

М.В. Силуянова, В.В. Курицына

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет));

e-mail: dc2mati@yandex.ru)

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА В МНОГОВАРИАНТНЫХ ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ НАУКОЁМКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Представлена методика автоматизации процедур экспертного оценивания при выполнении технологического аудита производственных подразделений наукоёмкой отрасли. Предложен программно-информационный комплекс обработки результатов научно-технической экспертизы. Материал может быть полезен при решении проблем техносферной безопасности.

Ключевые слова: программно-информационный комплекс, экспертная оценка, принятие решений, технологический менеджмент, точность оценки.

M. V. Siluyanova, V. V. Kuritsyna

INSTRUMENTAL MEANS OF TECHNOLOGY AUDIT IN MULTIVARIATE PROBLEMS OF HIGH-TECH INDUSTRIES

The technique of automation of procedures expert assessment is presented at performance of technological audit of industrial divisions of the high technology branch. The program complex of processing of results of scientific and technical examination is offered. The material can be helpful in solving the problems of technosphere safety.

Key words: program complex, expert assessment, decision making, technology management, estimation accuracy.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 5 января 2016 г.

1. Введение

На стадиях жизненного цикла сложной наукоёмкой продукции специального машиностроения, включающих разработку, производство, эксплуатацию, часто необходимо принимать решения в условиях недостаточной информации, при неясных алгоритмах решения проблемы, в условиях риска.

Сложные технические и технологические системы обладают огромным количеством как тактико-технических параметров, так и параметров, отражающих совершенство технологий изготовления, экономические аспекты производства, эксплуатации. При этом оценка многих параметров носит субъективный характер (например, в части эргономики). Рассматривая варианты технических решений, часто можно наблюдать наличие противоположных оценок по различным параметрам (например, один вариант – "прочный, но тяжёлый", другой вариант – "лёгкий, но менее прочный", какой вариант лучше?). Наиболее распространён конфликт между тактико-техническими и экономическими параметрами, так называемое соотношение "цена-качество". Соотношение между высокими технологиями и себестоимостью в производстве наукоёмкой продукции также является предметом неоднозначной трактовки с разных точек зрения.

Тем не менее, в таких условиях необходимо принимать научно-обоснованные решения, от которых зависят не только тактические моменты, но и стратегия развития предприятий, отрасли. Вопросы безопасности и экологии, связанные с наукоёмкими техническими и технологическими системами, приобретают особую актуальность.

Чем сложнее и масштабнее технологическое мероприятие, чем больше вкладывается в него материальных средств, чем шире спектр его возможных последствий, тем менее допустимы авторитарные решения. Большое значение получает совокупность научных методов, позволяющих адекватно оценить перспективность каждого решения, заранее отбросить недопустимые варианты и рекомендовать те, которые представляются наиболее удачными.

2. Технологическая экспертиза в принятии производственных решений

Многообразие целей и задач, стоящих перед технологическим менеджментом производственной организации, сложность проблем, динамичные и нечёткие условия требуют регулярного принятия различных управленческих решений в таких областях как:

- конструкторско-технологическая доводка изделий производства;
- внедрение новых технологических процессов в производство;
- приобретение сторонних технологий;
- коммерческая реализация собственных технологий;
- модернизация технологического оснащения;
- поиск причин брака продукции или нестабильности технологических систем;
- выбор направления технологических инвестиций и многие другие.

Принятие технологических решений в такой области, как авиа- и ракетостроение, имеет ряд особенностей:

- преобладание в предметной области описательных форм представления знаний над аналитическими зависимостями, большая роль эмпирики;
- сложная логика суждений, сложные взаимосвязи, большая размерность задач (количество учитываемых факторов и альтернатив);
- наличие скрытых объективных законов;
- мощные информационные потоки, раскрывающие сущность технологии (характеристики оборудования, инструментов, материалов, режимов...);
- итеративный характер процесса принятия решения (последовательное приближение к наиболее приемлемому в данных условиях варианту).

Технологический аудит служит основой для разработки конструкторско-технологических мероприятий и соответствующей документации, направляемых для исполнения и внедрения в производство [1, 2].

Экспертные методы следует рассматривать как один из возможных подходов к всестороннему изучению сложных проблем, в которых окончательное решение не явно. Экспертный метод оценки эффективности технологических решений в производстве сложной техники рационально используется в тех слу-

чаях, когда затруднительно применить методы объективного определения значений единичных или комплексных показателей качества такими методами, как инструментальный эмпирический или расчётный. Экспертные методы оценки могут использоваться при формировании как стратегических направлений технологического развития предприятия или подразделения, так и при решении многих частных тактических вопросов, связанных с определением показателей эффективности, рациональности, коммерческой привлекательности интеллектуального технологического продукта.

В условиях ограниченного ресурса времени и средств на принятие технологических решений эффективным средством является применение автоматизированных систем сопровождения принятия технических решений, основанных на алгоритмах многомерной и многокритериальной оптимизации, математической статистики, обработки экспертных мнений специалистов.

Для реализации метода экспертного оценивания технологических решений было разработано программное обеспечение, позволяющее оперативно произвести сбор и обработку экспертных мнений в области инновационных технологий сложного формообразования деталей и конструкций. Компонентами такой автоматизированной системы являются следующие подсистемы, отражающие этапы проведения научно-технической экспертизы (рис. 1): постановки задачи, организации экспертизы, экспертного оценивания, генерации отчёта. Блок-схема алгоритма функционирования программного комплекса (рис. 2) отражает взаимосвязи отдельных модулей системы и процесс итерационного приближения к качественным результатам научно-технической экспертизы, то есть с достаточными показателями точности, достоверности и согласованности.



Рис. 1. Структура автоматизированной системы технологической экспертизы



Рис. 2. Блок-схема алгоритма экспертной оценки при коллективной экспертизе

3. Подсистемы постановки задач и организации технологической экспертизы

Главное условие необходимости принятия решения – это наличие альтернатив в количестве, превышающем желаемое для дальнейшего функционирования системы. Это может быть единственное предпочтительное решение из нескольких, но также может быть несколько предпочтительных из большего количества альтернатив и даже такой случай, когда надо принять все альтернативы, кроме единственного – самого неблагоприятного. Принятие решения – действие над множеством альтернатив, в результате которого получается подмножество выбранных альтернатив. Сужение множества альтернатив возможно, если имеется способ сравнения альтернатив между собой и определения наиболее предпочтительных. При таком описании выбора предполагаются следующие аспекты формулирования технического задания на проведение экспертизы:

1. Порождение множества альтернатив, на котором предстоит осуществлять выбора.
2. Определение целей, ради достижения которых производится выбор.
3. Постановка точки зрения на объект оценки.
4. Установка требований по качеству экспертизы.

Апробация автоматизированной системы обработки экспертных оценок при принятии технологических решений осуществлялась на примере технологической экспертизы производственной целесообразности метода сварки типовых элементов авиакосмических конструкций. Оценивалась производственная целесообразность метода *сварки трением с перемешиванием* в качестве техно-

логии соединения компонентов конструкции изделий авиакосмической техники. Сравнительному анализу подвергались альтернативные методы сварки. В общей сложности оценке подвергались 5 технологических альтернатив (объектов), характеризующиеся различными технологическими, эксплуатационными и экономическими характеристиками: вариант 1 – сварка трением с перемешиванием, вариант 2 – электродуговая сварка, вариант 3 – электронно-лучевая сварка, вариант 4 – лазерная сварка, вариант 5 – газовая сварка. Таким образом, установлено пространство технологических альтернатив (вариант 1, вариант 2, ..., вариант m , где $m = 1 \dots M$, M – количество альтернатив, $M = 5$). Альтернативные технологические методы обладают как достоинствами, так и недостатками. Поэтому не всегда очевидно, какой метод оптимален в применении в конкретном технологическом процессе соединения различных конструкций из различных материалов. Сравнение сварки перемешиванием с другими процессами осуществляется в контексте целесообразности использования данного процесса в условиях авиационного производства. Успешное применение метода зависит от чёткого понимания характеристик процесса, поэтому для каждого случая необходимо разрабатывать свои критерии технической и экономической целесообразности внедрения процесса. При анализе технологических возможностей методов рассматривался физический принцип формирования соединения, область применения, эксплуатационные характеристики сварного шва. Также внимание уделялось выявлению специфических достоинств и недостатков метода.

При формировании экспертной группы для принятия инновационных решений в целях всестороннего анализа наукоёмких объектов и процессов привлекались представители сфер академической науки, производства, образования. С целью повышения достоверности, точности, надёжности и воспроизводимости экспертных оценок экспертизу осуществляют путём принятия группового решения компетентными лицами. Число экспертов, входящих в группу, зависит от требуемой точности средних оценок и, как правило, составляет от пяти до двадцати человек. Для обобщения оценок необходимо собрать ответы всех экспертов и провести средневзвешенную оценку с учётом коэффициентов значимости мнений экспертов.

4. Подсистема экспертного оценивания в задачах многокритериальной оценки

В практике проведения экспертного анализа, как правило, возникают задачи многокритериальной оценки объектов экспертизы. Производится оценка объектов экспертизы по каждому из частных критериев (факторов, показателей и т.д.), а затем полученные экспертные оценки, высказанные, как правило, в количественной форме, интегрируются с учётом весовых коэффициентов, отражающих сравнительную важность частных критериев.

Критерий оценки при выборе решения – это параметр объекта, отражающий тот из наиболее существенных признаков желаемого решения или ту совокупность признаков, по которым отдельное решение можно выделить среди множества альтернативных. Массив критериев оценки – это подмножество полного массива параметров технической (технологической) системы, выбранное в соответствии с целью производимой оценки.

При формировании массива критериев в подсистеме организации экспертизы учитываются группы: 1) функциональные показатели качества объекта; 2) технологические показатели процесса; 3) экономические и эргономические показатели.

Принимая во внимание цели и задачи технологической экспертизы, можно отметить, что весомость оценки технологических объектов по различным критериям не одинакова. Как правило, главное условие для разрабатываемых технологий – обеспечение максимальной экономической эффективности. В области военной и техносферной безопасности нередко важность экономических критериев уходит на второй план, выдвигая вперёд тактико-технические показатели, скорость и надёжность.

Каждым экспертом устанавливается весовая оценка значимости критериев в баллах, с автоматическим преобразованием в относительный вид в долях единицы. Весовой коэффициент отражает значимость (важность) критерия для установленной цели экспертизы (точки зрения). Для разных точек зрения на оцениваемый объект (для разных целей экспертизы) значимость критериев может существенно меняться. Подсистема позволяет верифицировать субъективное мнение эксперта, предоставляя интерфейс простановки оценок методом парного сравнения. Известны различные методы расстановки приоритетов, отличающиеся быстродействием, трудоёмкостью, разрешающей способностью и другими показателями алгоритмической эффективности: экстремальный анализ целевых функций, анализ иерархий, применение международной фундаментальной шкалы предпочтений [3], ранжирование [4]. Возможны промежуточные и комбинированные решения [2-5]. В практике экспертной деятельности выбор метода расстановки приоритетов часто ограничивается скоростью принятия решения в нечётких условиях и в условиях нехватки информации. Иногда приходится жертвовать точностью и достоверностью при достижении очень быстрого получения экспресс-оценки и управляющего решения.

Результатом обработки экспертного мнения по оценке важности критериев в автоматизированной системе является диаграмма (рис. 3) с определением атрибутов согласованности мнений. Степень согласованности мнений экспертов в теории ранговой корреляции выражается через коэффициент конкордации (W) [4]. Расчёт коэффициента конкордации основан на процедуре ранжирования объектов анализа экспертами и оценке коррелированности мнений экспертов в определении приоритетов.



Рис. 3. Номенклатура критериев и оценка их значимости

Интегральная оценка технологических альтернатив по критериям включает следующие этапы:

- установление для каждого варианта решения экспертной оценки степени удовлетворения (выполнения, качества) требований по каждому критерию (F_{jm} , в баллах);

- расчёт показателя качества сравниваемых вариантов по каждому критерию (f'_{jm}). Этот показатель характеризует относительную степень удовлетворения *Критерия j* при решении по *варианту m* с учётом значимости (важности) критерия $f'_{jm} = F_{jm} \cdot q'_j$;

- расчёт комплексного (интегрального) показателя качества каждого варианта (Q_m) как суммы локальных оценок с учётом весового вклада значимости критериев: $Q_m = \sum_j f'_{jm}$;

- обобщение мнений, полученных от каждого эксперта с учётом коэффициентов квалификации и значимости членов экспертной группы;

- формулировка вывода по интегральной экспертной оценке.

Результаты расчётов отражаются в табличном (рис. 4) и графическом виде (рис. 5), причём график отражает коллективное мнение с учётом квалификации и весомости мнений экспертов.

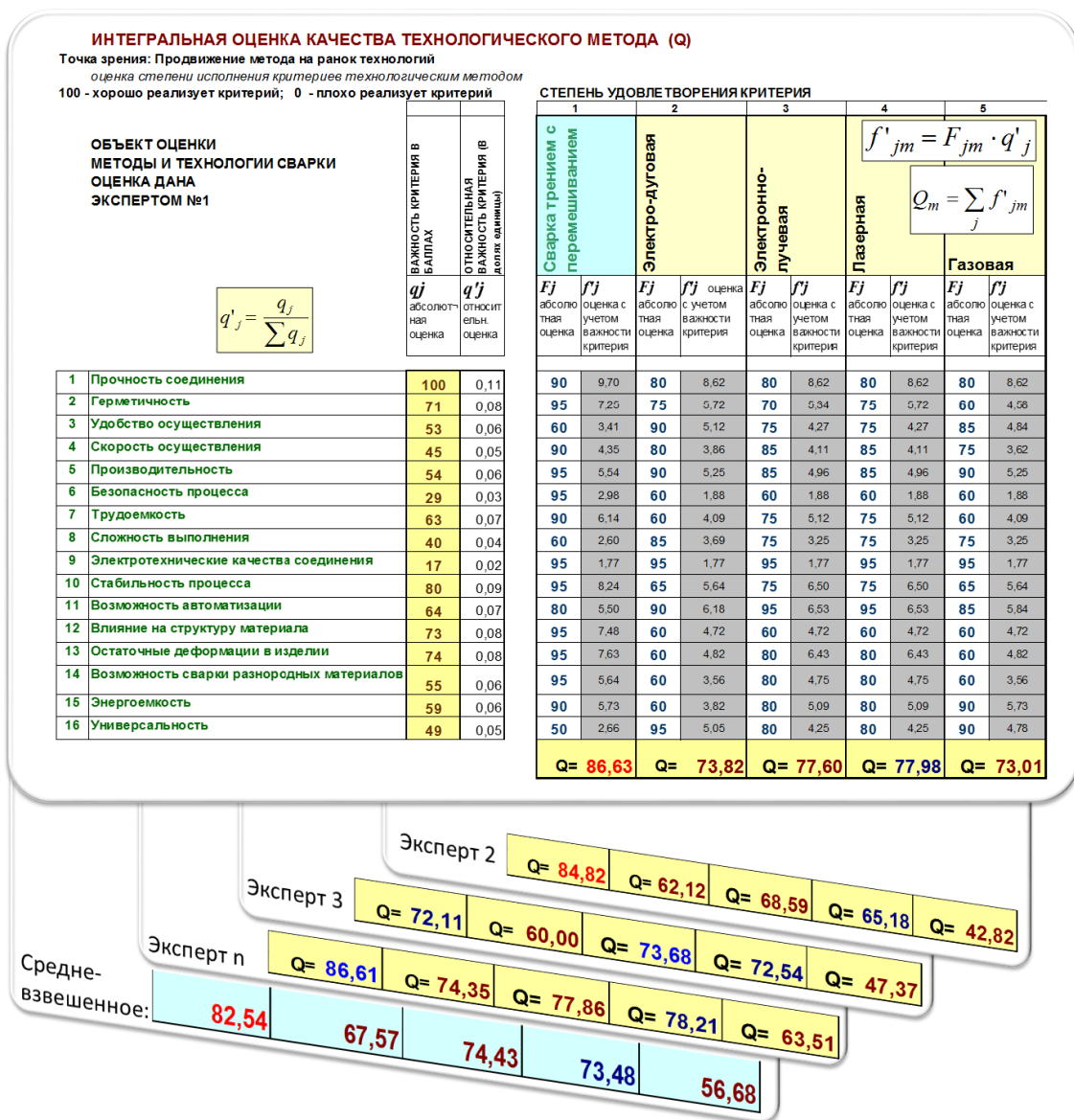


Рис. 4. Интегральная оценка альтернативных методов сварки

5. Подсистема формирования заключения экспертизы

Заключение технологической экспертизы формируется с расчётом и указанием качества по параметрам согласованности, точности и достоверности. Обобщению правомерно подвергать только согласованные оценки.

Для методов коллективной экспертной оценки этап обработки и анализа результатов опроса группы экспертов заключается в определении показателя обобщённого мнения и степени согласованности мнений экспертов по каждому вопросу, а также выявления экспертов, высказывающих оригинальные суждения и групп экспертов, придерживающихся противоположных точек зрения. При достаточной согласованности мнений экспертов на заключительных этапах расчёта определяются характеристики точности и достоверности (рис. 5).

В качестве истинного значения оценки при коллективной оценке группой экспертов может использоваться средневзвешенное с учётом значимости и квалификации экспертов. Доверительный интервал для итоговой интегральной оценки рассчитывается при заданном уровне значимости. В технике и технологии уровень значимости характеризует вероятность ошибки решения и принимается одним из значений 0,05; 0,01; 0,005; 0,001 в зависимости от степени ответственности и рисков последствий решения.



Рис. 5. Диаграмма сравнения технологических вариантов по интегральной оценке

6. Результаты и перспективы развития систем принятия технологических решений

В ходе опытной эксплуатации предлагаемого программно-информационного комплекса сопровождения технологической экспертизы были получены объективные оценки производственной целесообразности технологий изготовления неразъёмных соединений в базовых конструкциях авиакосмической техники из лёгких сплавов. Результатом оценки коммерческой привлекательности применения метода в типовых операциях сварки авиационных конструкций с высокой степенью согласованности явилось заключение о преимуществе сварки трением, по сравнению с электронно-лучевой, и существенное опережение этих методов, в сравнении с другими альтернативами.

Экспертный метод для оценки многих показателей качества технической и другой продукции открывает широкие перспективы применения при составлении новых планов, программ, при разработке стратегий развития. Современные информационные технологии обеспечивают возможность для оперативного анализа технико-экономических проектов, моделирования процессов, подготовки и представления результатов для последующего принятия решений.

Инфологическая модель данных при реализации информационных процессов обработки экспертных оценок в многовариантных и многокритериальных задачах представляет многомерную матричную структуру. Программная реализация автоматизированной системы органично ложится на комбинацию методов реляционного (табличного) представления данных в Excel и информационного представления иерархических сетей в MatLAB [6, 7].

В качестве достоинств программной реализации разработанной автоматизированной системы технологической экспертизы можно отметить:

- автоматизация статистических расчётов, возможность использования программы персоналом экономических подразделений и менеджмента;
- оперативное реагирование на смену производственных условий, объектов и субъектов анализа;
- возможность прогноза вариантов развития, последствий и рисков принятия тех или иных инновационных решений и проектов;
- модульная структура с обеспечением гибкости и возможности модификации с целью последующего расширения круга решаемых задач;
- поддержка возможностей визуализации и интерактивного диалога с пользователем.

Таким образом, обеспечивается возможность статистического обоснования бизнес-планов технологического оснащения, переоснащения и модернизации наукоёмкого производства сложной продукции аэрокосмической отрасли.

Литература

1. *ISO 9000:2005. Quality management system – Fundamentals and vocabulary.*
2. **Патраков Н.Н., Курицына В.В.** Основы технологического менеджмента качества прецизионных деталей авиакосмической техники. М.: изд. центр МАТИ, 2003. 325 с.
3. **Саати Томас Л.** Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети // Пер. с англ. / научн. ред. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.. изд. 3-е. М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2011. 360 с.
4. **Орлов А.И.** Организационно-экономическое моделирование: учебник: в 3 ч. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. Ч. 2: Экспертные оценки. 2011. 486 с.
5. **Круглов В.И., Еришов В.И., Чумадин А.С., Курицына В.В.** Методология научных исследований в авиа- и ракетостроении: учеб. пособие. М.: Логос. 2011. 432 с.
6. **Курицына В.В., Косов Д.Е., Курицын Д.Н.** Автоматизация задач экспертного оценивания в процедурах технологического менеджмента авиационного производства // Научные труды (Вестник МАТИ). 2012. № 19 (91). С. 162-173.
7. **Курицына В.В., Курицын Д.Н., Косов Д.Е.** Автоматизированная система обработки экспертных оценок при принятии технологических решений // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. № 4. Т. 8. С. 44-55.