

Концепции построения модели выбора рационального программно-технического комплекса, реализующего задачи принятия решений

О. В. Трайнев

Раскрыты концепции функционирования модели выбора наилучшего программно-технического комплекса, реализующего объектно-предметные задачи принятия решений. Представлена последовательность обработки нечеткой, экспертной информации, обосновывающая достоверность принятия своевременного решения и реализуемая в современных информационных технологиях на основе методов: анализа иерархий, бинарных отношений, Дельфи, математической статистики и др.

Введение

Пятое поколение ЭВМ определило начало промышленной реализации решения творческих задач определенного типа, используя средства вычислительной техники и программного обеспечения. В настоящее время имеется большой опыт по использованию методологических составляющих и технологий для автоматизированного принятия решений.

Каждому специалисту, руководителю, лицу принимающему решение (ЛПР) целесообразно иметь программно-технические средства, помогающие своевременно и на высоком качественном уровне принимать рациональные решения. В зависимости от решаемых задач, состав технических средств и программного обеспечения имеет разнообразные характеристики. Именно, адекватное применение разно-

образных компонентов ПТК дает возможность реализации современного комплекса задач, имеющих постоянно увеличивающийся объем экспертных, нечетких данных.

Применение моделирования ПТК в качестве информационных технологий на основе реального технологического процесса дает возможность решить актуальную проблему выбора наилучших компонентов ПТК до его внедрения.

Особенности выбора компонентов ПТК

В современных условиях для представления предметной области, используя методологию структурного анализа и проектирования [1], может быть сформирован взаимосвязанный комплекс задач объектно-предметной направленности, которые определяют последовательность используемых методов для их решения.

Взаимосвязь применяемых методов раскрывается в *системной модели* на основе *классификатора методов*. Прямые и обратные связи между методами в системной модели показывают последовательность применяемых методов с возможностью их комплексирования между собой. Структура системной модели может описываться в матричной форме.

Ведущим методом в модели выбора рационального ПТК является метод анализа иерархий (MeAI) [2], с которым комплексировается множество других методов: бинарных отношений, структурно-компоновочного вектора, Дельфи, математической статистики и др. При использовании широкого диапазона различных методов появляется возможность получения множества альтернативных решений. С другой стороны, использование множества взаимосвязанных методов, обеспечивающих наращивание ресурсов, увеличивает время принятия решений. Поэтому, необходимо строго регламентировать применяемое количество обоснованных методов.

Реализуемые ЗПР имеют множество функциональных параметров, по требованиям к которым могут подбираться соответствующие компоненты ТС и ПО в ПТК. На рис. 1а представлен механизм выбора соответствий параметров ЗПР параметрам ТС и ПО. Представлен-

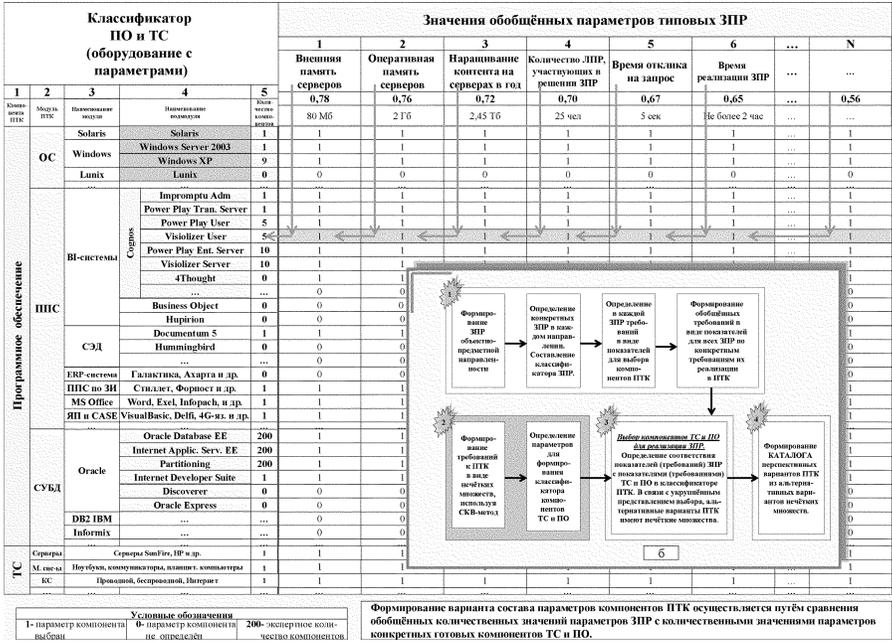


Рис. 1. Технология выбора состава параметров компонентов ПТК (фрагмент): а — схема выбора, б — парадигма выбора состава параметров.

ная парадигма (см. рис. 1б) выбора соответствий параметров описывает процесс наилучшего выбора. Рассмотрим на примере фрагмент выбора предпочтительных компонентов ПТК. Если, например, требованиям задач принятия решений № 1, 2, 3, 4, 5, 6 удовлетворяют ПО Oracle и Cognos, то на пересечении соответствующих граф ставятся значения «1», иначе ставятся значения «0». Не нулевое значение параметра в графах таблицы определяет положительный выбор указанного компонента. Для интересующих значений задач принятия решений подбираются соответствующие компоненты из классификатора ТС и ПО. Линейки продуктов Oracle и Cognos могут разворачиваться отдельными, находящимися в их составе, инструментальными программными средствами, которые могут детализироваться до необходимого уровня.

Детализация представления компонентов может, например, осуществляться до конечных составляющих в линейке рассматриваемых компонентов. Не нулевые значения компонентов ПТК могут заменяться конкретными численными экспертными значениями. Процесс выбора компонентов ПТК осуществляется в соответствии с требованиями к ЗПР. Численные значения, например, для Oracle_Database EE, Oracle Internet Application Server EE, Partitioning, равное «200», определяет количество необходимых лицензий для субкомпонентов.

В автоматизированном режиме формируются варианты объединяемых векторов нечетких множеств для выбранных компонентов, которые могут описываться нотациями Бэкуса-Наура, например, в следующем виде:

```
<Oracle>::=(200<Oracle_Database_EE> 200<Oracle Internet Application Server EE> 200 <Partitioning> <Internet Developer Suite>)
```

```
<Cognos>::=(<Impromptu Adm> <Power_Play_Tran. Server> 5<Power_Play_User> 5<Visiolizer_User> 10<Power_Play_Ent. Server> 10<Visiolizer_Ser> <ReportNet Adm> 3<ReportNet User>)
```

.....

```
<HP server rx7620>::=(<Intel Itanium2 rx7620> 1.6<Частота_GHz> 6<ОЗУ_Mb> ... 8<Процессоров_CPU>)
```

При выборе компонентов ПТК производится сравнение значений параметров ТС и ПО со значениями реализуемых ЗПР с использованием нормативных баз, классификаторов, реестров, кодификаторов и регламентов. Для удобства качественные значения параметров (или критериев) в моделях могут заменяться на количественные и наоборот.

Выбор наилучших компонентов ПТК зависит от многих факторов. Комплекс факторов и их взаимосвязь может обеспечиваться иерархической моделью на основе МеАИ (рис. 2). МеАИ обосновывает взаимосвязь разнородных факторов, выражаемых множеством значений параметров и определением их близости между собой. Классы факторов могут содержать методологические составляющие (принципы, методы), ситуации, период времени и другие факторы.

При выборе рационального ПТК по модели на основе МеАИ могут участвовать три группы лиц: ЛПР, аналитики и эксперты. Аналитики

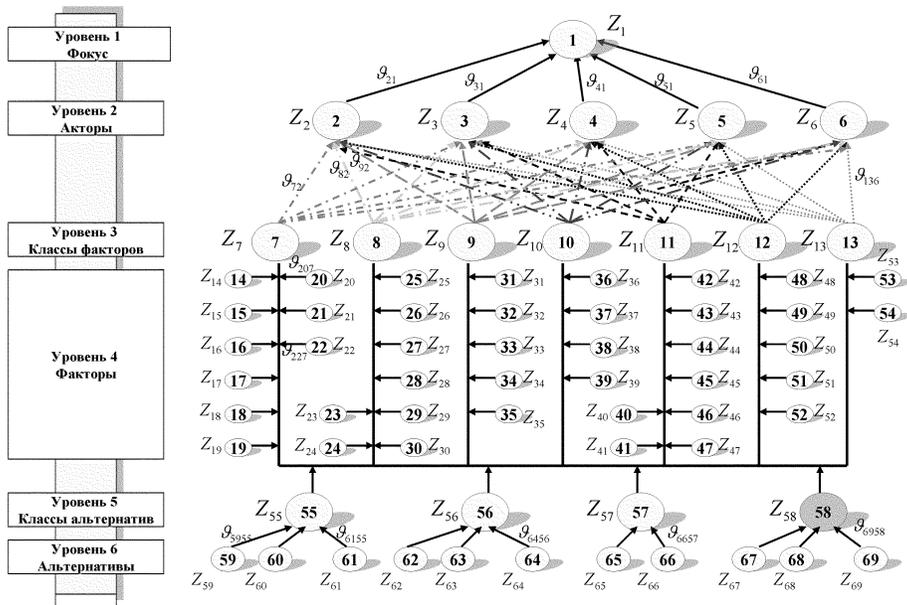


Рис. 2. Модель иерархии создания ПТК на основе метода анализа иерархий (фрагмент).

организуют процесс принятия решения на всех этапах моделирования и являются теми специалистами, которые осуществляют подготовку материалов для принятия решения ЛПР. Из числа аналитиков выделяются *лица готовящие решения* (ЛГР). Эксперты, обладающие специальными профессиональными знаниями, привлекаются на различных этапах процесса принятия решения по усмотрению ЛПР и аналитиков. Эксперты выражают ответы на поставленные перед ними вопросы в виде экспертных оценок точечного или интервального характера. Средствами ПТК данные могут обрабатываться аналитиками или непосредственно в режиме автоформализации с использованием соответствующего ПО непосредственно самими экспертами.

Формирование альтернативных вариантов ПТК, получаемых в результате поиска наилучшего ПТК, могут представляться классами альтернатив $Z_{55}, Z_{56}, Z_{57}, Z_{58}$. Каждая альтернатива может быть представлена в форме размытого множества.

Результаты выбора компонентов ПТК

Первым этапом реализации задачи выбора рационального ПТК является построение иерархической структуры модели выбора (см. рис. 2) на основе МеАИ, отражающего технологический процесс выбора во всей его сложности. Для всех элементов и взаимосвязей между ними в модели вычисляются обоснованные весовые значения. Для вычисления таких значений используется обработка суждений экспертов о параметрах модели, используя метод бинарных отношений (МБО) в матрицах парных сравнений, то есть проводится декомпозиция проблемы на более простые составляющие.

Вторым этапом реализации выбора рационального ПТК является заполнение матриц-таблиц парных сравнений. При этом, все эксперты должны одинаково понимать цену балла. Эксперт может определять свои предложения, используя метод анализа иерархий и ранговую шкалу, предложенные Т. Саати [2]. В результате обработки могут быть вычислены собственные векторы (ϑ_i), представляющие веса соответствующих дуг; максимальный собственный вектор (λ_{\max_i}); индекс согласованности ($ИС_i$); отношение согласованности ($ОС_i$), весовые значения параметров (Z_i).

На рис. 3 представлены матрицы-таблицы и парадигма, раскрывающие методологию вычисления значений для эксперта Z_2 . Применяются реальные значения в тестовом режиме. Для других экспертов: $Z_3 \div Z_6$ значения ϑ_i и Z_i в иерархической модели вычисляются аналогично.

Мы придерживаемся подхода, когда присвоение коэффициента «весомости» осуществляется по результатам экспертизы после обработки экспертных оценок группой экспертов. *Во-первых*, этот подход позволяет уточнить коэффициенты весомости, полученные ранее разными способами, а *во-вторых* — более точно определить коэффициент «весомости» каждого эксперта, относительно оценок всей группы. Коэффициенты «весомости» каждого эксперта могут определяться по каждой решаемой задаче и усредняться относительно решения однородных задач. Разработанная автором модель предполагает, что значения по четырем альтернативным вариантам ПТК Z_{55} , Z_{56} , Z_{57} , Z_{58} сначала вычисляются без учета коэффициента «ве-

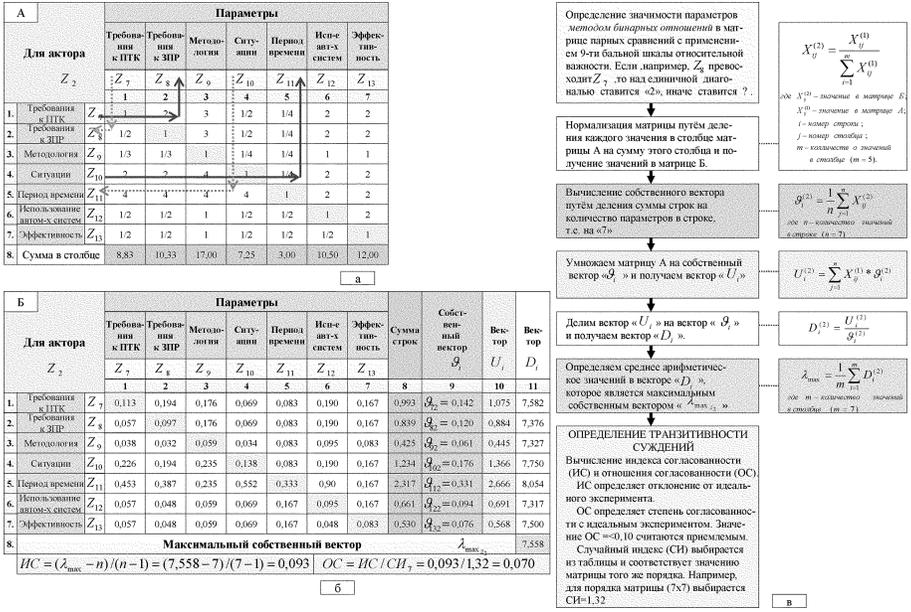


Рис. 3. Матрицы-таблицы сравнения параметров: а – первоначальная матрица, б – нормализованная матрица, в – парадигма действий.

сомости». Затем осуществляется их перерасчет с учетом коэффициентов «весомости» экспертов. При этом, значения на шкале решений могут изменяться.

Итак, прежде чем получить усредненные значения для пяти экспертов, необходимо выяснить компетентность ответов на поставленные вопросы, то есть определить, являются ли групповые экспертные значения согласованными. Для определения согласованности значений [3] ответов экспертов, а следовательно и согласованности (транзитивности) экспертной группы, выполняются действия над *нормализованными* значениями в матрице-таблице, представленной на рис. 4. В парадигме действий комментируется механизм вычисления значений, определяющих компетентность экспертов. Вычисленные значения вектора E_i⁽²⁾ (0,157; 0,202; 0,211; 0,231; 0,199) присваиваются соответствующим переменным θ₂₁, θ₃₁, θ₄₁, θ₅₁, θ₆₁, учитывающим компетентность соответственно пяти экспертов Z₂, Z₃, Z₄, Z₅, Z₆.

№ п/п	Код эксперта		Ф.ИО эксперта	Собственный вектор (β_j)	Варианты альтернативных решений										
	В классификации	В моделировании			Z_{55}				Z_{56}				Вектор $E_j^{(1)}$	Вектор $E_j^{(2)}$	Вектор K_j
					Место	Значение	Место	Значение	Место	Значение	Место	Значение			
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
1.	0017	Z_2	Иванов И.И.	$\beta_{21} = 1,00$	3	0,21	2	0,10	4	0,62	1	0,08	0,562	0,157	0,843
2.	0034	Z_3	Петров П.П.	$\beta_{31} = 1,00$	3	0,27	1	0,10	4	0,80	2	0,12	0,722	0,202	0,798
3.	0108	Z_4	Сидорова С.С.	$\beta_{41} = 1,00$	3	0,48	2	0,22	4	0,72	1	0,17	0,751	0,211	0,789
4.	0215	Z_5	Павлов А.А.	$\beta_{51} = 1,00$	3	0,33	2	0,15	4	0,90	1	0,11	0,823	0,231	0,769
5.	0314	Z_6	Сергеева В.Я.	$\beta_{61} = 1,00$	2	0,22	3	0,27	4	0,76	1	0,16	0,710	0,199	0,801
6.	Сумма в столбце					1,51	0,84	3,80	0,64	3,567	1,000				
7.	Средняя столбца X_j				3	0,302	0,168	0,760	0,128						а
8.	Дисперсия σ_j^2					0,012	0,006	0,011	0,001						
9.	Коэффициент вариации v_j					0,040	0,034	0,014	0,011						

$v_j < 0,2$.
Значит согласованность экспертов в группе хорошая и можно проводить усреднения

Определяется сложность сравниваемых значений:

- Вычисляются суммы столбцов арифметические столбцов X_j

$$X_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{ij}$$

где m – количество значений в столбце ($m=5$)

- Определение согласованности экспертов путём вычисления дисперсии σ_j^2

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_{ij} - X_j)^2$$

- Вычисляются коэффициенты вариации v_j , определяющие приемлемую сложимость всех значений: $v_j = \frac{\sigma_j^2}{X_j}$

Определяются коэффициенты «веса» экспертов:

- Сначала, переменным $\beta_{j1} = \beta_{j1}$ присваиваем значение «1»;
- Определяется вектор $E_j^{(1)}$ путём умножения каждого элемента в строке данной матрицы на среднее текущего столбца X_j и суммирование произведения. Например: $(0,21 \cdot 0,302 + 0,10 \cdot 0,168 + 0,62 \cdot 0,76 + 0,08 \cdot 0,128)$

$$E_j^{(1)} = \sum_{i=1}^m (X_{ij} * X_j)$$

Получается сумма - $Sd^{(1)} = 3,567$

- Производится суммирование пяти значений вектора $E_j^{(1)}$

$$Sd^{(1)} = \sum_{j=1}^m E_j^{(1)}$$

- Вычисляется вектор $E_j^{(2)}$ путём перемножения каждого элемента вектора $E_j^{(1)}$ на сумму $Sd^{(1)}$. Например: $(0,562 \cdot 3,567 = 0,157)$. $E_j^{(2)} = E_j^{(1)} * Sd^{(1)}$
- Вычисление суммы $Sd^{(2)}$ значений вектора $E_j^{(2)}$, которая получается равной «1».

$$Sd^{(2)} = \sum_{j=1}^m E_j^{(2)}$$

- Вычисление коэффициентов весовостей экспертов путём вычитания из «1» каждого значения вектора $E_j^{(2)}$. Например: $(1-0,157=0,843)$

где r – количество альтернатив, величина которой персональнo меняется ($r=2$)
Все коэффициенты весовости должны удовлетворять неравенству $0,5 < K_j < 0,9$

Рис. 4. Матрицы-таблицы альтернативных вариантов решений (без учета компетентности экспертов): а – первоначальная матрица, б – парадигма действий.

Посредством компьютерной программы, представляющей систему поддержки принятия решений (СППР), осуществляется усреднение по пяти экспертам (с учетом их компетентности) для четырех альтернатив с целью нахождения наилучшего варианта. *Наименьшее* числовое значение, равное 0,05 принадлежит наилучшей конфигурации ПТК – Z_{58} . Все альтернативные варианты (с учетом компетентности экспертов) ранжируются по степени уменьшения значимости: $Z_{58}, Z_{56}, Z_{55}, Z_{57}$, соответствующие значениям: 0,05; 0,09; 0,097; 0,258 (см. рис. 5). Предыдущий расчет альтернативных вариантов (не учитывающий, но вычисляющий компетентность экспертов) соответствует значениям: 0,128; 0,168; 0,302; 0,76 (см. рис. 4).

На достигнутом этапе процесса принятия решения по выбору наилучшей конфигурации ПТК может подключаться лицо принимающее

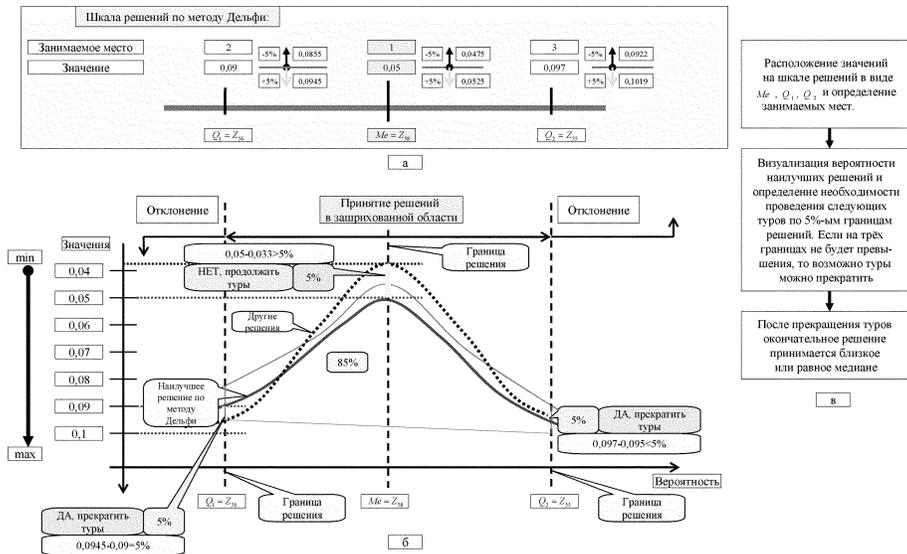


Рис. 5. Усреднение по модифицированному методу Дельфи: а — шкала значений медианы и двух квартилей, б — визуализация (мониторинг) вероятности наилучших решений по выделенной площади, в — парадигма действий.

решение (ЛПР), которое отвечает за окончательно принятое решение. Часто ЛПР является не одно лицо, а группа специалистов, которые могут согласиться или не согласиться с предоставленным им автоматически обработанным в СППР анализом суждений, привлекаемых для экспертизы экспертов.

Эффективным методом группового согласия на основе аналитической обработки экспертных оценок может являться метод Дельфи, обеспечивающий нахождение консенсуса между лицами принимающими решения. Первые три ранжированных по степени важности значения: 0,05 (первое), 0,09 (второе) и 0,097 (третье) могут быть представлены на шкале решений (рис. 5а), определяя медиану и две квартили.

При проведении нескольких туров по методу Дельфи, экспертные значения могут изменяться, а после двух-трех туров изменения экс-

пертных значений могут быть незначительными. Для увеличения эффективности выбора, предлагается использование *модифицированной метода Дельфи* (ММД), успешно сочетающего анонимность оценок с процедурой совместного обсуждения организаторов экспертизы с ЛПП спорных вопросов, обращая особое внимание только на большой разброс суждений.

Поэтому, классическая многотуровая процедура в ММД может быть сведена, например, к двум турам, в которых организаторы процедуры возвращают к пересмотру поставленных вопросов только в тех случаях, когда ответы по ним выходят за интервалы оценок большинства ЛПП. Второй и, при необходимости, последующие туры, проводимые по ММД, могут иметь уточненные усредненные оценки относительно предыдущих туров. В последующих турах предоставляется возможность отстоять свое мнение или исправить ошибки. ЛПП выбирает окончательное решение на основе обработанных в СППР экспертных значений, соглашаясь с ними или нет. Наилучшее альтернативное решение Z_{58} , расположенное ближе других альтернативных вариантов к истинному решению, может превратиться в окончательное решение Z_1 , представляющее рациональный ПТК.

На рис. 5б визуализируется обоснование проведения следующего тура, используя нормальное (или гауссово) распределение по функции:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где μ — математическое ожидание; σ — дисперсия.

Варианты решений могут трансформироваться и визуализироваться на иерархических уровнях организации, используя инструментальные средства Cognos/BI для представления проблемных витрин данных в интерактивной графической форме.

Выделенная белым цветом площадь равна вероятности того, что удовлетворяющие решению значения будут находиться в этом диапазоне. Если отклонения значений одного тура от последующих при групповой экспертизе одновременно от всех точек квартилей (Q_1 или Q_2) и медианы будет, например, менее 5% (изменение 5%-ого порога устанавливается аналитиком), тогда следующий тур может не проводиться. Отклонения могут вычисляться по известным формулам

статистических испытаний путем определения математических ожиданий и дисперсий.

Конкретизация состава компонентов ПТК, необходимых для закупки и установки, определяется на следующей стадии — *проектировании*, наступающей после моделирования. Блочный-модульный подход к проектированию рационального ПТК в течение его жизненного цикла обеспечивает своевременную замену или перестановку блоков и модулей, а также поэтапное наращивание компонентов ПТК, сопровождающееся выпуском электронной документации. Сметная документация определяет стоимость компонентов ПТК на основе автоматизированного использования классификаторов с выдачей спецификаций по конкретным ТС и ПО. Спецификации на ТС и ПО, а также работы по их установке, наладке и техническому обслуживанию являются неотъемлемой частью договора по созданию ПТК.

Выбор компонентов ПТК осуществляется из готового набора с разрешением проблемных ситуаций и учетом их предистории. Проблемные ситуации могут оформляться в виде задач с использованием обоснованной методологии (принципов, моделей и методов) и их реализацией в условиях перспективных информационных технологий.

Выводы

Функционирование модели выбора рационального ПТК для систем принятия решений в виде встраиваемого модуля, например, в экспертные системы поддержки принятия решений, учитывает жизненный цикл ПТК. В условиях имеющихся ограничений и необходимости восполнения неполной информации целесообразно применять интеграцию различных информационных систем и технологий: построения хранилищ данных, OLAP, порталных, web-технологий и т. д.

Практическая ценность модели выбора рационального ПТК заключается в том, что посредством обработки нечеткой, экспертной информации при реализации определенного класса задач предоставляются достоверные решения до внедрения ПТК. Построению рационального состава ПТК способствует также использование блочно-модульного проектирования и разрешение проблемных ситуаций.

На этапе внедрения, характеристики компонентов ПТК могут конкретизироваться и уточняться. Практическая реализация ПТК для СПР, отвечающего требованиям безопасности, и оценка его эффективности с помощью обоснованного комплекса показателей тестирует адекватность ПТК для реализации объектно-предметных задач принятия решений. Применение различных форм ПТК в зависимости от комплекса решаемых задач, определяет количество финансовых и трудовых ресурсов, на основании которых рассчитываются сроки проекта и качество его выполнения. Применение современных информационных технологий предоставляет дополнительные конкурентные преимущества при реализации перспективных задач средствами ПТК.

Список литературы

- [1] Методология структурного анализа и проектирования / Марка Д. А., Клемент Макгоуэн. — М.: Метатехнология, ТОО ФРЭД, 1993. — 240 с.
- [2] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
- [3] Подиновский В. В. Математическая теория выработки решений в сложных ситуациях. Учебник. — М.: Министерство обороны СССР, 1981. — 211 с.