

УДК 519.76, 004.827

Е.П. Ильина

ФУНКЦИИ И МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ СОВРЕМЕННЫХ ПАРАДИГМ МЕТОДА ДЕЛЬФИ

Рассмотрены современные парадигмы метода Дельфи, оперирующие множеством различных экспертных точек зрения на предметную область принимаемого решения. Они реализуют обратные связи между новыми экспертными мнениями, результатами анализа и обобщения предыдущих. Предложена схема онтологически базированного Дельфи-процесса. Она включает виртуальный тур, который автоматически формирует версии модели решения и карту потенциально спорных элементов этой модели, используя анализ онтологической модели. Последующие реальные экспертные туры используют результаты виртуального и предоставляют экспертам наиболее адекватную парадигму взаимодействия точек зрения в процедуре метода Дельфи.

Постановка задачи

Экспертная методология принятия решений и подходы к ее автоматизированной поддержке развиваются в работах отечественных и западных ученых [1–10] с 60-х годов XX века до настоящего времени, охватывая многие актуальные аспекты поддержки принятия решений в условиях слабой формализованности предметной области (ПрО) и необходимости привлечения профессионального опыта специалистов. В различных предложенных методах акцент делался на выявление знаний отдельного эксперта, индивидуальное оценивание объектов членами экспертной группы с последующим обобщением оценок, ранжирование альтернатив по предпочтительности либо многокритериальное оценивание целевой эффективности. Особое место в ряду предложенных подходов принадлежит методологии Дельфи.

В работе [11], содержащей результаты анализа 40-летней истории развития и использования этой методологии, предлагается определять Дельфи как метод структурирования коммуникационного процесса в экспертной группе, обеспечивающий эффективность процесса решения сложной проблемы. Такая структурированная коммуникация основывается на поддержке:

- обратной связи индивидуальных знаний;
- оценки группового мнения или взгляда;
- возможности пересмотра взглядов их носителями;

– некоторой степени анонимности индивидуальных ответов.

Принципиальный аспект современных процедур Дельфи – вовлечение в процесс решения проблемы носителей концептуально различных точек зрения на нее. Этот подход тесно связан с такими современными парадигмами системного анализа как гуманитарная [12] и критическая [13], в которых модель системы, относительно которой принимается решение, непосредственно включает точки зрения на объект управления, актуальные для процессов его функционирования.

В работе [11] предлагается различать несколько классов методов, реализующих методологию Дельфи, на основе философской парадигмы, согласно которой строится взаимодействие точек зрения. Ранние методы [14] были ориентированы на единство концептуальных взглядов экспертной группы и достижение консенсуса посредством реализации обратных связей. Гносеологическая парадигма, на которой они основаны, идентифицирована в [11] как парадигма философии Локка (*L*-парадигма). Переход к учету множественности точек зрения начинается в методах, использующих кантианскую парадигму (*K*-парадигму): взгляды на проблему – взаимодополнительны, поскольку принадлежат разным профессиональным группам и учитывают разные перспективы, но при этом непротиворечивы. Процесс решения проблемы включает поиск альтернативных

взглядов и их объединение в одной модели. Противоположный подход к множеству точек зрения представляет гегельянская парадигма (*G*-парадигма). Точки зрения конфликтны, а задачей Дельфи является выявление конфликтов, вскрытие их оснований при альтернативной интерпретации предоставленной информации и выработка (как правило, не носителями точек зрения, а аналитиками) синтетической позиции. В результате наиболее полно соответствующей позициям современного системного анализа является сингерианская парадигма (*S*-парадигма). Методы Дельфи, соответствующие ей, находятся в процессе становления. Для них характерно:

- вовлечение экспертов в процессы построения моделей проблемы;
- формирование знаний не только об объекте управления, но и о взглядах участников процесса управления;
- анализ влияния на взгляды экспертов акта участия в экспертизе.

Следует отметить, что *S*-парадигма должна обеспечивать взаимодополнительное использование экспертных процедур, реализующих *K*-парадигму и *G*-парадигму, в соответствии с принципами критического системного анализа [11].

Создание методов и средств поддержки методологии Дельфи в аспекте *S*-парадигмы приобретает особую актуальность в рамках решения задач партисипативного формирования государственной политики в социально значимых областях [15] и экспертно-аналитического сопровождения целевых программ [16]. В таких приложениях необходимым является многократное и регулярное проведение экспертиз. При этом имеет место стабильность таких характеристик экспертных процессов как классы объектов экспертизы, спектр учитываемых ведомственных и профессиональных точек зрения на проблему, целевые характеристики объектов, на основе которых осуществляется принятие решений. Одновременно с этим для множества экспертно решаемых задач, реализующих процессы принятия решений, характерно разнообразие: подмножеств точек зрения, актуальных и эффективных для использования в экспертной

группе; многокритериальных моделей целевых характеристик; справочных и нормативных контекстов выработки решений.

В таких условиях перед методами и средствами поддержки Дельфи-методологии ставятся цели:

- повышения эффективности использования экспертного потенциала;
- формирования обоснований решений, воспринимаемых всеми участниками процессов управления;
- повторной используемости моделей и результатов в последующих экспертизах.

Концептуальной основой инструментария поддержки принятия решений в рассмотренных условиях может послужить онтологическая модель, предназначенная для соотнесения взглядов представителей точек зрения различных профессиональных групп и ведомственных структур на предметную область (ПрО) принимаемых решений [16, 17]. Такой подход предоставит новые возможности для развития методологии и инструментария экспертного принятия решений.

Цель данной работы – построение формализованных процедур онтологически базированного метода Дельфи для экспертно-аналитического сопровождения целевых программ.

Модель экспертных знаний о ПрО принимаемых решений

Модель знаний, ориентированная на вышеперечисленные цели поддержки экспертной методологии, должна обеспечивать такие возможности:

- описание объектов ПрО в рамках системы категорий концептов, систематизирующей элементы деятельности по принятию решений, информационные и методические среды этой деятельности, ее цели, результаты и влияния;
- представление различных точек зрения на объекты и ситуации;
- формализацию неполных знаний;
- определение концептов, выполняемое в различных аспектах и допускающее как позитивную, так и негативную форму (в случае неполного знания).

С этих позиций была построена *FVPO*-модель семейства экспертных точек зрения [16, 17]. Применительно к заданной ПрО семейство $FV = \{O(V_i)\}_{i=1,\dots,N}$ включает модели $O(V_i)$ точек зрения V_i , каждая из которых реализует онтологическое описание деятельности одной из профессиональных или ведомственных групп, выполненное в терминах концептов категорий *Сущность*, *Ситуационное отношение*, *Ситуация*, *Целевая характеристика*, *Цель*, *Функция*, *Аналитическое решение*, *Плановое решение*, *Проблема*, *Документ*, *Коммуникация*, *Действие*, формально введенных в [16]. При этом существует непустое ядро семейства VN , концепты из состава которого обеспечивают минимально необходимое описание деятельности по коллективному принятию решений, и

$$\forall i \in \{1, \dots, n\} \quad VN \subseteq O(V_i).$$

Элементами онтологической модели точки зрения V служат концепты $C \in CC$, каждый из них обладает категорией $Cat(C)$, параметры $Par \in PPar$ – элементарные свойства концептов.

Концепт C задается в рамках $O(V)$ своим полным определением $ID(V)$ – конъюнкцией частных определений (D -определений)

$$\begin{aligned} D_T(C, V) = \langle T, L(C, T, V), B_1(C, T, V), \\ B_2(C, T, V), S(C, T, V) \rangle; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} S(C, T, V) = \langle B_0(C, T, V), Pr(C, T, V), G(C, T, V), \\ A(C, T, V) \rangle, \end{aligned} \quad (2)$$

где $T \in TT_{Cat}$ – тип D -определения; TT_{Cat} – множество таких типов для категории Cat ; $L(C, T, V)$ – степень определенности знаний.

$S(C, T, V)$ представляет собой позитивное определение C , включающее его базис

$$B_0 = \{ \langle r, X \rangle, X \in CC \cup PPar \},$$

где r – роль из множества $Rr(T)$ ролей элементов в отношении, задаваемом посредством $D_T(C, V)$ над элементами базиса.

В состав $S(C, T, V)$ входит также: множество A актуальных раскрытий D -определений [7] концептов $X \in B_0$; множе-

ство предикатов $Pr: \{X\} \rightarrow (0;1)$, составляющих инварианты отношения $D_T(C, V)$; множество процедур $G: \{X_{in}\} \rightarrow X_{out}$, $X_{in} \in B_0(C, T_1)$, $X_{out} \in B_0(C, T)$, $(T_1, T) \in TT_{Cat}$. Эти процедуры задают правила порождения экземпляра концептов базиса на основе экземпляра базиса другого D -определения концепта C .

B_1 в (1) задает наследуемый базис $D_T(C, V)$, который формируется согласно аксиомам наследования для категории Cat и положению C в иерархии концептов, которая определяется в рамках $O(V)$ посредством специального типа t D -определений. B_2 в (1) задает базис негативного определения C (при $L(C, T, V)$, указывающем на неполноту знания), фиксируя концепты, которые не могут войти в $B_0(C, T, V)$ ни при каких вариантах развития знаний.

Структурированное подмножество концептов из состава V , определяющее смысл концепта C , формализовано в [18] как его семантическое поле $SF(C, V)$, которое является деревом с вершинами $\langle C', T \rangle$, осуществляющее итеративное раскрытие элементов базисов D -определений в аспекте их компонентов A (см. (1), (2)), начиная концептом C и заканчивая (в листьях) либо параметрами, либо концептами C'' , для которых все пары $\langle C', T \rangle$ из актуальных раскрытий базиса текущего D -определения C'' уже представлены на предыдущих уровнях дерева.

Предложенный формализм *FVPO*-модели послужил основой для конструктивного определения таких отношений между определениями концептов, анализ которых позволяет реализовать функции сопровождения процессов экспертного принятия решений при вовлечении представителей различных точек зрения. Основные отношения [16, 17, 19] включают:

- $EXP(C_i, C_j, V)$ – смысловая объясненность концепта C_i концептом C_j ;
- $SIM(C_i, C_j, Y, V)$ – сходство концептов в онтологии V по основанию Y с метрикой μ ;
- $DSIM(C, Y, V_1, V_2)$ – сходство концепта C в разных онтологиях с метрикой δ ;
- $CONTR(C_i, \{C_j\}, V)$ – противоречие между концептами C_i и $\{C_j\}$;

– $INFL(C_i, C_j, V)$ – влияние значения экземпляра концепта C_i , входящего в состав $SF(C_j)$, на значения параметров соответствующего экземпляра C_j с метрикой ε ;

– $UND(C, V_i, V_j)$ – понимаемость концепта C , принадлежащего V_j , в V_i , где он не представлен, за счет непротиворечивого моделирования в $V_j SF(C, V_j)$.

Концептуально компромиссный взгляд на проблему экспертного оценивания

При использовании экспертного подхода к принятию решений в рамках партисипативного стратегического управления достижение компромиссного видения решаемой проблемы участниками или, по крайней мере, движение к нему, становится центральным пунктом. Его игнорирование резко повышает риски неиспользованности профессионального опыта экспертов, неопределенности свойств обобщенного мнения, а также неубедительности результата для заинтересованных сторон [17].

В данном разделе предлагаются формы и способы формализации концептуального компромисса на основе модели $FVPO$ для различных типов экспертно решаемых проблем.

Проблема экспертного оценивания может быть представлена D -определениями с типами: *проблемный вопрос* (PQ), который идентифицирует входные и выходные концепты и их экземпляры; *модель оценки* (ME), которое задает оцениваемые параметры и отношения выходных концептов; *технологическая модель* (MT), которая идентифицирует привлекаемые точки зрения, полномочия их представителей, а также тип и параметры используемой экспертной процедуры; *информационный контекст* (IC), определяющий концепты-источники учитываемой информации; *верификационное поле* (VE), задающее концепты и их экземпляры, с которыми сопоставляются полученные результаты для обоснования удовлетворительности последних. Таким образом, множество основных типов

D -определений концепта категории Проблема

$$T = \{ PQ, ME, MT, IC, VE \}. \quad (3)$$

В работе [20] предложено различать два типа проблем экспертного оценивания. К первому относятся те, которые осуществляют экспертную оценку свойства объекта, объективно существующего, но не доступного для измерения. Ко второму – те, которые связаны с оценкой субъективных характеристик объекта экспертизы (предпочтительности, удобства использования и т.п.). Для этого случая предлагалось ограничиваться задачей упорядочения альтернатив, а не их оценивания. Экспертизы, проводимые в условиях партисипативного принятия решений, описанных в первом разделе, сохраняют актуальность этого деления, хотя свойства выделенных типов проблем изменяются. С одной стороны, статистические свойства обобщенной оценки в проблемах первого типа перестают быть достаточными основаниями ее приемлемости [20]. С другой стороны, для проблем второго типа может быть построена процедура оценивания, результаты которой имели бы смысл и за пределами текущей экспертизы: за счет соотношения критериев оценки с целями, общезначимыми для субъектов ПрО, а также аргументации индивидуальных оценок общедоступными информационными и методическими источниками, на которых они основаны.

Формализация проблемы первого типа EP_1 в рамках модели $FVPO$ осуществляется следующим образом с использованием обозначений из (1) – (3):

$$B_0(MT, EP_1, V) = (VV, \{V, e, g(e)\}_{V \in VV, e \in E}), \quad (4)$$

где VV – множество привлекаемых точек зрения;

E – множество процедур экспертизы, которые могут быть использованы;

$g(e)$ – тип полномочий участника в процедуре e .

$$B_0(PQ, EP_1, V) = \\ = (\langle X, in \rangle, \langle X, out \rangle), \quad (5)$$

где in, out – роли, соответствующие исходным данным и результатам;

X – концепт, соответствующий объекту оценивания, причем $X \in \bigcap_{V \in W} O(V)$.

$$B_0(ME, EP_1, V) = \\ = \{Y \mid Y \in SF(X, V)\}, \quad (6)$$

где X определен выше;

Y – параметр, оценка значения которого должна быть произведена, либо концепт, число экземпляров которого в заданных позициях определения $D_T(X, V)$ оцениваемого экземпляра X должно быть установлено.

Понимание экспертируемого концепта X может различаться в различных $O(V_i)$, учитывая различия взглядов на систему факторов, влияющих на экспертируемый объект, множество допустимых состояний объекта, его классификационную природу и т.д. Будем обозначать $SF(C, V_i)$ семантическое поле концепта C , характеризующее его в $O(V_i)$, и $SF(C(j), V_i)$ – семантическое поле результата $C(j)$ операции погружения в $O(V_i)$ определения концепта C , которым он обладает в $O(V_j)$. Одна из возможных формализаций операции погружения описана в [21].

На множестве $VV = \{V_i\}$ точек зрения определим понятие когнитивного концептуального компромисса, выделяя его элемент $V^* \in VV$, соответствующий такому определению концепта C , которое дает наилучший результат при замене в каждой из онтологий $O(V_i)$ $SF(C, V_i)$ на $SF(C^*, V_i)$.

Влияние такой замены будем оценивать с позиций удовлетворения когнитивных интересов участников экспертизы [22], определяющих риски ожидаемых экспертных оценок [17]. В качестве таких интересов можно учесть:

– I_1 – полноту использования знаний эксперта в тех оценках, которые он будет предоставлять;

– I_2 – расширение начального представления носителей точки зрения об объ-

екте экспертизы при знакомстве с другими точками зрения;

– I_3 – объяснение позиций, занимаемых данной точкой зрения, представителям других взглядов на объект экспертизы.

Рассмотрим эффекты замены

$$CH(C, j, i): SF(C, V_i) \rightarrow SF(C(i), V_j). \quad (7)$$

Цена замены для V_j в аспекте I_1 сводится к потерям IS_1 , оценка которых может быть получена следующим образом.

Для V_i вклад $IS_1 = 0$. Определим такой вклад для V_j .

Пусть $P \in O(V_j)$ – решаемая проблема, причем

$$C \in B_0(PQ, P, V_j), YY = \\ = \{Y \in B_0(ME, P, V_j)\}.$$

Обозначим

$$XX = \{X \mid (X \in SF(C, V_j)) \wedge \\ \wedge (X \notin SF(C(i), V_j)) \wedge \\ \wedge \exists Y \in YY \mid INFL(X, Y, V_j)\};$$

множество аналогичных проблем

$$PPA = \{PA \mid (PA \in O(V_j)) \wedge (\exists Y \mid Y \in YY \wedge \\ \wedge Y \in B_0(ME, PA, V_j)) \wedge \\ \wedge (\exists Z \mid Z \in B_0(PQ, PA, V_j)) \wedge \\ \wedge SIM(Z, C, \text{”по составу базисов”}, V_j)\};$$

$$ZZ = \{Z \in B_0(PQ, PA, V_j)\}_{PA \in PPA};$$

$$XX_2 = \{X \in XX \wedge (\exists Z \mid Z \in ZZ \wedge \\ \wedge INFL(X, Z, V_j))\}.$$

Тогда

$$IS_1(j, i) = (- (1 - \mu(C, C(i), V_j)) / \\ / 2) [\sum_{X \in XX} \epsilon(x, C, V_j) / |SF(C, V_j)| + \\ + \sum_{X \in XX_2, Z \in ZZ} \epsilon(x, z, V_j) / |PPA||ZZ|],$$

причем $IS_1(j,i) \in (-1,0)$.

Цена IS_2 замены (7) в аспекте I_2 также касается только V_j , но определяет положительный вклад.

Обозначим $T(X) \in TT(X)$ – тип D -определения, допустимый для концепта X ;

$L(X, T, V) \in \{d, u\}$ – степень определенности знаний об определении $D(X, V)$: d – полная определенность; u – неполная определенность; $R(X, i, j)$ – результат операции погружения концепта X из $O(V_j)$ в V_i .

Определим

$$XX = \{ X \mid X \in SF(C, V_i) \wedge$$

$$\wedge X \in SF(C, V_j) \wedge$$

$$\wedge \exists AT(X) \subseteq TT(X) \mid \forall a \in AT(X),$$

$$L(X, a, V_j) = d \wedge L(X, a, V_i) = u \wedge AT(X) \neq$$

$$\neq \emptyset \wedge \neg CONTR(X, R(X, i, j), V_i) \}.$$

Тогда

$$IS_2(j,i) =$$

$$= |XX|^{-1} \sum_{X \in XX} |AT(X)|^{-1} \sum_{a \in AT(X)} |K(X, a, V_i)|,$$

$$\text{где } K(X, a, V_i) = (B_0(X, a, V_j) \cup B_0(X, a, V_i)) \setminus$$

$$\setminus (B_0(X, a, V_j) \cap B_0(X, a, V_i)).$$

$$IS_2 \in (0;1).$$

$IS_3(j,i)$ составляет позитивный вклад в интересы V_j .

Определим M_j как число уровней иерархии в модели $SF(C, V_j)$;

$$L_{ji} = \{ X \mid X \in SF(C, V_j) \wedge X \notin SF(C, V_i) \wedge$$

$$\wedge ST(X, V_j) = 0 \wedge UND(X, V_j, V_i) \},$$

где $ST(X, V_j) = 0$ определяет статус X как листа в $SF(C, V_j)$.

Обозначим $NUM(X)$ (при $X \in L_{ji}$) – номер уровня в $SF(C, V_j)$, на котором находится X .

$$IS_3(j,i) = (\sum_{X \in L_{ji}} NUM(X)) / M_j \mid L_{ji} \mid \in (0;1).$$

Таким образом, цену замены $CH(C, j, i)$ для точки зрения V_i можно охарактеризовать посредством метрики

$$A(j, i, i) = (IS_1(j,i) + IS_2(j,i) + 1) / 2.$$

Цена этой замены для V_j оценивается посредством

$$A(j, i, j) = IS_3(j,i). \quad (8)$$

На основе функции A можно построить ряд характеристик, определяющих концептуальные соотношения точек зрения из множества $VV = \{V_k, k = 1, \dots, N\}$, актуальные для Дельфи-процедур решения экспертных проблем первого типа.

Толерантность V_i

$$ACP(i) = (\sum_{j=1, \dots, N, j \neq i} A(j, i, i)) / (N-1). \quad (9)$$

Активность V_i

$$ACA(i) = (\sum_{j=1, \dots, N, j \neq i} A(i, j, i)) / (N-1). \quad (10)$$

Когнитивный концептуальный компромисс

$$KK(VV) =$$

$$= \operatorname{argmax}_{i=1, \dots, N} \sum_{j=1, \dots, N, j \neq i} (A(j, i, i) +$$

$$+ A(j, i, j)). \quad (11)$$

Глубина когнитивного концептуального компромисса

$$DT(KK) = 1 - ACP(KK). \quad (12)$$

Активность когнитивного концептуального компромисса

$$DT(KK) = ACA(KK). \quad (13)$$

Эффект для VV от принятия KK

$$СКК(VV) =$$

$$= (\sum_{i=1, \dots, N, i \neq KK} A(KK, i, i)) / (N-1). \quad (14)$$

Для формализации проблемы экспертного оценивания второго типа и построения аппарата концептуально компромиссной постановки такой проблемы в составе $FVPO$, определяются такие категории концептов: *Цель, Оценочная характеристика, Целевой аспект оценивания*.

Описание *Цели* основывается на D -определении D^{str} концепта G этой категории с базисом

$$B_0(D^{str}, G, V) = \{\langle p_i, X_i \rangle\}_{i=1, \dots, 7}, \quad (15)$$

где p_i – тип позиции структурного описания цели, принадлежащий множеству {объект целевого воздействия, параметры влияния, тип влияния, субъекты интереса, исполнители, средства достижения, среда достижения}.

Оценочная характеристика служит для представления свойства концепта любой из категорий (кроме трех вышеперечисленных), которое:

- характеризует перспективность оцениваемого объекта для достижения некоторой цели, являясь критерием достижимости или достигнутой этой цели;
- может быть представлено одной из альтернативных многокритериальных моделей, в зависимости от классификационной принадлежности концепта, объект которого оценивается, и других условий приемлемости моделей, связанных с параметрами достигаемой цели и интересами, которые разделяет эксперт.

Модели, сопоставляемые концепту C категории *Оценочная характеристика*, имеют своим выражением концепты категории *Целевой аспект оценивания* и обладают семантикой модели *Дерево ценности* [8], расширенной с учетом особенностей партисипативного принятия решений. Перечень таких моделей определяет базис $B_0(D^M, C, V)$.

Каждый такой концепт представляет собой иерархию концептов той же категории. Описание концепта K осуществляется с помощью совокупности следующих типов D -определений:

- D^{int} , задающего состав множества всех концептов X , иерархически детализирующих K , и их статусов S

$$B_0(D^{int}, K, V) = \{\langle S, X \rangle\};$$

- D^G , выполняющего идентификацию цели G , критерием достижения которой служит K ;

- D^P , задающего множество концептов Y , непосредственно подчиненных K в иерархии;

- D^{arg} , которое фиксирует позицию цели из $B_0(D^G, K, V)$, относительно которой осуществляется детализация, а также те

концепты из $O(V)$, на основании которых считается актуальной такая детализация;

- D^{inf} , задающего множество концептов из $O(V)$, служащих источниками информации по поводу K , с их ролями (нормативный, справочный, альтернативное значение)

$$B_0(D^{inf}, K, V) = \{\langle r_i, \{X_{ij}\}_{j \in J} \rangle\}_{i=1,2,3}.$$

Формализация проблемы экспертного оценивания второго типа EP_2 , основанная на описанных концептах, может быть выполнена, с использованием обозначений (4)–(6), следующим образом:

$$B_0(D^{PQ}, EP_2, V) = (\langle in, X \rangle, \langle out, Y \rangle),$$

где X – концепт, экземпляром которого является оцениваемый объект; Y – концепт категории *Оценочная характеристика*;

$$B_0(D^{EM}, EP_2, V) = (M, KM, SM, XM),$$

где M – концепт категории *Целевой аспект оценивания*, $M \in B_0(D^M, Y, V)$;

$KM = \{km(u)\}_{u \in B_0(D^{int}, Y, V)}$ – множество весов элементов дерева ценности;

$SM \supset B_0(D^{int}, M, V)$ – подмножество вершин, которые подлежат непосредственно оцениванию; $XM = \{SC(e)\}_{e \in SM}$ – шкалы оценивания.

Условия концептуального компромисса между версиями модели M , принадлежащими разным точкам зрения, должны учитывать приоритетность достижения:

- общности понимания целей всеми участниками оценивания;
- полноты использования имеющейся информации об объекте экспертизы.

На это ориентирован предложенный в [19] алгоритм погружения концепта M из $O(V_j)$ в $O(V_i)$. Алгоритм включает в результирующий концепт $M(j) \in O(V_i)$ те критерии C из состава $M \in O(V_j)$, для которых выполнены следующие условия.

- i) Цель G , соответствующая критерию C согласно $B_0(D^G, C, V_j)$, понимаема в $O(V_i)$ в смысле отношения UND во всех своих позициях (15).

- ii) Цель G не противоречит, в смысле отношения $CONTR$, ни одной из целей

G^o , принадлежащих D^G -определениям критериев C' из состава $M \in O(V_i)$.

iii) Все вершины-предшественники C в $M \in O(V_i)$ погружены в $O(V_j)$ с выполнением условий i), ii).

iiii) Если C имеет статус непосредственно оцениваемого критерия, то множество

$$\{X\} \supseteq B_0(D^{inf}, C, V_j) \mid UND(X, V_j, V_i)$$

не пусто.

Рассмотрим влияние замены

$$CHM(M, j, i): M \in V_i \rightarrow M(j), \quad (16)$$

аналогичной (7), на достижение вышеотмеченных интересов решения EP_2 .

Пусть

$$G_1 = \{g \in B_0(D^G, C, V_i) \mid C \in B_0(D^{int}, M, V_i)\};$$

$$G_2 = \{g \in B_0(D^G, C', V_i) \mid C' \in B_0(D^{int}, M(j), V_i)\}.$$

Тогда оценка потери полноты учитываемых целей имеет вид

$$L_1 = (NL - \alpha) / NL,$$

где $NL = |G_1|$, $\alpha = |G_1 \cap G_2|$.

Оценка расширения целевого взгляда

$$L_2 = (ML - \alpha) / ML,$$

где $ML = |G_2|$.

Результирующий показатель эффекта изменения целевого взгляда

$$L(j, i) = L_2 - L_1; L(j, i) \in (-1; 1).$$

Обозначив

$$IN_1 = \{in \in B_0(D^{inf}, C, V_i) \mid C \in B_0(D^{inf}, M, V_i)\},$$

$$IN_2 = \{in \in B_0(D^{inf}, C', V_i) \mid C' \in B_0(D^{inf}, M(j), V_i)\},$$

$$NI = |IN_1|, MI = |IN_2|, \beta = |IN_1 \cap IN_2|,$$

оценим вызванную заменой (16) потерю источников информации

$$F_1 = (NI - \beta) / NI;$$

и расширение спектра использованных источников

$$F_2 = (MI - \beta) / MI.$$

Обобщающим показателем полноты использования информации может служить

$$F(j, i) = F_2 - F_1; F(j, i) \in (-1; 1).$$

Определим критерий адекватности результирующей модели

$$AD(j, i) =$$

$$= 1 - SIM(M, M(j), Y, V_i), AD(j, i) \in (0; 1)$$

со значением типа сходства $Y = "$ опосредованно, по актуальному раскрытию базисов [18]". Выбор такой формы сходства позволяет учесть сходство общих источников и оснований, обеспечивающее сопоставимость разных точек зрения.

Цена замены (16) для интересов решения EP_2 может быть определена как

$$A_2(j, i) = ((L(j, i) + F(j, i) + 2)/4 - AD(j, i) + 1)/2.$$

Прагматический концептуальный компромисс определяется условием

$$KM(V) =$$

$$= \operatorname{argmax}_{i=1, \dots, N} \sum_{j=1, \dots, N, j \neq i} A_2(j, i). \quad (17)$$

Аналогично (12), (14), актуальными для анализа являются:

глубина $KM(V)$

$$DT(KM) = 1 -$$

$$- (\sum_{i=1, \dots, N, i \neq KM} A_2(i, KM)) / (N-1); \quad (18)$$

эффект от принятия KM для системы точек зрения VV

$$CKM(VV) =$$

$$= (\sum_{i=1, \dots, N, i \neq KM} A_2(KM, i)) / (N-1). \quad (19)$$

Для анализа свойств концептуальной приемлемости версий модели для участников решения EP_2 может быть исследован когнитивный концептуальный компромисс (см. (11)) на множестве $\{M(j)\}_{j=1, \dots, N}$ и его основные характеристики согласно формулам (12)–(14).

Кроме того, полезными для аналитической подготовки Дельфи-процесса являются следующие характеристики соотношения прагматического и концептуального компромисса.

Когнитивный эффект от принятия прагматического компромисса

$$СКК(VV, KM) = (\sum_{i=1, \dots, N, i \neq KM} A(KM, i, i)) / (N-1). \quad (20)$$

Прагматический эффект от принятия концептуального компромисса

$$СКМ(VV, KK) = (\sum_{i=1, \dots, N, i \neq KK} A_2(i, KK)) / (N-1). \quad (21)$$

Онтологически обоснованный Дельфи-процесс

Используя аппарат представления и анализа знаний о ПрО вырабатываемых решений, описанный в предыдущих разделах, можно построить процесс поддержки различных парадигм методологии Дельфи, повышающий эффективность взаимодействия различных точек зрения.

В работе [11] предложено различать два типа среди существующих технологий метода Дельфи. Первый, охарактеризованный как конвенциональный Дельфи, реализует экспертный процесс с участием специальной мониторинговой команды, которая создает модель экспертируемого объекта (в большинстве случаев это вопросы анкеты), анализирует ответы экспертов и, по результатам, формирует новые вопросы (т. е. доопределяет модель).

Второй тип технологий представляет собой Дельфи-конференции, в которых групповой результат продуцируется компьютером. Однако отсутствие мониторинговой команды не означает отсутствия этапов аналитической работы по сопровождению экспертизы. Они просто частично переносятся в период, предшествующий первому туру, и частично на стадию, следующую за получением обобщенных оценок.

В качестве этапов такой аналитической деятельности выделяются:

- исследование субъектов дискуссии;
- достижение понимания истоков групповых взглядов;
- выявление причин несогласий и их оценка;
- анализ полученной информации и возврат оценок для пересмотра.

Рассмотрим в качестве формы реализации S-парадигмы онтологически обоснованный Дельфи-процесс (ООДП), который при рассмотрении в том же классификационном ключе может быть охарактеризован как процесс с виртуальным экспертным туром, предшествующим привлечению экспертов. Этот тур позволяет выдвинуть и оценить ряд гипотез по поводу соотношения актуальных ведомственных и профессиональных точек зрения на решаемую проблему.

На рис. 1 показана последовательность действий виртуального тура (обозначены ромбами) и их результатов (прямоугольники).

Началом автоматизированной аналитической обработки внешней постановки проблемы $\langle O, R, S \rangle$, где O – идентификация объекта экспертизы, R – оценочной характеристики, S – ведомственных субъектов ПрО, мнения которых должны быть учтены, является выбор подмножества FVPO-модели и ретроспективы ранее проведенных экспертиз, составляющих контекст последующей аналитической работы.

Далее с использованием этого подмножества выбирается наиболее подходящая парадигма развертывания Дельфи-процедур (из четырех, рассмотренных во введении), окончательно формируется модель экспертной группы (ЭГ), определяющая привлекаемые к экспертизе точки зрения, и определяются источники для априорных значений ряда показателей, играющих роль верификационного поля модели оценочной характеристики.

В качестве моделей оценочной характеристики в рамках ООДП могут использоваться определения концепта категории Целевой аспект оценивания, построенные одним из следующих способов.

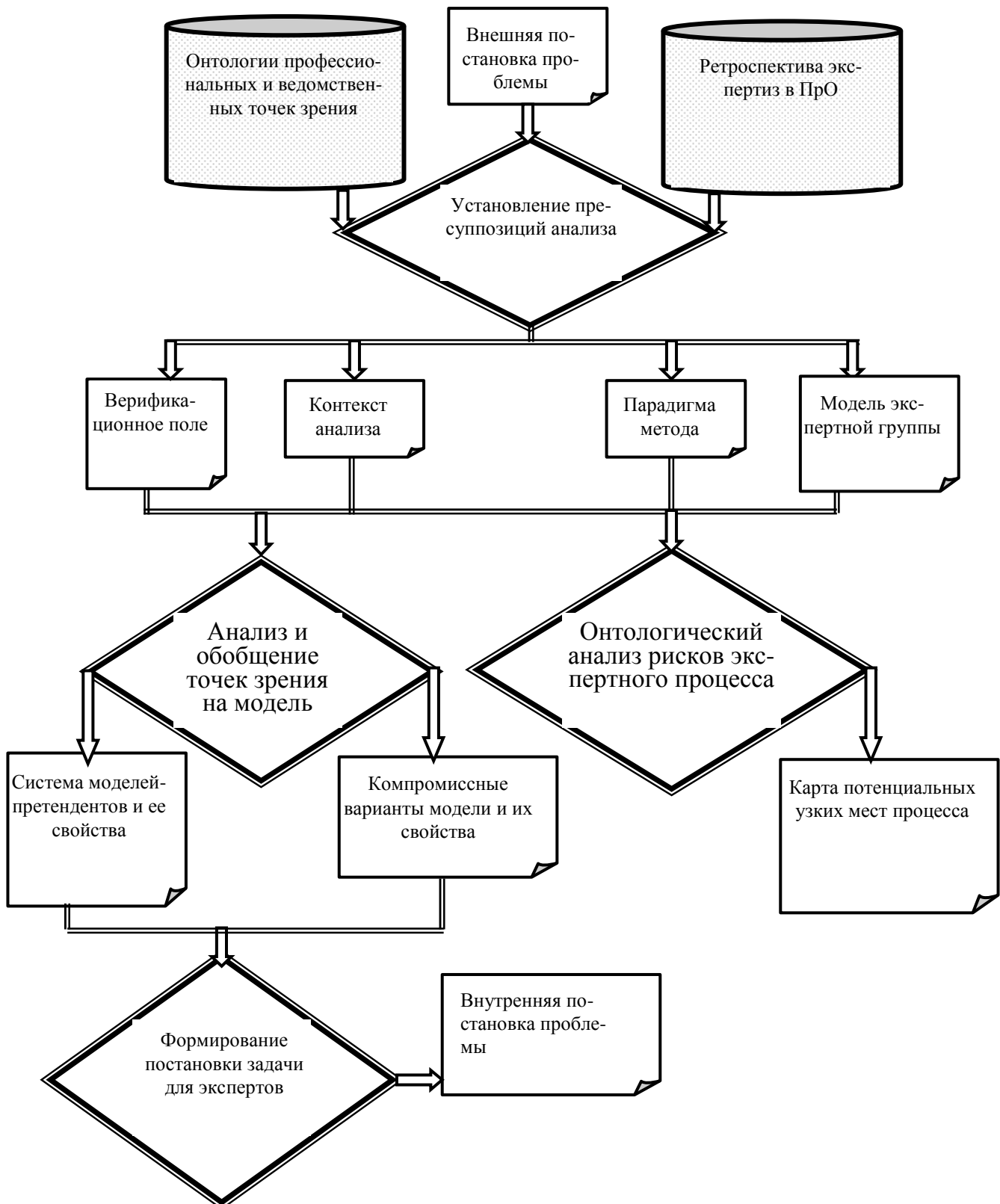


Рис. 1. Схема виртуального тура экспертизы, реализующей онтологически обоснованный Дельфи-процесс

Непосредственно сформированная модель представляет собой онтологическое представление знаний носителей соответ-

ствующей точки зрения, выявленных с применением специальных процедур индивидуального [23] или группового [24]

структурного аналізу оціночної характеристики. В ООДП використовуються визначення, існуючі в складі онтологій FVPO-моделі ПрО.

Когнітивно компромісна модель (11) будується на базі множини моделей попереднього типу, відповідних фіксованому множині VV точок зору, і характеризується властивостями (9)–(14).

На тому ж множині визначається прагматично компромісна модель (17) з властивостями (18), (19). Відношення між нею і моделлю попереднього типу характеризується показателями (20), (21) і надає вибір між різними компромісами.

Прагматично компромісне об'єднання для множини моделей $\{M(V)\}$, $V \in VV$ представляє собою модель $MU(VV)$, для якої

$$(G \in M(V_i)) \wedge (\forall V \in VV \neg \exists G_1 | G_1 \in V \wedge \wedge CONTR(R(G, V), G_1)) \rightarrow G \in MU(VV) \wedge \wedge C(G) \in MU(VV),$$

де G, G_1 – цілі, $C(G)$ – критерій досягнення цілі G ; $R(G, V)$ – результат поглиблення визначення G в $O(V)$.

Визначення $MU(VV)$ не забезпечує повної розумності і інформованості, які гарантовані для прагматично компромісної моделі (17). Тому її введення в середу ООДП вимагає внесення в карту вузьких місць процесу інформації о вершинах, стосовно яких ці умови порушені.

Для $MU(VV)$ можуть бути оцінені характеристики (18)–(21), що робить її порівнюваною з іншими компромісними моделями.

Альтернативна індивідуальна модель MAI(VV) формується на основі множини прототипів $\{M(V_i)\}_{V_i \in VV}$. При цьому, крім позитивних базисів B_0 її D -визначень (2), формуються негативні $B_2(D, MAI, V_i)$ з елементами виду $\langle r, X, NA \rangle$, де r – роль, X – концепт, NA – аргументація заборони на можливість включення X (включеного в D -визначення в межах прототипної моде-

ли), формулюється посиланням на концепт, відповідний елементу діяльності в $O(V_i)$.

Моделі перших двох розглянутих видів використовуються в межах віртуального туру.

Онтологічний аналіз ризиків експертного процесу виявляє елементи моделі, а також інформаційного контексту рішення проблеми, для яких існує онтологічно обумовлена можливість їх непорозуміння представниками деяких точок зору або виникнення конфлікту з їх знаннями. Такі елементи описуються в форматі

$$\langle e, C, \{\{R, V\}\} \rangle, \quad (22)$$

де e – концепт-елемент моделі або описання інформаційного контексту;

C – елемент постановки проблеми, який її включає;

R – вид ризику (непорозуміння, конфліктність з власною версією, конфліктність з власними знаннями про інші концепти);

$V \in VV$ – точка зору, в якій виникає ризик.

Висновком віртуального туру є постановка проблеми для експертів і карта потенційних вузьких місць процесу (КП), що включає описання (22) і використовується в наступних турах.

Початковий експертний тур ООДП, показаний на рис. 2, формується шляхом вибору експертів з бази даних відповідно до розробленої моделі ЕГ і рейтингом експертів за результатами їх участі в попередніх експертизах.

Далі здійснюється індивідуальне експертне оцінювання показників моделі, в межах якого можуть надаватися експертні версії Альтернативних індивідуальних моделей. В цьому випадку індивідуальні оцінки експертів містять два набори – для критеріїв моделі, представленої в постановці і для критеріїв власної версії моделі.

Етап аналізу і узагальнення оцінок реалізує: Етап аналізу і узагальнення оцінок реалізує:

- обобщение оценок частных критериев по множеству экспертов;
- линейную свертку индивидуальных оценок с получением индивидуальных версий оценки для оценочной характеристики;
- линейную свертку обобщенных

- оценок критериев;
- определение статистических свойств обобщенных оценок [25];
- поиск и анализ расхождений значений в парах “априорное значение критерия – индивидуальная оценка критерия” и “непосредственная индивидуальная оценка

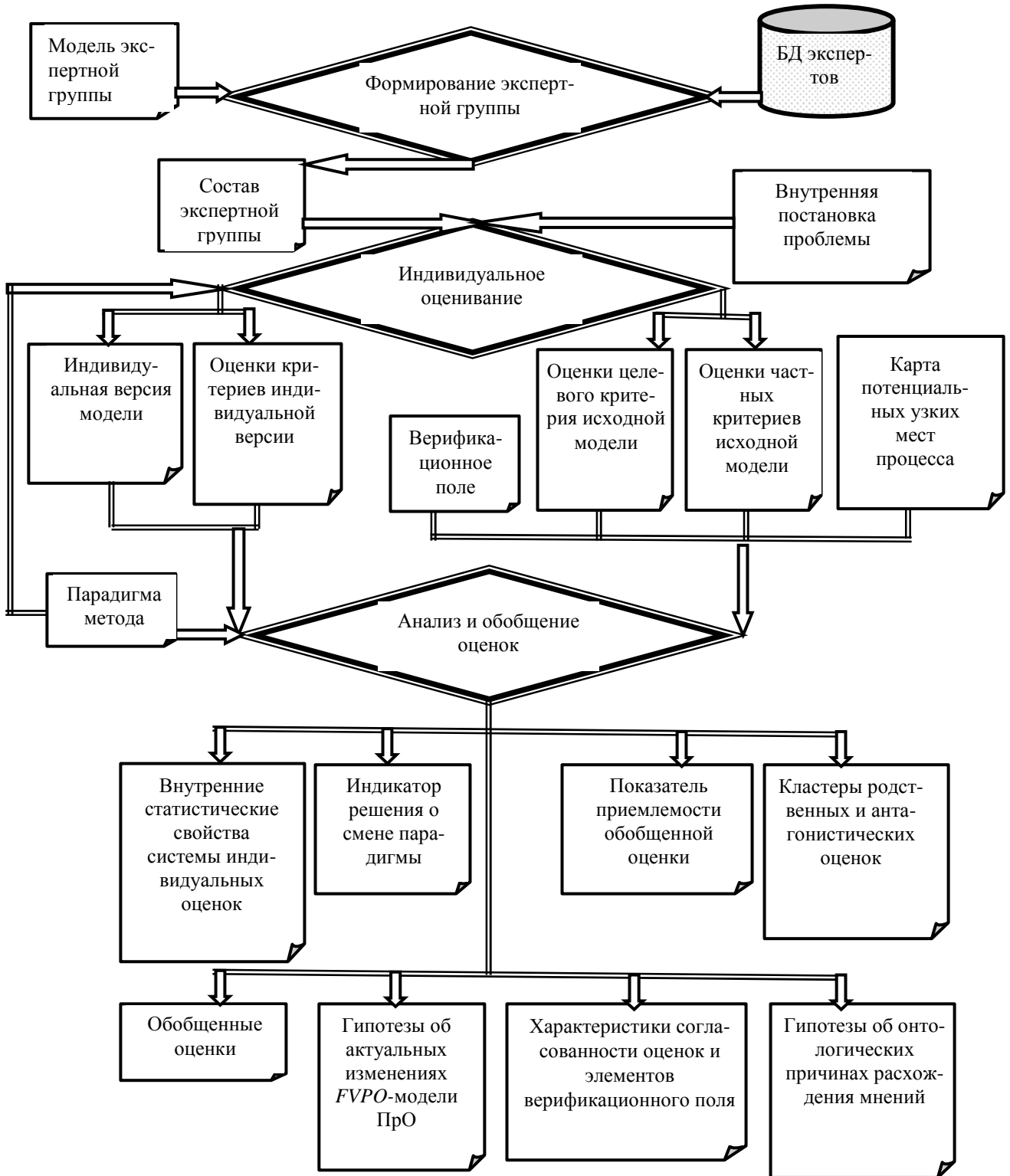


Рис. 2. Схема начального экспертного тура онтологически обоснованного Дельфи-процесса

оценочной характеристики” – “результат свертки индивидуальных оценок частных критериев”;

- кластеризацию индивидуальных оценок критериев, выделяющую группы экспертов, находящихся в согласии, и группы наиболее далеко отстоящих в своих мнениях экспертов;

- анализ статистической значимости различий в оценках, полученных по общей модели и по ее собственной версии (на фоне различий между оценками разных экспертов по общей модели);

- проверку корреляций между содержанием КП и значимыми расхождениями в индивидуальных экспертных мнениях;

- композирование свойств полученной системы оценок в показатель приемлемости обобщенной оценки [26].

При негативном значении показателя приемлемости обобщенной оценки инициируется повторный тур экспертизы в составе ООДП, показанный на рис. 3.

Он начинается с индивидуального пересмотра оценок экспертами, которым предоставляются наиболее обобщенные результаты предыдущего тура. Новая оценка сопровождается аргументированием посредством ссылки на элементы деятельности, представленные в составе *FVPO*-модели ПрО [16].

Обобщение и анализ новых оценок позволяет принять решение об их удовлетворительности либо, при негативном результате, подготовить необходимый информационный контекст структурированной дискуссии. Последняя является обсуждением предоставленных документов с выработкой компромиссного значения оценки, а также ее характеристик:

- обобщенной экспертной оценки ожидаемой степени негативного влияния принятых уступок на каждую из позиций цели (15), соответствующей корню дерева ценности (цена компромисса);

- минимальным и максимальным значением для каждого из тех целевых аспектов оценивания в составе модели, которые признаны экспертами критичными для достижения корневой цели.

По результатам формируются итоговые документы и осуществляется пополнение базы данных ретроспективы экспертиз.

Каждая из парадигм Дельфи-процесса привносит специфические черты в реализацию ООДП.

При реализации *L*-парадигмы виртуальный тур ООДП акцентируется на формировании компромиссных моделей и выборе среди них той, которая обладает наилучшим набором свойств. Формируется также КП.

В начальном туре экспертизы индивидуальные оценки сопоставляются с априорными, а непосредственные оценки корневого аспекта – с полученными посредством свертки.

Устанавливаются элементы из КП, проблемность которых подтвердилась расхождениями в оценках. В повторном туре экспертам предоставляются сведения об обнаруженных внутренних конфликтах в их собственных оценках и обобщенная оценка. Предоставляется также список тех критериев, по которым имеется наибольшее расхождение с другими членами ЭГ, и гипотезы об онтологических причинах этих расхождений.

Независимо от того, пересмотрит ли эксперт свою оценку по такому критерию, он должен указать по ее поводу собственную аргументацию, использованные источники информации и целевую привязку (если они отличаются от имеющихся в составе компромиссной модели). Результаты включают обобщенную оценку, аспекты и причины расхождений, а также динамику изменения согласованности оценок по сравнению с предыдущим туром.

K-парадигма работает с моделью класса прагматически компромиссного объединения, которая строится и исследуется в виртуальном туре. По поводу вершин исходных моделей, не включенных в компромиссную, в ходе начальной экспертизы собираются мнения участников о степени их влияния на корневую цель и степени убедительности их аргументации в исходной модели. Для критериев, по которым ожидается непонимание экспертов

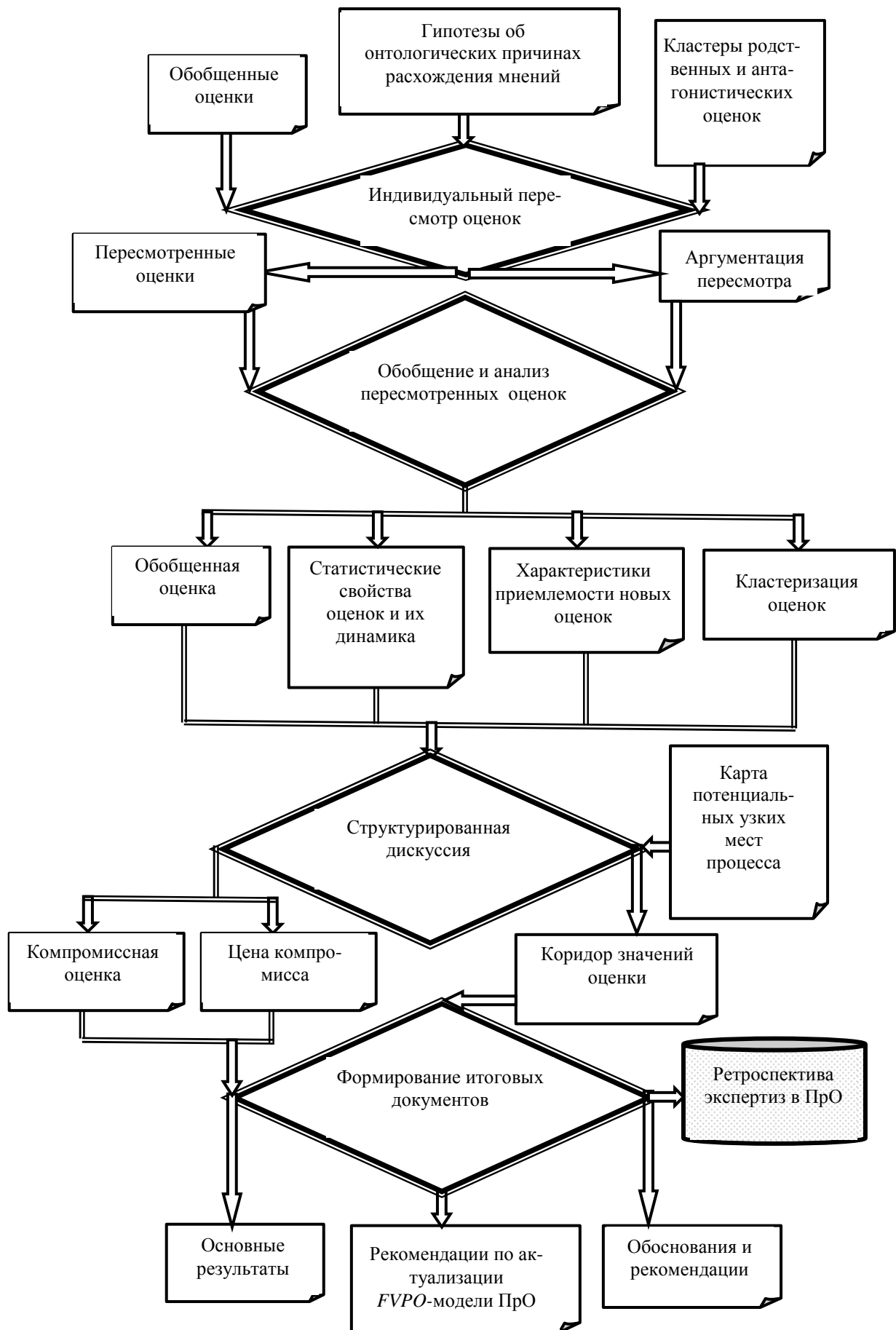


Рис. 3. Схема повторного экспертного тура онтологически обоснованного Дельфи-процесса

с точкой зрения V , выбираются из онтологии $O(V)$ те концепты, которые наиболее близким образом могут служить представлению непонимаемых позиций цели. Эти сведения предоставляются представителям V перед индивидуальным оцениванием. Аналогично, предоставляются неизвестные им и предусмотренные для критерия источники информации. Дискуссионная процедура используется для взаимообучения представителей разных точек зрения.

Г-парадигма изначально направлена на привлечение конфликтующих точек зрения [27]. Поэтому в виртуальном туре производится их выявление: как посредством анализа семантического поля концепта, соответствующего объекту экспертизы, в онтологиях разных точек зрения, так и с помощью анализа результатов предыдущих экспертиз.

Индивидуальное оценивание каждый из участников осуществляет как согласно модели из онтологии своей точки зрения, так и на основе прагматически компромиссной модели. Кроме того, каждый эксперт оценивает степень влияния на конкретную позицию корневой цели тех критериев, которые не включены в компромиссную модель.

Производится разбиение экспертов на две подгруппы по признакам близости: моделей, принадлежащих их точкам зрения; оценок, которые они предоставили; оценок влияния отброшенных критериев.

Обобщение производится в каждой из подгрупп. Каждая подгруппа выполняет коллективную работу по построению своей коллективной версии модели и дает коллективные оценки ее критериев. Вторая коллективная дискуссия осуществляется между подгруппами, каждая из которых аргументирует свою позицию перед другой. Итогом является перечень истоков различия взглядов (цели, аргументация критериев, информационные источники), риски для каждой из позиций цели верхнего уровня, создаваемые такими различиями, а также границы интервала значений наиболее важных критериев (включая корневой).

S-парадигма предполагает участие экспертов в процессе с самого его начала,

для задания условий построения всех видов компромиссной модели и оценки их свойств. С их помощью происходит уточнение формул компромисса посредством получения и введения в них экспертной оценки весов для разных компонентов функции компромиссного выбора. Обобщенные оценки весов используются при выборе модели наиболее перспективного типа. Кроме того, эксперты предлагают собственные альтернативные модели на основе имеющихся в онтологии прототипов. Оценивание осуществляется каждым из экспертов по общей модели и по своей альтернативной.

После обобщения оценок, полученных с использованием компромиссной модели и обобщения оценок целевого показателя, полученных по индивидуальным моделям, производится анализ подтвердившихся элементов КП. Осуществляется также анализ значимости различий между множеством оценок по компромиссной модели и множеством оценок по собственным моделям.

Выявляются элементы собственных версий модели, находящиеся в противоречии с предложенными другими экспертами, либо непонятные для них. Содержанием коллективной дискуссии служит рассмотрение всех этих результатов и получение нового компромиссного варианта модели с экспертной оценкой рисков его использования для позиций корневой цели.

Кроме того, осуществляется оценивание по этой модели в формате

$$\{\langle A, E_1(A), B_1, E_2(A), B_2 \rangle\},$$

где A – актуальный целевой аспект оценивания;

$E_1(A)$ – нижняя граница оценки;

B_1 – аргументация элементов модели, принятию которой соответствует нижняя граница оценки;

$E_2(A), B_2$ – аналогичные показатели для верхней границы оценки.

Кроме того, для S-парадигмы естественным является включение в процесс рекомендаций по актуализации FVPO-модели, связанной с достигнутым взаимным обогащением разных точек зрения. Соответствующие рекомендации касаются:

- введения новых концептов;
- пересмотра *D*-определений имеющих концептов;
- дополнения *D*-определений;
- возврата прежних концептов или версий их определений, признанных в какой-то момент неактуальными.

Выводы

1. Показана перспективность использования системы онтологических моделей множества актуальных точек зрения на ПрО принимаемых решений для поддержки современных парадигм метода Дельфи.

2. Предложен аппарат онтологически базированного автоматического построения версии модели объекта экспертизы, наилучшей для заданного подмножества точек зрения: с позиций полноты использования и возможности развития профессиональных знаний экспертов (концептуальный компромисс), а также с точки зрения выработки общего видения целей, обмена профессиональным опытом и информацией (прагматический компромисс). Разработана и метризована система свойств компромиссных версий модели.

3. Разработана схема онтологически обоснованного Дельфи-процесса (ООДП) выработки экспертных решений. Проанализированы особенности ее процедур и элементов информационной среды в зависимости от выбираемой парадигмы соположения экспертных знаний (взаимодополнительного, конфликтного либо реализующего внутреннее развитие точек зрения).

4. Рассмотренный процесс ООДП позволяет:

- обоснованно выбирать наиболее подходящую для текущей ситуации парадигму Дельфи;
- наиболее полно и многократно использовать выявляемые экспертные знания;
- достигать рационального баланса между полномочиями аналитика, эксперта и использованием формально регламентированных автоматизированных операций.

1. Глушков В.М. О прогнозировании на основе экспертных оценок // Кибернетика, вычислительная техника, информатика. Т.1: Математические вопросы кибернетики. – 1990. – С. 232 – 235.
2. Перевозчикова О.Л. Основы системного анализа об'єктів і процесів комп'ютеризації // Національний ун-т «Києво-Могилянська академія», 2003. – 432 с.
3. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. – Киев: Наук. думка, 2002. – 361 с.
4. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. – Киев: Наук. думка, 2005. – 743 с.
5. Ларичев О.И. Вербальный анализ решений. – М.: Наука, 2006. – 181 с.
6. Крымский С.Б., Жилин Б.Б., Паниотто В.И. и др. Экспертные оценки в социологических исследованиях. – Киев: Наук. думка, 1990. – 320 с.
7. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
8. von Winterfeldt D., Edwards W. Decision Analysis and Behavioral Research. – Cambridge University Press, International edition. – 1986.
9. Саати Т.Л. Метод анализа иерархий: принятие решений при зависимости и обратной связи. – М.: Радио и связь, 2001. – 386 с.
10. Belton V., Stewart T.J. Multiple Criteria Decision Analysis An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers, London, 2002.
11. Turoff M., Linstone H. The Delphi Method: Techniques and Applications. – Addison-Wesley, 2002. – 608 p. – Available at <http://www.is.njit.edu/pubs/delphibook/>.
12. Checkland P., Scholes J. Soft Systems Methodology in Action. John Wiley Sons, Chichester/UK, 1990.
13. Jackson M.C. Five commitments of critical systems thinking. In: Systems thinking in Europe, NY: Plenum Press, 1991. – P. 61–72.
14. Гордон Т.Д. Новые подходы к методу Дельфи. – В кн. Научно-техническое прогнозирование для промышленности и правительственных учреждений: Пер. с англ./ Под ред. Г.М. Доброва. – М.: Прогресс, 1972.
15. Renn O. Participatory processes for designing environmental policies // Land Use Policy. – 2006. – V. 23, Is. 1 – P. 34–43.

16. *Ильина Е.П.* Задачи и методы аналитического сопровождения экспертиз в партисипативных процессах стратегического управления // Проблемы программирования. – 2006. – № 2–3. – С. 421–430.
17. *Ильина Е.П.* Методы автоматизированного управления экспертизами при концептуальной неоднородности экспертных взглядов // Проблемы программирования. – 2007. – № 4. – С. 35–46.
18. *Ильина Е.П., Слабостицкая О.А.* Формы, метрики и свойства отношения сходства между концептами в онтологиях экспертных точек зрения // Проблемы программирования. – 2005. – № 4. – С. 39–49.
19. *Ильина Е.П.* Представление и использование модели “Дерево ценности” в онтологиях партисипативного принятия решений: – Сб. тр. СНУЯЭиП. – 2008. – № 1 (25). – С. 110–121.
20. *Наппельбаум Э.Л., Поспелов Д.А.* Проблемы коллективных решений и экспертных оценок // Вопросы кибернетики. – Теория принятия решений. – 1975. – Вып. 8. – С. 86–102.
21. *Ильина Е.П.* Семиотическая модель развивающихся экспертных точек зрения для поддержки принятия решений // Проблемы программирования. – 2006. – № 3. – С. 51–59.
22. *Ильина Е.П., Слабостицкая О.А.* Системно-аналитическое сопровождение экспертиз и концептуальный компромисс между экспертными точками зрения // Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков: Вестник НТУ «ХПИ», 2005. – № 54. – С. 154–159.
23. *Ильина Е.П., Ольховская Ю.В.* Выявление, формализация и анализ профессиональных знаний о модели экспертного оценивания иерархических альтернатив // Проблемы программирования. – 2002. – № 1-2 – С. 421–429.
24. *Ильина Е.П., Ольховская Ю.В.* Модель предпочтений, формируемая экспертами при разных концепциях сопоставляемых объектов // Проблемы программирования. – 2002. – № 3-4. – С. 83–97.
25. *Ильина Е.П., Слабостицкая О.А.* Цели и критерии логико-статистического анализа экспертных предпочтений в условиях конфликта точек зрения на предметную область проблемы выбора // Проблемы программирования. – 2000. – № 1–2. – С. 471–483.
26. *Ильина Е.П.* Оценка и использование показателей качества экспертного решения проблемы // Проблемы программирования. – 2006. – № 1. – С. 38–45.
27. *Turoff M.* The design of a policy Delphi // Technological Forecasting and Social Change 2 (2). – 1970. – P. 84–98.

Получено 08.01.2009

Об авторе:

Ильина Елена Павловна,
кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник.

Место работы автора:

Институт программных систем
НАН Украины.