроса.

17. **Вопрос6(2тур).xls** – программа обработки мнений экспертов о целесообразности применения ДНК компонентов во втором туре.

18. **Вопрос7(2тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о целесообразности применения ДНК паст во втором туре.

19. **Вопрос8(2тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о важности показателей качества для МСБ во втором туре.

20. **Вопрос9(2тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о влиянии факторов на качество и надежность МСБ во втором туре.

21. **Вопрос10(2тур).xls** - программа обработки мнений экспертов о влиянии операций ТП производства толстопленочных МСБ на качество МСБ во втором туре.

Все рабочие программы выполнены на основе табличного процессора MS Excel 97 фирмы Microsoft как наиболее подходящего для обработки большого объема информации, представленной в табличном виде с последующей статистической обработкой.

Для комфортной работы пакет программ требует следующих ресурсов:

- IBM PC совместимый персональный компьютер;
- CPU не ниже 486DX/4 100МГц;
- ОЗУ не менее 16Мбайт;
- операционная система Windows 95/98/NT4/2000;
- обозреватель Web страниц MS Internet Explorer v3.0 и выше;
- пакет MS Office 97 и выше с установленным MS Excel;
- не менее 10МБайт свободного пространства на жестком диске.

6.3. Программа обработки анкетных данных

Программа предназначена для ранжирования факторов в первом, втором и последующих турах исследования. Здесь будет описываться создание программы для конкретного случая (35 факторов и десять экспертов), в других случаях не представляет большого труда модифицировать программу для конкретного применения.

Рассмотрим весь процесс создания программы по шагам.

Шаг 1 – создаём рабочую книгу MS Excel командой **Файл – Создать**.

Шаг 2 – сохраняем книгу командой **Файл – Сохранить** под именем **«Вопрос1(1тур).xls»**.

Шаг 3 – двойным щелчком мышки по ярлычку листа задаём названия листов «В.Л.», «Доп.лист», «Анкета1» и «Результаты».

Шаг 4 – на листе «Анкета №1» формируем внешний вид карточки (см. рис. 4).

Шаг 5 – Формируем вспомогательный блок на листе «В.Л.». Основное назначение вспомогательного листа – хранение наиболее важной информации, элементов управления работой программы. Вспомогательный лист должен быть доступен только организатору экспертизы и для экспертов его необходимо защитить от просмотра и изменений командами **Формат – Лист – Скрыть** и **Сервис – Защита – Защитить лист**. Внешний вид листа «В.Л.» показан на рис. 5.

Шаг 6 – на листе «В.Л.» формируется матрица «Оценка групп факторов – Эксперты». В эту таблицу через функцию типа (=Анкета1!C\$17) автоматически при заполнении экспертами карточек вводятся оценки факторов.

Шаг 7 – использование функций (=МЕДИАНА(E31:E40)), (=СРЗНАЧ(E31:E40)), (=МОДА(E31:E40)); позволяет вычислить медиану, средневзвешенное значение, моду ряда распределения оценок.

Шаг 8 - выражение (=СТАНДОТКЛОН(E31:E40)/СРЗНАЧ(E31:E40)); вычисляет коэффициент вариации ряда. Командой **Формат – Ячейки ... - Процентный** устанавливаем процентный формат отображения чисел.

Шаг 9 - среди стандартных функций MS Excel есть также и функции определения квартилей (=КВАРТИЛЬ(E31:E40;1)) позволяющие определить границы квартилей.

Коэффициент интерквартильной вариации q вычисляется как $(=(E45-E47)/(E45+E47))$.

Шаг 10 - для управления программой на вспомогательном листе помещаем три элемента управления «Кнопка»: «Добавить анкету», «Скрыть результат», «Показать результат». Добавление элементов управления происходит из панели инструментов «Формы».

«Добавить анкету» – добавляет ещё один бланк анкеты, точную копию листа «Анкета1» в книгу. При нажатии на эту кнопку появляются листы с именем «Анкета1(2)», «Анкета1(3)» и так далее. В нашем случае для десяти экспертов необходимы десять анкет, следовательно необходимо девять раз нажать на кнопку.

Функция кнопки определяется соответствующим макросом и связывается через команду **Формат объекта – Назначить макрос** при нажатии на кнопку правой клавишей мышки с макросом «Добавить анкету», текст которого приведён в приложении 16.

«Скрыть результат» и «Показать результат» - скрывает и показывает лист с результатами опроса, тексты соответствующих макросов приведены в приложении 16.

Шаг 13 - заполняется лист «Доп.лист», который содержит точную копию матрицы «Группа факторов – Эксперты», взятую с листа «В.Л.», и матрицу расчета относительных значимостей факторов, которые рассчитываются по методике, приведенной выше.

Внешний вид листа представлен на рис. 6.

Шаг 12 – переходим к заполнению листа «Результаты», который содержит точную копию матрицы «Группы факторов – Эксперты», взятую с листа «В.Л.», с сохранением связи между ячейками через копирование матрицы в буфер обмена и вставку командой **Правка – Специальная вставка...** при установленном флажке **«Вставить связь»**.

Также на листе «Результаты» находится таблица, в которой организатор экспертизы впоследствии проставляет места групп факторов по Мо, Ме, Хер и итоговое место группы факторов.

На рис. 7 показан внешний вид листа «Результаты» после заполнения всех анкет экспертами и проставления мест групп факторов организатором экспертизы.

Аналогичным образом создаётся «Вопрос1» и для второго и последующих туров опроса.

Для создания файлов «Вопрос 2,3, ...» необходима небольшая модернизация программы «Вопрос1», заключающаяся в изменении количества факторов.

7. ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

7.1. Методика второго тура опроса

В качестве исходных данных группе экспертов были выданы результаты первого тура опроса. Экспертам, оценки которых наиболее сильно расходились с наиболее массовыми оценками (находились в крайних квартилях), было указано на данное расхождение и предложено более тщательно обдумать свои оценки.

В отличие от первого тура опроса, второй тур опроса проводился с использованием созданной автоматизированной системы сбора и обработки информации.

На основе полученной информации программа выдала результаты в виде матрицы «Факторы – Эксперты».

Многие эксперты изменили свои оценки, что привело к лучшей сходимости результатов.

7.2. Обработка результатов второго тура опроса

7.2.1. Обработка ответов экспертов на первую группу вопросов (1-3)

Анализ результатов проведем аналогично тому, как это делали в разделе 5.

Результаты второго тура опроса представлены в табл. 27 (X_1 – количество экспертов, ответивших утвердительно на 1 вопрос, X_2 – количество экспертов, ответивших утвердительно на 2 вопрос, V_{cp} – среднеарифметическое значение объема испытаний).

В качестве критерия отбора было также использовано предположение, что ответ истинный, если на него ответили утверждающе не менее 8 экспертов.

На основе полученных данных можно рекомендовать при разработке нового КТВ МСБ использовать следующие испытания (см. табл. 28).

Таблица 27. Результаты опроса по первой группе вопросов

№	Наименование	X ₁	X ₂	V _{ср}
1	Проверка внешнего вида	10	0	-
2	Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров	10	0	-
3	Проверка качества маркировки	0	0	-
4	Внутренний визуальный контроль	10	0	-
5	Проверка массы микросхемы	9	0	-
6	Испытание на воздействие растягивающей силы	9	0	-
7	Испытание гибких ленточных выводов на изгиб	1	0	-
8	Контроль прочности сварного соединения	9	0	-
9	Испытание соединения кристалл-подложка на сдвиг	1	0	-
10	Испытание на воздействие линейного ускорения	10	10	0,96
11	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	10	10	1,02
12	Испытания на чувствительность к разряду статического электричества	9	1	0,3
13	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	10	10	1,17
14	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	10	10	1,23
15	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	9	10	1
16	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	9	10	1,3
17	Испытания на воздействие плесневых грибов	10	9	1
18	Испытание на воздействие инея и росы	10	9	1
19	Испытание на воздействие соляного тумана	10	10	1,01
20	Испытание на воздействие акустического шума	9	9	1
21	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	10	10	1,25
22	Контроль содержания паров воды внутри корпуса	10	0	-
23	Испытания на способность к пайке	8	0	-
24	Испытания на теплостойкость к пайке	9	1	0,25

Таблица 28. Испытания, необходимые при разработке нового КТВ МСБ

№	Наименование	X ₁
1	Проверка внешнего вида	10
2	Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров	10
3	Внутренний визуальный контроль	10
4	Испытание на воздействие линейного ускорения	10
5	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	10
6	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	10
7	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	10
8	Испытания на воздействие плесневых грибов	10
9	Испытание на воздействие инея и росы	10
10	Испытание на воздействие соляного тумана	10
11	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	10
12	Контроль содержания паров воды внутри корпуса	10
13	Испытания на герметичность	10
14	Проверка электрических параметров	10
15	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания)	10
16	Испытания на безотказность	10
17	Проверка массы микросхемы	9
18	Испытание на воздействие растягивающей силы	9
19	Контроль прочности сварного соединения	9
20	Испытания на чувствительность к разряду статического электричества	9
21	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	9
22	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	9
23	Испытание на воздействие акустического шума	9
24	Испытания на теплостойкость к пайке	9
25	Проверка статических параметров при различных температурах окружающей среды	9
25	Испытания на долговечность	9
27	Испытания на сохраняемость	9
28	Испытания на способность к пайке	8

По результатам опроса можно говорить о целесообразности переноса следующей части испытаний МСБ на этап испытания всей аппаратуры (см. табл. 29). Объем испытаний в долях от обычного указан в колонке

$V_{ср}$.

Таблица 29. Испытания МСБ, которые целесообразно перенести на этап испытания аппаратуры и их объем

№	Наименование	X ₂	V _{ср}
1	Испытание на воздействие линейного ускорения	10	0,96
2	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	10	1,02
3	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	10	1,17
4	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	10	1,23
5	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	10	1
6	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	10	1,3
7	Испытание на воздействие соляного тумана	10	1,01
8	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	10	1,25
9	Функциональный контроль при различных температурах окружающей среды	10	0,99
10	Проверка срабатывания встроенной защиты по току при нормальных климатических условиях	10	1
11	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания)	10	1,09
12	Испытания на безотказность	10	1,1
13	Испытания на долговечность	10	1,15
14	Испытания на сохраняемость	10	1,1
15	Испытания на воздействие плесневых грибов	9	1
16	Испытание на воздействие инея и росы	9	1
17	Испытание на воздействие акустического шума	9	1

7.2.2. Обработка ответов экспертов на вторую группу вопросов

С помощью программы автоматизированного сбора и обработки информации вычисляем относительные значимости факторов. Критерием отбора также будем считать относительную значимость, которая должна быть не меньше 0,5 от максимальной.

На основе полученных оценок можно сделать следующие выводы:

1. По результатам ответов на 4-й вопрос признана достаточно высокая целесообразность введения ДНК на следующих операциях ТП производства толстоплечных МСБ (см. табл. 30).

Таблица 30. Операции ТП производства толстопленочных МСБ, на которых целесообразно введение ДНК

№	Операции ТП производства МСБ
1	Функциональный контроль и функциональная подгонка
2	Подгонка резисторов
3	Высокотемпературная обработка РП
4	Входной контроль паст
5	Корпусная герметизация

2. По результатам ответов на 5-й вопрос признана достаточно высокая целесообразность введения ДНК на следующих операциях ТП производства тонкопленочных МСБ (см. табл. 31).

Таблица 31. Операции ТП производства тонкопленочных МСБ, на которых целесообразно вводить ДНК

№	Операции ТП производства МСБ
1	Контроль функционирования и функциональная подгонка
2	Подгонка резисторов
3	Подгонка конденсаторов
4	Электротренировка конденсаторов

3. По результатам ответов на 6-й вопрос признана достаточно высокая целесообразность введения ДНК компонентов в следующих случаях (см. табл. 32).

Таблица 32. Назначение и области применения МСБ, когда целесообразно введение ДНК компонентов

№	Назначение и области применения МСБ
1	Космические РЭС для изделий с длительным сроком активного функционирования (САФ)
2	Системы управления КА и РН
3	Космические РЭС военного назначения
4	Военная аппаратура
5	Космические РЭС НХ назначения
6	Промышленная аппаратура специального назначения (управление АЭС и др.)
7	Научная аппаратура

4. По результатам ответов на 7-й вопрос признана достаточно высокая целесообразность введения ДНК паст в следующих случаях (см. табл. 33).

Таблица 33. Особенности поставок паст, производства, назначения и применения МСБ, при которых целесообразно введение ДНК паст

№	Особенности поставок паст, производства, назначения и применения МСБ
1	Космические РЭС для изделий с длительным сроком активного функционирования (САФ)
2	Системы управления КА и РН
3	Космические РЭС военного назначения
4	Военная аппаратура
5	Космические РЭС НХ назначения
6	Промышленная аппаратура специального назначения (управление АЭС и др.)

Как видно из сравнения результатов первого и второго туров опроса, список факторов и их приоритет практически не изменились при одновременно лучшей сходимости ответов экспертов.

7.2.3. Обработка ответов экспертов на третью группу вопросов

Были получены результаты опроса и произведен расчёт относительных значимостей и показателей распределения каждого фактора.

На основе полученных значений произведём ранжирование. Факторы с максимальной оценкой поставим на самое важное (первое) место.

Результаты ранжирования по обоим методам представлены в табл. 34 - 37.

Таблица 34. Ранги показателей качества для микросборок

№	Показатели качества	Место по Ме	Место по X_{cp}	Место по Мо	Место по показателям распределения	Место по относительным значимостям	Итоговое место по двум методам
1	Стабильность параметров во времени (слабая деградация)	1-2	1	1-2	1	1	1
2	Потребляемая мощность	5-7	5	5-6	5	5	5
3	Минимальная масса	5-7	6	5-6	6	6	6
4	Габариты	5-7	7	5-7	7	8	7-8
5	Надежность	1-2	2	1-2	2	2	2
6	Стоимость	8-9	8	8-9	8	8	8

Таблица 34. Окончание

7	Процент выхода годных	3	3	3	3	3	3
8	Эргономичность	10	10	10	10	10	10
9	Технологичность	4	4	4	4	4	4
10	Правовая защита	8-9	9	8-9	9	9	9

Таблица 35. Ранги факторов качества и надежности МСБ

№	Показатели качества	Место по Ме	Место по X_{cp}	Место по Мо	Место по показателям распределения	Место по относительным значениям	Итоговое место по двум методам
1	Стабильность ТП производства	1	1	1	1	1	1
2	Высокая культура труда	9	9	9-11	9	9	9
3	Технологическая дисциплина	6-7	7	6-7	7	7	7
4	Исполнительская дисциплина	12	12	12-13	12	12	12
5	Штрафные санкции погрешителя	14-17	14-15	14-18	14-15	14-15	14-15
6	Материальная заинтересованность предприятия	11	11	9-11	11	11	11
7	Материальная заинтересованность исполнителей	10	10	9-11	10	10	10
8	Моральная заинтересованность предприятия	14-17	16	14-18	16	16	16
9	Моральная заинтересованность исполнителей	14-17	17	14-18	17	17	17
10	Стабильность резистивных элементов	2	2	2	2	2	2
11	Стабильность емкостных компонентов	4	4	3-4	4	4	4
12	Стабильность компонентов	2	3	3-4	3	3	3

Таблица 35. Окончание

13	Точность изготовления резисторов	5	5	5	5	5	5
14	Точность изготовления конденсаторов	8	8	8	8	8	8
15	Точность изготовления проводников	13	13	12-13	13	13	13
16	Совершенство конструкции	18	18	14-18	18	18	18
17	Отработанность схемы	14-17	14-15	14-18	14-15	14-15	14-15
18	Совместимость паст и материалов	6-7	6	6-7	6	6	6

Таблица 36. Ранги операций ТП производства толстопленочных МСБ

№	Операции ТП производства толстопленочных МСБ	Место по Ме	Место по X _{ср}	Место по Мо	Место по показателям распределения	Место по относительным значениям	Итоговое место по двум методам
1	Изготовление трафаретов	20-28	23-25	18-28	23-25	23-25	23-25
2	Контроль качества трафаретов	30-33	30-32	30-31	30-32	30-33	30-32
3	Приготовление паст	17-19	19	16-17	19	18-19	19
4	Контроль подложек	30-33	33	29-33	33	30-33	33
5	Очистка подложек	12-14	13	12-15	13	13	13
6	Входной контроль паст	10-11	11	10-11	11	11	11
7	Высокотемпературная обработка подложек	29	29	29-33	29	29	29
8	Нанесение проводников нижнего уровня (НУ)	20-28	23-25	18-28	23-25	23-25	23-25
9	Предварительная термообработка проводников НУ	20-28	20	18-28	20	20	20
10	Высокотемпературная обработка проводников НУ	8-9	8	7-9	8	8	8
11	Нанесение конденсаторной пасты (КП)	30-33	30-32	29-33	30-32	30-33	30-32

Таблица 36. Продолжение

12	Предварительная термообработка КП	30-33	30-32	29-33	30-32	30-33	30-32
13	Высокотемпературная обработка КП	10-11	10	10-11	10	10	10
14	Нанесение проводников верхнего уровня (ВУ)	20-28	23-25	18-28	23-25	23-25	23-25
15	Предварительная термообработка проводников ВУ	12-14	14	12-15	14	14	14
16	Высокотемпературная обработка проводников ВУ	7	7	7-9	7	7	7
17	Нанесение резистивной пасты (РП)	17-19	17	18-28	17	17	17
18	Предварительная термообработка РП	17-19	18	18-28	18	18-19	18
19	Высокотемпературная обработка РП	3-5	3-4	3-4	3-4	3	3
20	Лужение проводниковых элементов	20-28	27-28	18-28	27-28	27-28	27-28
21	Лужение паст	20-28	22	18-28	22	22	22
22	Подгонка резисторов	1	1	1	1	1	1
23	Подгонка конденсаторов	3-5	3-4	3-4	3-4	4	4
24	Монтаж компонентов и их контактирование	12-14	12	12-15	12	12	12
25	Функциональный контроль и функциональная подгонка	6	6	5-6	6	6	6
26	Защита плат компаундом (лаком)	20-28	26	18-28	26	26	26
27	Корпусная герметизация	15-16	16	12-15	16	16	16
28	Нанесение изоляционной пасты (ИП)	20-28	27-28	18-28	27-28	27-28	27-28
29	Предварительная термообработка ИП	20-28	21	18-28	21	21	21
30	Высокотемпературная обработка ИП	15-16	15	16-17	15	15	15

Таблица 36. Окончание

31	Межоперационный контроль	8-9	9	7-9	9	9	9
32	Диагностический неразрушающий контроль (ДНК) на операциях	2	2	2	2	2	2
33	Финишный ДНК	3-5	5	5-6	5	5	5
34	Маркировка	34	34	34	34	34	34

Таблица 37. Ранги операций ТП производства тонкопленочных МСБ

№	Операции ТП производства тонкопленочных МСБ	Место по Ме	Место по Хсп	Место по Мо	Место по показателям распределения	Место по относительным значениям	Итоговое место по двум методам
1	Изготовление масок	21-27	23	18-27	23	22-23	23
2	Контроль качества масок	21-27	25-26	18-27	25-26	25-26	25-26
3	Изготовление испарителей	28	28	28-32	28	27-28	28
4	Контроль качества испарителей	29-32	32	28-32	32	32	32
5	Контроль подложек	19-20	18-20	18-27	19-20	18-20	19-20
6	Очистка подложек	4-8	7	3-8	7	7	7
7	Контроль напыляемых материалов	29-32	29	28-32	29	29	29
8	Обезгаживание напыляемых материалов	21-27	24	18-27	24	24	24
9	Напыление подслоя	21-27	25-26	18-27	25-26	25-26	25-26
10	Напыление резистивных слоев	4-8	8	3-8	8	8	8
11	Вакуумная термообработка резисторов	9-10	10	9-13	10	10	10
12	Напыление проводников и контактных площадок	21-27	21	18-27	21	21	21
13	Напыление проводников и нижних обкладок	11-18	11	14-17	11	11	11
14	Напыление диэлектрического слоя конденсаторов	4-8	5-6	3-8	5-6	6	6

Таблица 37. Продолжение

15	Напыление межслойной изоляции	11-18	13-14	9-13	13-14	13-14	13-14
16	Напыление проводников и верхних обкладок	9-10	9	9-13	9	9	9
17	Напыление защитного слоя контактных площадок	29-32	31	28-32	31	31	31
18	Термообработка конденсаторов в вакууме	21-27	22	18-27	22	22-23	22
19	Термообработка резисторов на воздухе	11-18	18-20	14-17	18	18-20	18
20	Электротренировка резисторов	11-18	12	14-17	12	12	12
21	Индивидуальная подгонка резисторов	1	1	1	1	1	1
22	Электротренировка конденсаторов	4-8	4	3-8	4	4	4
23	Индивидуальная подгонка конденсаторов	2	2	2	2	2	2
24	Монтаж компонентов	21-27	27	18-27	27	27-28	27
25	Контактирование компонентов (сварка, пайка и др.)	11-18	17	18-27	17	17	17
26	Монтаж платы в корпус	29-32	30	28-32	30	30	30
27	Контактирование (пайка, сварка и др.) выводов платы с выводами корпуса	19-20	18-20	18-27	19-20	18-20	19-20
28	Контроль функционирования	11-18	15-16	14-17	16	13-16	16
29	Функциональная подгонка	3	3	3-8	3	3	3
30	Защита элементов и компонентов лаком (компаундом)	11-18	15-16	9-13	15	13-16	15
31	Корпусная герметизация	11-18	13-14	9-13	13-14	13-16	13-14

Таблица 37. Окончание

32	Выходной контроль	4-8	5-6	3-8	5-6	5	5
33	Маркировка	33-34	33	33-34	33	33	33
34	Упаковка	33-34	34	33-34	34	34	34

Как видим, некоторые факторы изменили свой приоритет. Но так как во втором туре сходимость оценок экспертов намного выше, то результаты второго тура примем за искомые. Окончательное ранжирование факторов представлено в табл. 38-41.

Таблица 38. Важность показателей качества для микросборок

Место	Показатели качества	Место в первом туре
1	Стабильность параметров во времени (слабая деградация)	1
2	Надежность	2
3	Процент выхода годных	3
4	Технологичность	4
5	Потребляемая мощность	5
6	Минимальная масса	6
7	Габариты	7-8
8	Стоимость	7-8
9	Правовая защита	9
10	Эргономичность	10

Таблица 39. Факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество и надежность МСБ

Место	Факторы	Место в первом туре
1	Стабильность ТП производства	1
2	Стабильность резистивных элементов	2-3
3	Стабильность компонентов	2-3
4	Стабильность емкостных элементов	4
5	Точность изготовления резисторов	5
6	Совместимость паст и материалов	7
7	Технологическая дисциплина	6
8	Точность изготовления конденсаторов	8
9	Высокая культура труда	9
10	Материальная заинтересованность исполнителей	11
11	Материальная заинтересованность предприятия	12
12	Исполнительская дисциплина	10
13	Точность изготовления проводников	13
14-15	Отработанность схемы	14
14-15	Штрафные санкции потребителя	15
16	Моральная заинтересованность предприятия	16
17	Моральная заинтересованность исполнителей	17
18	Совершенство конструкции	18

Таблица 40. Операции ТП производства толсто пленочных МСБ, оказывающие наибольшее влияние на качество МСБ

Место	Операции ТП производства толсто пленочных МСБ	Место в первом туре
1	Подгонка резисторов	1
2	Диагностический неразрушающий контроль (ДНК) на операциях	2
3	Высокотемпературная обработка РП	3
4	Подгонка конденсаторов	4
5	Финишный ДНК	5
6	Функциональный контроль и функциональная подгонка	6
7	Высокотемпературная обработка проводников ВУ	7
8	Высокотемпературная обработка проводников НУ	8
9	Межоперационный контроль	9
10	Высокотемпературная обработка КП	10
11	Входной контроль паст	11
12	Монтаж компонентов и их контактирование	12
13	Очистка подложек	13
14	Предварительная термообработка проводников ВУ	15
15	Высокотемпературная обработка ИП	14
16	Корпусная герметизация	18
17	Нанесение резистивной пасты (РП)	16
18	Предварительная термообработка РП	17
19	Приготовление паст	19
20	Предварительная термообработка проводников НУ	23-25
21	Предварительная термообработка ИП	21
22	Лужение паст	23-25
23-25	Нанесение проводников верхнего уровня (ВУ)	23-25
23-25	Нанесение проводников нижнего уровня (НУ)	29
23-25	Изготовление трафаретов	26
26	Защита плат компаундом (лаком)	20
27-28	Лужение проводниковых элементов	27
27-28	Нанесение изоляционной пасты	28
29	Высокотемпературная обработка подложек	22
30-32	Нанесение конденсаторной пасты	30
30-32	Контроль качества трафаретов	32-33
30-32	Предварительная термообработка КП	32-33
33	Контроль подложек	31
34	Маркировка	34

Таблица 41. Операции ТП производства тонкопленочных МСБ, оказывающие наибольшее влияние на качество МСБ

Место	Операции ТП производства тонкопленочных МСБ	Место в первом туре
1	Индивидуальная подгонка резисторов	1
2	Индивидуальная подгонка конденсаторов	2
3	Функциональная подгонка	3
4	Электротренировка конденсаторов	8
5	Выходной контроль	6
6	Напыление диэлектрического слоя конденсаторов	4
7	Очистка подложек	7
8	Напыление резистивных слоев	5
9	Напыление проводников и верхних обкладок	9-10
10	Вакуумная термообработка резисторов	9-10
11	Напыление проводников и нижних обкладок	13
12	Электротренировка резисторов	11
13-14	Корпусная герметизация	12
13-14	Напыление межслойной изоляции	14
15	Защита элементов и компонентов лаком (компаундом)	17
16	Контроль функционирования	19
17	Контактирование компонентов (сварка, пайка и др.)	15
18	Термообработка резисторов на воздухе	18
19-20	Контактирование (пайка, сварка и др.) выводов платы с выводами корпуса	20
19-20	Контроль подложек	21
21	Напыление проводников и контактных площадок	22
22	Термообработка конденсаторов в вакууме	23
23	Изготовление масок	16
24	Обезжачивание напыляемых материалов	24
25-26	Напыление подслоя	25
25-26	Контроль качества масок	28-29
27	Монтаж компонентов	27
28	Изготовление испарителей	26
29	Контроль напыляемых материалов	28-29
30	Монтаж платы в корпус	30
31	Напыление защитного слоя контактных площадок	31
32	Контроль качества испарителей	32
33	Маркировка	33
34	Упаковка	34

7.3. Анализ согласованности экспериментальных данных

Были получены результаты и проведен расчет показателей распределения.

Воспользуемся положением о том, что критическое значение коэффициента вариации равно 33,3%. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что оценки большей группы факторов имеют допустимый разброс, что подтверждается и малым коэффициентом интерквартильной вариации.

Хотя некоторые факторы имеют коэффициент вариации больше допустимого предела, проведение третьего тура опроса нецелесообразно, т.к. эксперты пришли к согласию по большинству факторов, а немногочисленные отклонения не играют при этом существенной роли.

Вывод: по итогам второго тура опроса при определении места факторов результаты во многом совпали с результатами первого тура, но существенно улучшилась сходимость оценок. Сходимость результатов во втором туре значительно выше, чем в первом, нет необходимости в проведении третьего тура опроса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема принятия рациональных решений имеет универсальный характер, поскольку она возникает в любой сфере практической деятельности и составляет ее принципиальную сущность. В ходе развития производства растут, с одной стороны, требования к качеству решений при одновременном увеличении их сложности, а с другой - расширяются возможности использования научных методов для обоснования решений. Возрастающая сложность управления хозяйством, непрерывное увеличение затрат на осуществление хозяйственных программ вызывают необходимость все более тщательного анализа целей и задач хозяйственной деятельности, путей и средств их достижений. В этих условиях проблема выбора наиболее рациональных и эффективных (предпочтительных) решений становится одним из важнейших элементов управления производством.

Теория и практика количественного обоснования решений активно развиваются, и научные методы все шире используются на разных уровнях управления народным хозяйством. Однако на пути широкого практического применения научных методов принятия решений стоит еще немало трудностей. Эти трудности носят не только методический характер. Прежде всего они обусловлены сложностью перехода от содержательной к формализованной постановке задач. Именно поэтому все более важную роль здесь играют экспертные оценки, которые становятся одним из основных, а иногда и единственным методом анализа, подготовки и выбора сложных решений в самых различных сферах практической деятельности.

Область применения экспертных методов непрерывно меняется. В настоящее время можно указать на следующие технико-экономические задачи, решение которых показало полезность обращения к экспертным оценкам:

- 1) научно-техническое и экономическое прогнозирование;
- 2) выбор целей и тематики научных исследований;
- 3) перспективное и текущее планирование НИР;
- 4) оценка трудоемкости НИР и ОКР, а также трудоёмкости изделий в мелкосерийном и единичном производстве;
- 5) оценка результатов деятельности научно-исследовательских и проектных организаций и подразделений;
- 6) сбор наилучших вариантов сложных технических и социально-экономических проектов и программ;
- 7) анализ и утверждение проектов строительства новых объектов;
- 8) классификация однородных объектов по степени выраженности какого-либо свойства;

- 9) оценка качества продукции;
- 10) распределение ресурсов между программами исследований и разработок.

Экспертные методы непрерывно развиваются и совершенствуются. Основные направления этого развития определяются рядом факторов, в числе которых можно указать на стремление расширить области применения, повысить степень использования математических методов и электронно-вычислительной техники, а также изыскать пути устранения выявляющихся недостатков.

Особое значение представляет вопрос о точности и надежности рекомендаций, основанных на экспертных оценках, поскольку этим в конечном счете определяются их полезность и применимость. Следует критически относиться к излишне оптимистическим высказываниям о точности и надежности того или иного метода. Равным образом практика не подтверждает и негативного отношения к возможности использования вероятностных оценок экспертов в самых различных областях управления.

Многие исследователи отмечают, что точность экспертных оценок существенно зависит от содержания и формы вопросников, а также подбора экспертов. Кроме того, на точность получаемых результатов оказывают влияние область применения, метод группировки суждений и наличие статистических данных о качестве рекомендаций, полученных с помощью данного метода в прошлом.

Установлено, что сходимость оценок отдельных экспертов не всегда можно принимать за показатель точности опроса, поскольку субъективное понимание исследуемой проблемы не всегда соответствует ее реальной сущности. Отсутствие ясности в отношении причин согласованности оценок (как и причин их расхождения) нередко приводит к неправильным выводам и решениям, и в то же время подавление индивидуальности или попытки сблизить точки зрения путем явного или скрытого поощрения экспертов, суждения которых совпадают с мнением авторитетов или большинства, приводит к снижению достоверности результатов экспертизы.

Следует также подчеркнуть, что использование математических методов и ЭВМ само по себе не вносит коренных изменений в субъективный характер оценок, получаемых от экспертов. Вместе с тем упорядочение и анализ этих оценок позволяют обобщить суждения специалистов и выявить информацию, содержащуюся в них в скрытом виде. Поэтому, применяя экспертные методы при выборе наиболее предпочтительных альтернатив, надо использовать их как инструмент подготовки, а не как механизм принятия решений.

В заключение следует отметить, что несмотря на успехи, достигнутые в последние годы в разработке и практическом использовании экспертных методов, имеется ряд проблем и задач, требующих дальнейших

методологических исследований и практической проверки. Можно указать на необходимость совершенствования системы отбора экспертов, повышения надежности характеристик группового мнения, разработки методов проверки обоснованности оценок, исследования скрытых причин, снижающих достоверность экспертных оценок, и ряд других.

Однако уже и сегодня экспертные оценки в сочетании с другими математико-статистическими методами являются важным инструментом в процессе принятия решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматизация технологического оборудования и микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов по приборостр. спец./ А.А.Сазонов, Р.В. Корнилов, Н.П. Кохан и др.; Под ред. А.А. Сазонова. - М.: Высш.шк., 1991. - 334с.: ил.
2. Экспертные оценки в научно – техническом прогнозировании / Г.М. Добров, Ю.В. Ершов, Е.И. Левин и др. – Киев: Наукова думка, 1974.
3. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Статистика, 1980. - 263 с., ил. - (Матем. статистика для экономистов).
4. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. М., Наука: 1973.
5. Винтер П. Microsoft Excel 97: Справочник - СПб: Питер, 1998. - 320 с.: ил.
6. Пиганов М.Н. Оптимизация контроля качества микросборок на основе экспертных оценок // Сертификация и управление качеством: Матер. 2-й междунар. НТК 21-22.05.02. – Россия, Брянск, 2002. – С. 178-180.
7. Пиганов М.Н., Худяков А.Н. Методика экспертной оценки качества испытаний микросборок // Надёжность и качество: Труды междунар. симпоз. 21-31.05.01 – Россия, Пенза, 2001. С. 332-334.
8. Дэвид Г. Метод парных сравнений. М.: Статистика, 1978.
9. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. – М.: Наука, 1974.
10. Проектирование пользовательского интерфейса на персональных компьютерах. Стандарт фирмы IBM / Под ред. М.Дадашова, Вильнюс: DBS LTD., 1992.
11. Элизабет Бунин. Excel Visual Basic для приложений (серия "Без проблем!"): Пер. с англ. - М.: Восточная Книжная Компания, 1996. - 352 с.: ил.
12. Ермолаев Ю.П., Сайткулов В.Г., Харитонов М.В., Гафуров Ю.Р. Многокритериальная оптимизация технических решений электронной аппаратуры с ограничениями на показатели качества и с применением экспертных оценок: Науч. практ. сб. «Электронное приборостроение». Выпуск 1 (13). Казань: КГТУ (КАИ), 2000. – С. 6-43.
13. Ермолаев Ю.П., Сайткулов В.Г., Харитонов М.В., Гафуров Ю.Р., Овечкин Р.М. Повышение достоверности экспертных оценок значимости показателей качества электронной аппаратуры: Науч. практ. сб. «Электронное приборостроение». Выпуск 1 (13). Казань: КГТУ (КАИ), 2000. – С. 65-81.

14. Пиганов М.Н. Технологические основы обеспечения качества микросборок: Учеб. пособ. – Самара: СГАУ. – 1999. – 231 с.
15. Кабанов Д.А., Коротков Ю.Я. Статистический эксперимент при анализе точности РЭА: Учеб. пособ. – Горький: ГПИ. – 1984.–66 с.
16. Управление качеством электронных средств: Учеб. для вузов/ О.П.Глудкин, А.И.Гуров, А.И.Коробов и др.; Под ред. О.П.Глудкина. – М.: Высш. шк. – 1994. – 414 с.
17. Всеобщее управление качеством: Учеб. для вузов/ О.П.Глудкин, Н.М.Горбунов, А.И.Гуров, Ю.В.Зорин; Под ред. О.П.Глудкина. – М.: Радио и связь. – 1999. – 600 с.

КАРТОЧКА С ОПИСАНИЕМ ПРОБЛЕМЫ ДЛЯ ЭКСПЕРТОВ

Цель и методика эксперимента

При разработке микросборок используется большая номенклатура испытаний, которые обуславливают должный контроль качества продукции и позволяют своевременно выявить брак, отклонения в технологическом процессе и другие негативные факторы, влияющие на качество изделия. Однако проведение полного комплекса испытаний связано с большими затратами времени и финансов и не всегда оправдывает себя в полной мере. Следовательно, встанёт вопрос о выборе наиболее важных испытаний.

В условиях вертикальной интеграции некоторые из этих испытаний МСБ можно перенести на этап испытания аппаратуры. При этом надо учитывать, что объем испытаний (объем выборки, время испытаний, режимы) изменится.

Особенно актуальна эта проблема при производстве ИМС спецназначения (бортовая аппаратура летательных аппаратов), когда от правильного выбора контрольных операций зависит работоспособность дорогих изделий и комплексов, а иногда и жизнь людей.

Все более значительное место на этапах изготовления ЭРИ и входном контроле предприятий-изготовителей РЭС занимают методы диагностического неразрушающего контроля (ДНК). Возрастание объема ДНК и уровня требований к его эффективности обусловили необходимость проведения работ по исследованию возможности его применения при разработке ЭРИ.

На качество МСБ влияют множество разнообразных факторов. Перед разработчиком ЭРИ встает вопрос определения степени влияния этих факторов и определения наиболее важных показателей качества, на которые необходимо обратить максимальное внимание при разработке нового КТВ МСБ.

При поиске ответов на поставленные вопросы на помощь приходят методы экспертных оценок.

Оценка производится следующим образом:

1. В приложениях 1 и 2 эксперт отмечает цифрой «1» те испытания, которые на его взгляд соответствуют поставленному вопросу и цифрой «0» - которые не соответствуют.

2. В приложении 3 эксперт оценивает объем тех испытаний, которые, по его мнению, необходимо перенести на этап испытания аппаратуры в долях от обычного.

3. В приложениях 4-11 эксперт проставляет оценки согласно заданным вопросам, причем максимальной оценкой является «100», а минимальной «0». Остальные оценки могут быть любыми целыми положительными числами.

Указанные приложения в данном пособии не приведены.

Во втором туре опроса эксперту предлагается скорректировать свои оценки в соответствии с мнением группы в случае, если он не полностью уверен в своем ответе.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

АНКЕТА ЭКСПЕРТА

1) Фамилия, имя, отчество

2) Место работы

3) Должность

4) Учёное звание

5) Контактный телефон

Дата « ____ » « _____ » 200_ г.

Подпись

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ВНЕШНИЙ ВИД КАРТОЧКИ №1

Карточка №1

Даны 6 групп факторов, влияющих на качество ИМС спецназначения. Необходимо оценить степень значимости этих групп факторов по 100 - балльной шкале.

1. Проверка по внешнему виду.
2. Испытание на воздействие механических сил.
3. Испытания на климатические воздействия.
4. Проверка качества изготовления.
5. Проверка электрических параметров.
6. Испытания на надёжность.

Таблица для проставления оценок

Группа факторов	1	2	3	4	5	6
Оценка						

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ВНЕШНИЙ ВИД КАРТОЧКИ №2

Карточка №2

Даны факторы внутри каждой группы. Необходимо оценить их по методике, описанной выше.

1 группа.

1. Проверка внешнего вида.
2. Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров.

3. Проверка качества маркировки.
4. Внутренний визуальный контроль.
5. Проверка массы микросхемы.

Фактор	1	2	3	4	5
Оценка					

2 группа.

1. Испытание на воздействие растягивающей силы.
2. Испытание гибких ленточных выводов на изгиб.
3. Контроль прочности сварного соединения.
4. Испытание соединения кристалл-подложка на сдвиг.
5. Испытание на воздействие линейного ускорения.
6. Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания).

Фактор	1	2	3	4	5	6
Оценка						

3 группа.

1. Испытания на чувствительность к разряду статического электричества.
2. Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок.
3. Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха.
4. Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления.
5. Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления.
6. Испытания на воздействие плесневых грибов.
7. Испытание на воздействие инея и росы.
8. Испытание на воздействие соляного тумана.
9. Испытание на воздействие акустического шума.
10. Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов.

Фактор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оценка										

4 группа.

1. Контроль содержания паров воды внутри корпуса.
2. Испытания на способность к пайке.
3. Испытания на теплостойкость к пайке.
4. Испытания на герметичность.
5. Испытание на способность вызывать горение.

Фактор	1	2	3	4	5
Оценка					

5 группа.

1. Проверка статических параметров при различных температурах окружающей среды.
2. Функциональный контроль при различных температурах окружающей среды.
3. Проверка электрических параметров.
4. Проверка срабатывания встроенной защиты по току при нормальных климатических условиях.
5. Проверка температурного коэффициента напряжения.
6. Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания).

Фактор	1	2	3	4	5	6
Оценка						

6 группа.

1. Испытания на безотказность.
2. Испытания на долговечность.
3. Испытания на сохраняемость.

Фактор	1	2	3
Оценка			

Ф.И.О. эксперта _____

ПРИЛОЖЕНИЕ № 5

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ	X ₁ ср	X _л
1	Проверка внешнего вида	0,9	
2	Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров	0,9	
3	Проверка качества маркировки	0	
4	Внутренний визуальный контроль	1	
5	Проверка массы микросхемы	0,8	
6	Испытание на воздействие растягивающей силы	0,9	
7	Испытание гибких ленточных выводов на изгиб	0,2	
8	Контроль прочности сварного соединения	0,9	
9	Испытание соединения кристалл-подложка на сдвиг	0,2	
10	Испытание на воздействие линейного ускорения	1	
11	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	1	
12	Испытания на чувствительность к разряду статического электричества	0,9	
13	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	1	
14	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	1	
15	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	0,8	
16	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	0,7	
17	Испытания на воздействие плесневых грибков	0,8	
18	Испытание на воздействие инея и росы	0,9	
19	Испытание на воздействие соляного тумана	0,9	
20	Испытание на воздействие акустического шума	0,8	
21	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	0,9	
22	Контроль содержания паров воды внутри корпуса	1	
23	Испытания на способность к пайке	0,8	
24	Испытания на теплостойкость к пайке	0,7	
25	Испытания на герметичность	0,9	
26	Испытание на способность вызывать горение	0	
27	Проверка статических параметров при различных температурах окружающей среды	0,9	
28	Функциональный контроль при различных температурах окружающей среды	0,4	
29	Проверка электрических параметров	1	
30	Проверка срабатывания встроенной защиты по току при нормальных климатических условиях	0,5	
31	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания)	1	
32	Испытания на безотказность	1	
33	Испытания на долговечность	0,8	
34	Испытания на сохраняемость	0,8	

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ	X _{1 ср}	X _{II}
35	Проверка внешнего вида	0,1	
36	Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров	0,1	
37	Проверка качества маркировки	0,1	
38	Внутренний визуальный контроль	0,2	
39	Проверка массы микросхемы	0,1	
40	Испытание на воздействие растягивающей силы	0	
41	Испытание гибких ленточных выводов на изгиб	0	
42	Контроль прочности сварного соединения	0	
43	Испытание соединения кристалл-подложка на сдвиг	0	
44	Испытание на воздействие линейного ускорения.	0,9	
45	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	1	
46	Испытания на чувствительность к разряду статического электричества	0,1	
47	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	0,8	
48	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	0,9	
49	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	1	
50	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	0,9	
51	Испытания на воздействие плесневых грибов	0,8	
52	Испытание на воздействие инея и росы	0,9	
53	Испытание на воздействие сояного тумана	0,9	
54	Испытание на воздействие акустического шума	0,9	
55	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	1	
56	Контроль содержания паров воды внутри корпуса	0	
57	Испытания на способность к пайке	0	
58	Испытания на термостойкость к пайке	0,1	
59	Испытания на герметичность	0,6	
60	Испытание на способность вызывать горение	0,3	
61	Проверка статических параметров при различных температурах окружающей среды	0,2	
62	Функциональный контроль при различных температурах окружающей среды	0,9	
63	Проверка электрических параметров	0	
64	Проверка срабатывания встроенной защиты по току при нормальных климатических условиях	0,8	
65	Проверка температурного коэффициента напряжения	0	
66	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания)	1	
67	Испытания на безотказность	0,9	
68	Испытания на долговечность	1	
69	Испытания на сохраняемость	1	

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ	X _{1cp}	X _н
70	Проверка внешнего вида	0,1	
71	Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров	0,1	
72	Проверка качества маркировки	0,03	
73	Внутренний визуальный контроль	0,13	
74	Проверка массы микросхемы	0,1	
75	Испытание на воздействие растягивающей силы	0	
76	Испытание гибких ленточных выводов на изгиб	0	
77	Контроль прочности сварного соединения	0	
78	Испытание соединения кристалл-подложка на сдвиг	0	
79	Испытание на воздействие линейного ускорения	0,88	
80	Определение запасов устойчивости к воздействию механических нагрузок (граничные испытания)	0,96	
81	Испытания на чувствительность к разряду статического электричества	0,14	
82	Определение запасов устойчивости к воздействию тепловых нагрузок	1	
83	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	1,12	
84	Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	0,94	
85	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	1,02	
86	Испытания на воздействие плесневых грибов	0,79	
87	Испытание на воздействие инея и росы	0,92	
88	Испытание на воздействие соляного тумана	0,86	
89	Испытание на воздействие акустического шума	0,84	
90	Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	1,04	
91	Контроль содержания паров воды внутри корпуса	0	
92	Испытания на способность к пайке	0	
93	Испытания на теплостойкость к пайке	0,1	
94	Испытания на герметичность	0,72	
95	Испытание на способность вызывать горение	0,3	
96	Проверка статических параметров при различных температурах окружающей среды	0,22	
97	Функциональный контроль при различных температурах окружающей среды	0,91	
98	Проверка электрических параметров	0	
99	Проверка срабатывания встроенной защиты по току при нормальных климатических условиях	0,8	
100	Проверка температурного коэффициента напряжения	0	
101	Определение запасов устойчивости к воздействию электрических нагрузок (граничные испытания)	1,07	
102	Испытания на безотказность	0,99	
103	Испытания на долговечность	1,11	
104	Испытания на сохраняемость	1,08	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 8

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	Перечень основных операций ТП производства толсто пленочных НЧ МСБ	X _{1 ср}	X _{II}
105	Контроль подложек	16,5	
106	Очистка подложек	18,5	
107	Входной контроль паст	48	
108	Высокотемпературная обработка подложек	2	
109	Нанесение проводников нижнего уровня (НУ)	1,5	
110	Предварительная термообработка проводников НУ	0	
111	Высокотемпературная обработка проводников НУ	0,5	
112	Нанесение конденсаторной пасты (КП)	5,6	
113	Предварительная термообработка КП	0,1	
114	Высокотемпературная обработка КП	11,6	
115	Высокотемпературная обработка КП	11,6	
116	Нанесение проводников верхнего уровня (ВУ)	0	
117	Предварительная термообработка проводников ВУ	0	
118	Высокотемпературная обработка проводников ВУ	4	
119	Нанесение резистивной пасты (РП)	1,5	
120	Предварительная термообработка РП	0,5	
121	Высокотемпературная обработка РП	76	
122	Лужение проводниковых элементов	9,5	
123	Лужение паст	21	
124	Подгонка резисторов	75	
125	Подгонка конденсаторов	46	
126	Монтаж компонентов и их контактирование	2	
127	Функциональный контроль и функциональная подгонка	96	
128	Защита плат компаундом (лаком)	16,2	
129	Корпусная герметизация	52,5	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 9

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	Перечень основных операций ТП производства тонко пленочных НЧ МСБ	X _{1 ср}	X _{II}
130	Контроль подложек	29,5	
131	Очистка подложек	31,5	

Приложение № 9. Окончание

132	Контроль напыляемых материалов	3,5	
133	Обезгаживание напыляемых материалов	1	
134	Напыление и формирование рисунка резисторов	37,5	
135	Напыление и формирование рисунка конденсаторов	37	
136	Термообработка резисторов	31	
137	Электротренировка резисторов	26,5	
138	Подгонка резисторов	70,5	
139	Герметизация (защита) резисторов герметиком (лаком)	25,8	
140	Корпусная герметизация	28,5	
141	Термообработка конденсаторов	28	
142	Электротренировка конденсаторов	42	
143	Подгонка конденсаторов	66	
144	Герметизация (защита) конденсаторов герметиком (лаком)	18,5	
145	Монтаж и контактирование компонентов	1,5	
146	Контроль функционирования и функциональная подгонка	97	
147	Формирование межслойной изоляции	7,5	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 10

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	Назначение и области применения МСБ	X _{1 ср}	X _{II}
148	Бытовая аппаратура	16	
149	Персональная аппаратура	16	
150	Аппаратура народнохозяйственного (НХ) назначения	21,5	
151	Промышленная аппаратура общего назначения	26	
152	Промышленная аппаратура специального назначения (управление АЭС и др.)	77	
153	Научная аппаратура	48	
154	Военная аппаратура	84,5	
155	Космические РЭС НХ назначения	79,5	
156	Космические РЭС военного назначения	90,5	
157	Системы управления КА и РН	98	
158	Космические РЭС для изделий с длительным сроком активного функционирования (САФ)	100	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 11

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	Особенности поставок паст, производства, назначения и применения МСБ	X _{1 ср}	X _ц
159	Разные поставщики паст	32	
160	Этап отработки нового КТВ МСБ	44,5	
161	“Отрицательная” статистика отказов при испытаниях МСБ или аппаратуры	18,5	
162	Наличие отказов при эксплуатации МСБ (МЭА)	21,5	
163	Бытовая аппаратура	6	
164	Персональная аппаратура	7	
165	Аппаратура народнохозяйственного (НХ) назначения	15	
166	Промышленная аппаратура общего назначения	16,5	
167	Промышленная аппаратура специального назначения (управление АЭС и др.)	65	
168	Научная аппаратура	41,5	
169	Военная аппаратура	78	
170	Космические РЭС НХ назначения	77	
171	Космические РЭС военного назначения	86,5	
172	Системы управления КА и РН	98	
173	Космические РЭС для изделий с длительным сроком активного функционирования (САФ)	100	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 12

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	Основные показатели качества МСБ	X _{1 ср}	X _ц
174	Стабильность параметров во времени (слабая деградация)	97	
175	Потребляемая мощность	15,5	
176	Минимальная масса	13	
177	Габариты	11,5	
178	Надежность	92	
179	Стоимость	12,5	
180	Процент выхода годных	36,5	
181	Эргономичность	2,5	
182	Технологичность	20,5	
183	Правовая защита	4,5	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 13

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	Предполагаемые факторы качества и надежности МСБ	X _{I ср}	X _{II}
184	Стабильность ТП производства	98	
185	Высокая культура труда	45	
186	Технологическая дисциплина	64	
187	Исполнительская дисциплина	34,5	
188	Штрафные санкции потребителя	15	
189	Материальная заинтересованность предприятия	21,5	
190	Материальная заинтересованность исполнителей	27	
191	Моральная заинтересованность предприятия	12,5	
192	Моральная заинтересованность исполнителей	10,5	
193	Стабильность резистивных элементов	82,5	
194	Стабильность емкостных компонентов	74,5	
195	Стабильность компонентов	82	
196	Точность изготовления резисторов	65,5	
197	Точность изготовления конденсаторов	52	
198	Точность изготовления проводников	19	
199	Совершенство конструкции	10	
200	Отработанность схемы	15	
201	Совместимость паст и материалов	58,5	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 14

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	Операции ТП производства толсто пленочных МСБ	X _{I ср}	X _{II}
202	Изготовление трафаретов	10	
203	Контроль качества трафаретов	7,5	
204	Приготовление паст	18	
205	Контроль подложек	8,5	
206	Очистка подложек	20	
207	Входной контроль паст	26	

Приложение № 14. Окончание

208	Высокотемпературная обработка подложек	16	
209	Нанесение проводников нижнего уровня (НУ)	10,5	
210	Предварительная термообработка проводников НУ	11,5	
211	Высокотемпературная обработка проводников НУ	39,5	
212	Нанесение конденсаторной пасты (КП)	9	
213	Предварительная термообработка КП	7,5	
214	Высокотемпературная обработка КП	35,5	
215	Нанесение проводников верхнего уровня (ВУ)	11,5	
216	Предварительная термообработка проводников ВУ	18,5	
217	Высокотемпературная обработка проводников ВУ	46,5	
218	Нанесение резистивной пасты (РП)	22,5	
219	Предварительная термообработка РП	18	
220	Высокотемпературная обработка РП	66	
221	Лужение проводниковых элементов	9	
222	Лужение паст	11,5	
223	Подгонка резисторов	80,5	
224	Подгонка конденсаторов	63,5	
225	Монтаж компонентов и их контактирование	20	
226	Функциональный контроль и функциональная подгонка	54	
227	Защита плат компаундом (лаком)	15	
228	Корпусная герметизация	21,5	
229	Нанесение изоляционной пасты (ИП)	9,5	
230	Предварительная термообработка ИП	12,5	
231	Высокотемпературная обработка ИП	20	
232	Межоперационный контроль	39	
233	Диагностический неразрушающий контроль (ДНК) на операциях	66,5	
234	Финишный ДНК	58	
235	Маркировка	3	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 15

ВТОРОЙ ТУР ОПРОСА

№	Операции ТП производства тонкопленочных МСБ	XI ср	XII
236	Изготовление масок	18	
237	Контроль качества масок	11,5	
238	Изготовление испарителей	12	
239	Контроль качества испарителей	9,5	
240	Контроль подложек	19,5	
241	Очистка подложек	34,5	
242	Контроль напыляемых материалов	11,5	
243	Обезгаживание напыляемых материалов	13	
244	Напыление подслоя	12,5	
245	Напыление резистивных слоев	35	
246	Вакуумная термообработка резисторов	22,5	
247	Напыление проводников и контактных площадок	16	
248	Напыление проводников и нижних обкладок (м.б. совмещена с п.10)	17,5	
249	Напыление диэлектрического слоя конденсаторов	36,5	
250	Напыление межслойной изоляции (м.б. совмещена с п.14)	17,5	
251	Напыление проводников и верхних обкладок	22,5	
252	Напыление защитного слоя контактных площадок	10	
253	Термообработка конденсаторов в вакууме	14	
254	Термообработка резисторов на воздухе	16,5	
255	Электротренировка резисторов	19	
256	Индивидуальная подгонка резисторов	58,5	
257	Электротренировка конденсаторов	30	
258	Индивидуальная подгонка конденсаторов	47	
259	Монтаж компонентов	11,5	
260	Контактирование компонентов (сварка, пайка и др.)	18	
261	Монтаж платы в корпус	10,5	
262	Контактирование (пайка, сварка и др.) выводов платы с выводами корпуса	18,5	
263	Контроль функционирования	16	
264	Функциональная подгонка	35	
265	Защита элементов и компонентов лаком (компаундом)	17,5	
266	Корпусная герметизация	18	
267	Выходной контроль	31,5	
26	Маркировка	1,5	
269	Упаковка	1	

ТЕКСТЫ МАКРОСОВ

Sub Добавить_анкету()

Добавить_анкету Макрос
Макрос записан 25.01.02 (Зайцев В.Ю.)

Sheets("Анкета №1").Select
Sheets("Анкета №1").Copy After:=Sheets(2)
Sheets("В.Л").Select

End Sub

Sub Показать_результат()

Показать_результат Макрос
Макрос записан 25.01.02 (Зайцев В.Ю.)

Sheets("Результаты").Visible = True
Sheets("Результаты").Select
Range("A1:G1").Select

End Sub

Sub Скрыть_результат()

Скрыть_результат Макрос
Макрос записан 25.01.02 (Зайцев В.Ю.)

Sheets("Результаты").Select
ActiveWindow.SelectedSheets.Visible = False
Sheets("В.Л").Select

End Sub

Учебное издание

Пиганов Михаил Николаевич
Подлинов Геннадий Алексеевич

**ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие

Редактор Л. Я. Чегодасва
Техн. редактор Г.Н. Князева
Компьютерная вёрстка П.А. Денисенко, А.А. Дождиков

Подписано в печать 20.12.2004.

Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 7,4 Усл. кр. отт. 7,48 Уч. – изд. л. 7,625.

Тираж 500 экз. Заказ № 68.

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Самарский государственный
аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва»
443086 Самара, Московское шоссе, 34

ИПО Государственного образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Самарский государственный
аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва»
443086 Самара, Московское шоссе, 34