

© 2012 г. В.В. ПАВЕЛЬЕВ
(Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Модель позволяет отображать структуру объекта разработки и его основных характеристик, оценивать степень готовности отдельных компонент и всего изделия в целом, оценивать степень соблюдения установленных сроков, пределов материальных и финансовых затрат.

MODEL OF THE AUTOMATED MONITORING OF PROCESS OF THE DISTRIBUTED DESIGNING OF COMPLICATED SYSTEMS / V.V. Pavelyev (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Profsoyuznaya 65, Moscow 117342, Russia, E-mail: pavvvs@ipu.ru). The model allows to displaying structure of object of working out and its basic characteristics, to estimate degree of readiness separate a component and all products as a whole, to estimate degree of observance of target dates, limits of material and financial expenses.

1. Введение

В последние годы широкое распространение получает практика территориально распределенных разработок проектов сложных объектов и систем. В том числе международных проектов. Примерами могут служить совместная российско-украинская разработка гражданского самолета, совместные российско-индийские проекты истребителя пятого поколения и межконтинентальной ракеты. Многие корпорации используют распределенную организацию работ в форме аутсорсинга. Возникают проблемы осуществления координации таких работ, соблюдения сроков, заданных характеристик, материальных и финансовых затрат, своевременного принятия научно-технических и управленческих решений. Поэтому создание моделей и методов оперативного мониторинга территориально распределенных разработок проектов является актуальной задачей. Актуальной является также задача разработки модели оценки системы обеспечения безопасности информации, как передаваемой по территориально распределенным каналам связи в центры обработки данных, так и обрабатываемой в этих центрах. Упомянутые задачи могут решаться путем использования единых методологических принципов.

В работе предлагается модель автоматизированного мониторинга процесса распределенного проектирования и производства сложных систем в конкретных предметных областях. Модель позволяет отображать структуру объекта разработки и его основных характеристик в виде ориентированного ациклического графа, частным случаем которого является граф с бинарной древовидной структурой. Решающее правило алгоритма

комплексной оценки, используемое в модели, является прозрачным для лица, принимающего решения (ЛПР). Оно позволяет ЛПР оценивать степень готовности как отдельных компонент проектируемого изделия, так и всего изделия в целом, оценивать степень соблюдения установленных сроков, пределов материальных и финансовых затрат.

2. Описание модели

Типичная для большинства работ в области теории принятия решений модель задачи принятия решений имеет следующий вид.

$$M_1 = \langle t, s, k, x, f, p, r \rangle,$$

где t – постановка (тип) задачи;

s – множество вариантов возможных решений;

k – множество показателей;

x – множество шкал показателей;

f – отображение множества допустимых решений во множество векторных оценок;

p – система предпочтений лица, принимающего решения;

r – решающее правило.

Предлагаемая модель мониторинга процесса распределенного проектирования сложных систем представляется следующим образом:

$$M_2 = \langle A, S, F \rangle,$$

где A – заданная формулировка цели;

S – структура показателей оцениваемых объектов;

F – решающее правило, функция выбора.

Здесь отправной точкой построения модели является заданная формулировка цели проекта, отсутствующая в модели M_1 , где это приводит к неопределенности в выборе адекватной системы показателей. В модели M_2 взаимосвязь показателей устанавливается, исходя из заданной формулировки цели проекта, к которой следует относиться, как к лингвистической формуле. В модели M_2 с помощью регулярной процедуры, использующей принцип дихотомии [1, 2] формируется структура S показателей, отражающая их причинно-следственную связь с заданной формулировкой цели. Такая структура может быть функционально описана следующим выражением:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \phi_1(x_1, \phi_2(x_2, \dots, \phi_{n-1}(x_{n-1}, x_n)) \dots).$$

Возможность разложения любой непрерывной функции n переменных в суперпозицию непрерывных функций меньшего числа переменных, в частности двух, доказана в работах А. Н. Колмогорова [3] и В. М. Арнольда [4]. С помощью регулярной процедуры, использующей принцип дихотомии, формируется структура показателей, отражающая их причинно-следственную связь с формулировкой цели (рис.1). В этом первое принципиальное отличие предлагаемой модели.

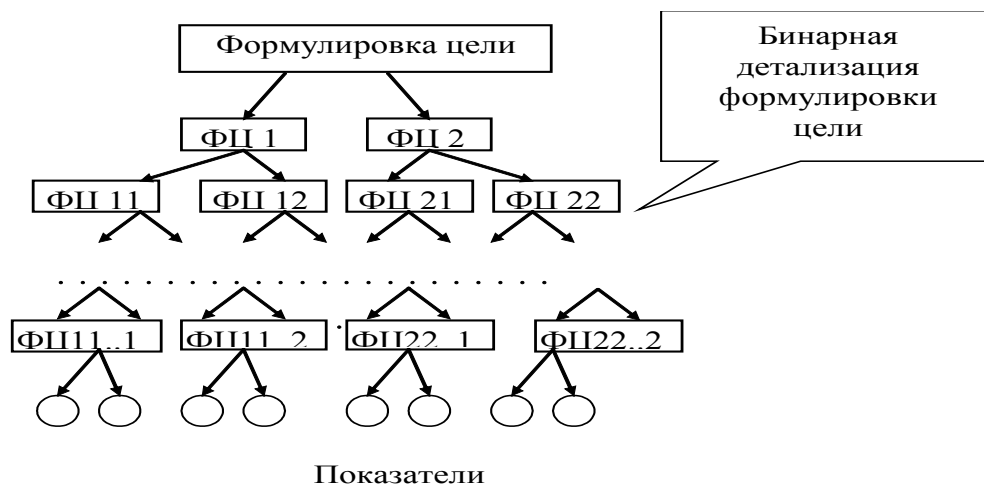


Рис.1. Формирование структуры показателей

Вторым принципиальным отличием модели целенаправленного выбора М2 от известных моделей выбора и принятия решений является то, что при ее построении конкретное множество оцениваемых объектов имеет второстепенное значение. Модель целенаправленного выбора строится не на основании сопоставления (например, парных сравнений), элементов оцениваемого множества, а на основании структурно увязанной совокупности требований к характеристикам оцениваемых объектов. Важными для выбора являются лишь такие свойства объектов оценки, которые характеризуют степень достижения заданной цели и выявляются путем детализации и конкретизации заданной формулировки цели. Если значения показателей этих свойств недопустимо низки у всех предъявленных объектов, то ни один из них не будет выбран. Третьим принципиальным отличием предлагаемой модели от известных моделей является возможность не только выбрать лучший объект из множества предложенных, но и определить степень его пригодности для достижения поставленной цели. При этом появляется возможность оценить целесообразность доработки лучшего из рассматриваемых объектов до соответствия предъявляемым требованиям, если на момент оценки он им не соответствует.

Часто формулировка цели носит декларативный характер, представлена в лозунговом стиле и нуждается в существенной конкретизации и структурировании. Так обычно формулируются цели разрешения слабоструктурированных проблемных ситуаций. В процессе структурирования проблемной ситуации необходимо выяснить, какими свойствами должны обладать средства достижения сформулированной цели. Функции от значений этих свойств, определяющие меру достижения заданной цели с помощью данного средства, традиционно называются критериями, т.е. с помощью этих функций измеряется эффективность средств достижения цели.

Метод векторной стратификации, используемый при построении предлагаемой модели, основан на процедурах построения структурированного многокритериального пространства и разбиения его на заданное число упорядоченных страт (слоев). Для этого требуется задать на множестве оцениваемых объектов отношение стратификации. Это отношение для соседних элементов одной страты (слоя) является толерантностью, а для элементов из разных слоев – отношением строгого порядка. Это означает, что внутри страты (слоя) соседние объекты, хотя и могут отличаться по некоторым показателям,

телям, будут, тем не менее, почти равноценными, не имеющими качественного различия. Объекты, принадлежащие к разным стратам (слоям), имеют качественное различие и строго упорядочены по степени их соответствия заданной цели.

Алгоритм комплексного оценивания многопараметрических объектов приведен на рис. 2.



Рис.2. Алгоритм комплексного оценивания многопараметрических объектов

В предлагаемой модели используется структура ориентированного ациклического графа [6, 7], частным случаем которого является граф с бинарной древовидной структурой. Концевым вершинам такого графа соответствуют производимые в заданные моменты времени экспертные оценки отличий фактически полученных значений параметров и характеристик проекта от их запланированных значений. Промежуточным вершинам соответствуют оценки показателей, полученные путем последовательного логического обобщения входящих в них пар оценок показателей более низкого уровня. Корневой вершине графа соответствует обобщающая (комплексная) оценка состояния проекта. Схема последовательного обобщения оценок хода реализации подпроектов 1, 2 и 3. с использованием матриц логического обобщения оценок представлена на рис.3.

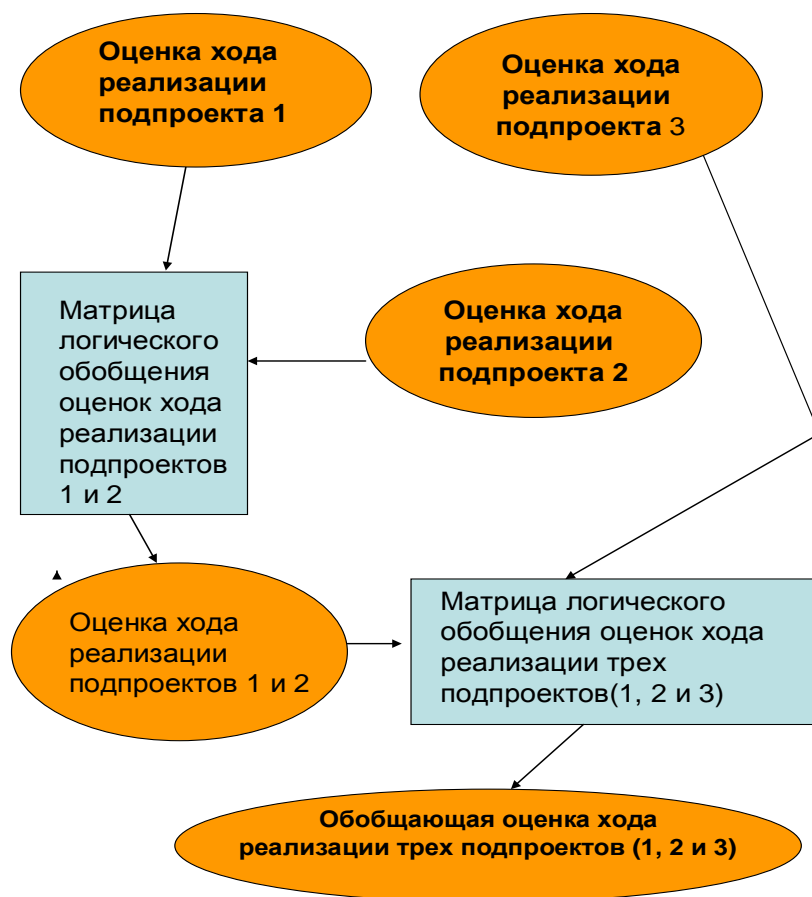


Рис.3. Схема обобщения оценок хода реализации подпроектов 1, 2 и 3.

Обобщение оценок значений показателей от самого низкого уровня в их иерархии (в конечных вершинах графа) до комплексной оценки (в корневой вершине) производится путем использования матриц логической свертки пар оценок показателей более низкого уровня. Строчке такой матрицы соответствует шкала значений одного из пары обобщаемых показателей, столбцу – шкала значений второго показателя. На пересечении строк и столбцов образуется обобщающая оценка соответствующего уровня в иерархической структуре показателей.

Фактические значения показателей нижнего уровня, в зависимости от типа объекта рассмотрения (например, время, затраченное на разработку отдельных компонент проекта, величина затраченных финансовых средств, степень готовности отдельных узлов и подсистем), могут быть получены как в результате объективных измерений в физических шкалах, так и путем организации экспертиз. Результаты объективных измерений выражаются числами в физических шкалах. Результаты экспертиз могут выражаться как числами в объективных физических шкалах, так и в виде однозначно понимаемых словесных выражений, формулируемых экспертами. Значения показателей, измеряемые как в числовой, так и в словесной форме, преобразуются в единую универсальную лингвистическую шкалу показателя степени соответствия фактического состояния компонент

проекта запланированным значениям на рассматриваемый момент времени из пяти реперных градаций:

- очень высокое значение показателя (соответствует оценке «отлично»),
- высокое значение показателя (соответствует оценке «хорошо»),
- среднее значение показателя (соответствует оценке «удовлетворительно»),
- низкое значение показателя (соответствует оценке «плохо»),
- очень низкое значение показателя (соответствует оценке «очень плохо»).

Оценка «отлично» соответствует эталонному значению показателя, требуемому для полного достижения намеченной цели. Оценка «хорошо» соответствует значению показателя, немного уступающему эталонному значению, но вполне приемлемому. Оценка «удовлетворительно» соответствует значению показателя, находящемуся на границе приемлемости. Оценки «плохо» и «очень плохо» соответствуют неприемлемым значениям показателя и служат для определения степени неприемлемости. Практика показывает, что компетентные эксперты могут дать соответствующую оценку рассматриваемым объектам по показателям нижнего уровня в универсальной лингвистической шкале, если им известны значения этих показателей в физических шкалах или в понятных и достаточно конкретных вербальных выражениях, а также известно однозначно понимаемое описание поставленной цели в виде древовидной структуры показателей бинарного типа.

Перечисленным выше реперным лингвистическим оценкам можно сопоставить следующие оценки в баллах:

- Оценка «отлично» - 5 баллов,
- Оценка «хорошо» - 4 балла,
- оценка «удовлетворительно» - 3 балла,
- оценка «плохо» - 2 балла,
- оценка «очень плохо» - 1 балл.

Между реперными оценками, фиксирующими качественные состояния объектов по соответствующим показателям, находятся слои (страты) переходных (промежуточных) оценок, измеряемых дробными значениями баллов. Дробные значения оценок дают возможность различать и фиксировать пусть и небольшие, но все же имеющиеся в действительности различия в состояниях объектов рассмотрения, отнесенных к одной страте. Кроме того, они позволяют построить более адекватную целевую функцию и облегчают решение задачи оптимизации объекта.

Фактические числовые значения показателей в физических шкалах можно привести к их значениям в универсальной лингвистической шкале, нормируя их следующим образом. Разность между фактическим значением показателя и тем его значением, которое практически непригодно (бесполезно) для достижения намеченной цели, делится на разность между эталонным значением и тем его значением, которое практически непригодно (бесполезно). Нормированное эталонное значение показателя будет равно единице. Наихудшее нормированное значение будет равным нулю. Нормированное фактическое значение показателя может быть и большим единицы в том случае, когда фактическое значение показателя оказывается большим, чем его эталонное значение. Объект, имеющий фактическое значение какого либо показателя большее, чем его эталонное значение, не будет иметь более высокую комплексную оценку по сравнению с другими объектами, имеющими по этому показателю эталонные оценки, даже тогда, когда все его прочие оценки не хуже. Это связано с тем, что для полного достижения поставлен-

ной цели достаточно достижения эталонных значений по всем показателям. Превышение эталонных значений по некоторым показателям не дает существенного эффекта, так как объекты, оцениваемые по многим показателям, представляют собой систему взаимосвязанных элементов и их агрегатов. Для эффективного функционирования значения оцениваемых объектов их характеристики должны находиться в гармоничном (оптимальном) соотношении. Дисгармония значений характеристик, требуемых для достижения поставленной цели, ведет к неоправданным затратам ресурсов. Например, в автомобиле несоразмерно высокая мощность двигателя не может быть реализована по соображениям безопасности при недостаточно прочной ходовой части и недостаточно эффективной тормозной системе. А большая мощность двигателя, как правило, требует более высоких затрат и на его приобретение и на эксплуатацию.

Перевод нормированных промежуточных числовых значений показателей в шкалу упорядоченной стратификации из пяти градаций можно осуществить, используя интервальную психофизическую шкалу Харрингтона:

Обозначим через X нормированные промежуточные числовые значения показателей нижнего уровня. Тогда:

6-я страта $\Leftrightarrow X \geq 1$; оценка в пределах страты – 5 баллов;

5-я страта $\Leftrightarrow 0,8 < X < 1$; оценка в пределах страты – от 4,1 до 5,0 баллов;

4-я страта $\Leftrightarrow 0,63 < X < 0,8$; оценка в пределах страты – от 3,1 до 4,0 баллов;

3-я страта $\Leftrightarrow 0,37 < X < 0,63$; оценка в пределах страты – от 2,1 до 3,0 баллов;

2-я страта $\Leftrightarrow 0,2 < X < 0,37$; оценка в пределах страты – от 1,1 до 2,0 баллов;

1-я страта $\Leftrightarrow 0 < X < 0,2$. оценка в пределах страты – 1 балл.

Перевод фактических значений показателей нижнего уровня, представленных в физических шкалах или в лингвистических шкалах в шкалу в баллах производится экспертами путем заполнения таблиц преобразования шкал. Эти таблицы и алгоритм комплексного оценивания вводятся в систему автоматизированного мониторинга процесса реализации проекта.

Структура оценочного графа соответствует структуре проекта и его компонент, приведенной к бинарному виду, удобному для сопоставления важности агрегируемых оценок. Компоненты проекта, в свою очередь распределены по сети аутсорсинга, связывающей исполнителей отдельных работ. Исполнители параллельно разрабатывают компоненты общего проекта.

3. Заключение

Предлагаемая модель позволяет оперативно получать комплексную оценку состояния всего проекта и отдельных его составляющих, обнаруживать так называемые «узкие места», что дает возможность своевременно принимать необходимые управленческие решения. «Узкие места» – это наборы показателей (вершин в древовидной структуре), значения которых в наибольшей степени препятствуют потенциально возможному увеличению комплексной оценки. Другими словами, это неоптимальные значения показателей. «Ненагруженные места» – вершины, которые имеют избыточные значения локальных оценок с точки зрения формирования оценок верхних уровней и менее всего влияют на значение комплексной оценки. При исследовании «узких мест» большую пользу оказывает анализ чувствительности комплексной оценки к изменениям локальных критериев, соответствующих концевым вершинам.

В понятии «узкого места» можно выделить две категории: абсолютную и относительную. В первом случае анализируются сами значения оценок. Во втором случае анализируются их отношения.

Относительность «узкого места» тесно связана с понятием «сбалансированности» многокритериальной системы оценок. Для получения сбалансированной системы оценок можно потребовать, чтобы отсутствовали пары локальных критериев, входящих в одну свертку с резко различающимися значениями оценок. При построении сбалансированного дерева оценок каждая бинарная свертка должна быть симметричной по отношению к своим входам. Такое требование можно также интерпретировать как принцип равной нагруженности всех компонент рассматриваемого объекта. Модель обладает важным для лиц, принимающих решения, свойством прозрачности и понятности решающего правила оценки. Она не требует коренных преобразований при расширении системы наблюдаемых параметров, позволяет использовать как лингвистические переменные для экспертной оценки отдельных параметров, так и цифровые выходные данные других моделей, используемых в управлении процессом разработки и реализации проекта. Данная модель не имеет недостатка, характерного для многих известных моделей комплексного оценивания, использующих коэффициенты относительной важности отдельных показателей при вычислении комплексной оценки даже в случае имеющейся нелинейной зависимости важности обобщаемых показателей от их фактического значения в оцениваемой ситуации. Предлагаемая модель, обеспечивает оперативное получение оценок, как состояния отдельных компонент проекта, так и проекта в целом, что позволяет проводить оценку результатов деятельности разработчиков и осуществлять соответствующие управляющие воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глотов В.А., Павельев В.В.* Векторная стратификация. – М.: Наука, 1984г., – 95с.
2. *Анохин А.М., Гусев В.Б., Павельев В.В.* Комплексное оценивание и оптимизация на моделях многомерных объектов. М., – 2003 (Научное издание/Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН), – 80 с.
3. *Павельев В.В.* Метод формирования программы инновационного развития региона. //Труды конгресса по интеллектуальным системам и технологиям «AIS-IT'10». Научное издание в 4-х томах. – М.: Физматлит, 2010 – Т. 2, с. 328-335.
4. *Колмогоров А.Н.* О представлении непрерывных функций нескольких переменных суперпозициями непрерывных функций меньшего числа переменных //ДАН СССР, 1956. – Т.108. – №2.
5. *Арнольд В.М.* О функции трех переменных // ДАН СССР, 1957. – Т.114. – №4.
6. *Абрамова Н.А.* Общий подход к анализу внешнего поведения объектов, представленных функциональными схемами, на основе эквивалентных преобразований // Автоматика и телемеханика, №3, 1993. – С.115-134.
7. *Абрамова Н.А., Федотов А.А.* О развитии аналитического подхода к определению внешнего поведения моделей на основе динамических когнитивных карт // Труды Межд. конф. «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» CASC'2009 – М.: ИПУ РАН, 2009. – С. 23- 40.