



**Ключевые слова:** производство программных систем, задача оценивания, математический аппарат, технология экспертиз, модель процесса экспертного оценивания, онтология, гомоморфизм, метризованное сходство, дерево ценности, обоснованность экспертного решения.

### ВВЕДЕНИЕ

Профессиональная деятельность по созданию программных систем (ПС) приобретает черты и статус промышленной. Она базируется на технологических нормативах, регламентах и оценках результатов действий по проектированию ПС на базовом процессе (Basic Process — *BP*) (с участием аналитиков, программистов, тестировщиков), а также при управлении *BP* (Management Process — *MP*) (с участием заказчиков, менеджеров, оценщиков).

С учетом специфики *BP* [1, 3–6] и *MP* [2–5] деятельность по производству ПС (Production Activity — *PA*) можно представить кортежем:

$$PA = \langle \langle P; DA_P; RQ_P \rangle; P \in \{BP, MP\} \rangle; \quad (1)$$
$$DA_{BP} = DC \cup DI \cup DE \cup DM; DA_{MP} = DC \cup DM,$$

где  $DA_P$  — предметная область принятия решений по управлению  $P$ ;  $RQ_P$  — требования процесса  $P$  к процессу, дополняющему его в  $PA$  (1);  $DC, DI, DE, DM$  — подобласти предметной области программной инженерии (ПрПИ), соответствующие ее выделенным в [6–8] дисциплинам: экономической (Economics), производственной (Industry), инженерной (Engineering) и дисциплине управления (Management).

Достижение основной цели деятельности  $PA$  — повышение качества ПС — предполагает [1–5] многократное оценивание в среде процессов  $P$  из (1), т.е. установление текущих и прогнозных значений: критериев эффективности (для управляемых или контролируемых объектов  $P$ ); уровней достижения (для деловых целей  $P$ ); критериев перспективности (для действий по достижению целей при выполнении  $P$ ).

Для критериев эффективности процесса *BP* сформировались следующие группы методов [1–3]:

— коллективное принятие решений: Дельфи (Н. Хелмер, О. Далки), мозговой штурм (А. Осборн) и их модификации (М. Туроф, С. Фор), — универсальные, но неудовлетворительно ресурсоемкие;

— оценивание качества и трудоемкости проекта ПС на основе байесовских и нейронных сетей — требующие адаптации сети для проекта и не обеспечивающие агрегирования взглядов участников с разными ролями;

— специальные экспертно-аналитические методы для отдельных характеристик (функциональный объем и качество ПС, зрелость организации, мощность про-

цесса жизненного цикла (ЖЦ) и др.); им присущи экспертный или экспертно-аналитический характер, проблемы интеграции в процессах  $P$  из-за различий математического аппарата и необходимость в настройке аналитических зависимостей по ретроспективным данным [7, 8];

— специальные аналитические методы расчета показателей надежности и оптимальных параметров тестирования ПС.

Кроме критериев эффективности, в процессах  $P$  возникает потребность оценивания двух групп характеристик, методы для которых отсутствуют. Элементы первой группы — факторы влияния на критерии эффективности согласно взглядам агентов процессов  $P \in \{BP, MP\}$  с разными ролями. Вторая группа — характеристики, приобретающие статус критериев эффективности в новых подходах к повышению качества ПС (затратность архитектуры [9]), в итеративных и гибких методологиях разработки ПС. Методологии выдвигают требования к оцениванию: унификация относительно всех объектов и характеристик, эффективность коммуникации и учет информированности участников; приобретение и использование опыта оценивания; анализ классификационных отношений и аналогий.

Таким образом, необходимо усовершенствовать процессы  $P$  целостным математическим аппаратом оценивания. Перечисленные методы непригодны для его создания в силу их ресурсных и/или методологических ограничений. Более перспективны многокритериальные методы группового экспертного оценивания, впервые использованные в прогнозировании В.М. Глушковым [10]. Однако из-за различий взглядов агентов с разными ролями и многократности оценивания в ПрПИ нарушены условия их эффективности: совпадение взглядов экспертов на оцениваемую характеристику и приемлемость для них общих источников информации.

Создание на основе данных методов математического аппарата экспертного оценивания в процессах  $P \in \{BP, MP\}$ , адекватного их функциональным потребностям и особенностям, и составляет цель настоящей работы.

## 1. ОЦЕНИВАНИЕ В ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ: ЦЕЛИ И ОСОБЕННОСТИ

С учетом инфраструктуры разработки ПС [1–5] для дальнейшего рассмотрения выбраны процессы  $P$ , удовлетворяющие таким аксиомам.

**AP<sub>1</sub>**. Типы объектов ПрПИ ( $ET$ ) и характеристики, присущие этим типам ( $CH = \cup_{et \in ET} CH^{et}$ ) — понятный базис концепции предметной области принятия решений по управлению  $P$  (ПрП), принятой всеми агентами  $P$ .

**AP<sub>2</sub>**. В ПрП зафиксированы типы объектов ( $FT$ ) и целей ( $FG$ ), а также характеристики ( $FC$ ):

$FT = \{\text{ПС; процес ЖЦ; проект ПС; организация; управление кадрами}\};$

$FC = \{\text{качество, объем; мощность; трудоемкость, срок, риск; зрелость}\};$

$FG = \{\text{установление; выбор; стабилизация; повышение; снижение}\}.$

**AP<sub>3</sub>**. Процессы  $P \in \{BP, MP\}$  циклически реализуют этапы фиксации и пересмотра концепции ПрП.

Деятельность по оцениванию в процессах  $P$  представлена системой унифицированных действий по оцениванию, информационно преемственных для объектов, сходных между собой, имеющих сходные характеристики и/или многократно контролируемых в ходе  $P$ . Каждое такое действие — установление значения характеристики, присущей типу управляемых (контролируемых) объектов  $P$  и/или элементов деятельности по управлению ими. Эта характеристика служит актуальным критерием достижения целей усовершенствования и/или управления  $P$ . Она названа целевой, а объекты, для которых устанавливается ее значение, — оцениваемыми объектами ПрП.

На основании нормативно-методического поля процессов  $P$  [1–8] проанализированы задачи оценивания, возникающие при их выполнении.

Зафиксированы потребности  $P$  в результатах действий по оцениванию:

- а) получение достоверной информации для выработки и адресного обоснования решений по управлению ходом  $P$  согласно его текущим целям;
- б) усовершенствование процессов  $P$  единой средой производственной деятельности  $PA$ , обеспечивающей повышение обоснованности принимаемых управленческих решений и создание условий эффективной деятельности ее участников;
- в) предоставление формального аппарата для ряда методологий (проектирование архитектур семейств ПС заданного качества [9]).

Выявлена специфика процессов  $P$  как среды оценивания. Их методическому обеспечению свойственны [1–5]: альтернативность методов (сопоставленных в табл. 1, где символом «А» отмечены аналитические методы); представление целевой характеристики многокритериальными древовидными моделями или известными зависимостями от древовидных подхарактеристик; оценивание их листьев в контексте регламентированных документов сопровождения  $P$ .

**Таблица 1.** Специальные методы оценивания объектов ПрПИ

Тип объекта	Характеристика	Метод (модель) оценивания
ПС	Качество	Стандартизованная обобщенная модель ISO/IEC 9126, подход В.В. Липаева, подход NASA, байесовские сети
	Функциональный размер	Function Points, Feature Points, Mark-II Function Points, 3D Function Points, Object Points for ICASE, WebObjects
	Производительность	ДСТУ ISO/IEC 14756:2008 [11]
	Надежность	Расчет среднего для неоднородного пуассоновского процесса с использованием оценок максимального правдоподобия параметров его интенсивности <sup>А</sup>
	Оптимальная цена и время тестирования	Решение специальной задачи оптимизации при заданной модели роста надежности [12] <sup>А</sup>
Проект ПС	Трудоемкость, затраты, срок	SLIM, SEER-SEM, аналого-сопоставительный метод <sup>А</sup> , COCOMOs, Webmo
	Риск невыполнения проекта	SRE SEI, подход В.В. Липаева, применение специальных таксономий областей риска (Б. Бозм, К. Джонс, С. МакКоннел), оценка превышения срока проекта, максимизация по Парето, специальные метрики на стадиях ЖЦ, подход NIST 800-30 для рисков информационной безопасности
	Гибкость	Полярная диаграмма Б. Бозма, Р. Турнера [6]
Процесс ЖЦ	Зрелость	SW-CMM, CMMs, CMMI, BOOTSTRAP, TRILLIUM, People CMM
	Мощность	Эталонная модель SPICE и совместимые модели
Организация	Зрелость	Расчет как зрелости $BP$ в организации
	Рейтинг СМК	ДСТУ ISO 9001
Семейство ПС	Затратность архитектуры	Анализ замещений характеристик (ATAM) [13]

Концептуальные особенности ПрП включают: потенциальные различия взглядов на характеристики и источники информации у агентов  $P$  с различными ведомственной (профессиональной) принадлежностью и/или ролями; аналогии (структурные, функциональные, ролевые) и отношения классификации объектов и аген-

тов процессов  $P$  в силу реинжиниринга, разработки семейств и линеек продуктов и дублирования функций агентов  $P$ ; отсутствие общепринятых шкал для характеристик и их зависимость от количественных и качественных факторов с динамичными приоритетами; пополняемость типов оцениваемых объектов и характеристик.

Технологические особенности процессов  $P$  — это множественность и повторяемость действий с одними и теми же объектами ПрП и их характеристиками; информационная преемственность и общие ресурсные ограничения действий; множественность их субъектов и альтернативность способов выполнения; зависимость от информационного контекста — методических источников и документов сопровождения  $P$ ; необходимость автономного и совместного оценивания объектов ПрПИ.

В качестве формальных средств математического аппарата экспертного оценивания выбраны автоматические методы анализа многокритериальных моделей предпочтений класса **дерево ценности** (Д. фон Винтерфельдт [14]), **статистического** (Д.С. Шмерлинг [15]) и **метрического** (Б.Г. Литвак [16]) обобщения мнений как наиболее перспективные для адекватного развития в ПрП.

Результаты анализа использованы в роли оснований состава и структуры математического аппарата экспертного оценивания в ПрП.

## 2. ЗАДАЧА ОЦЕНИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПрП И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ЕЕ ЭКСПЕРТНОГО РЕШЕНИЯ

Для создания математического аппарата экспертного оценивания в процессах  $P \in \{BP, MP\}$  предлагается [17] пополнение  $P$  новым процессом экспертного оценивания. Он предназначен для решения формализованных задач оценивания с помощью экспертиз объектов, взаимосвязанных в единой информационной среде согласно потребностям  $P$ , их специфике и требованиям к действиям по оцениванию. Данный подход включает:

- а) определение задачи оценивания объектов ПрП, конструктивное для достижения целей действий по оцениванию путем адекватной интеграции специальных и автоматических методов в экспертизах;
- б) формирование структуры математического аппарата решения таких задач в виде системы моделей и методов процесса оценивания;
- в) математическую и программную реализацию элементов аппарата;
- г) введение разработанных моделей, методов и программных средств в процессы  $P$  и их апробацию в соответствующих организациях.

**Определение 1.** Задача оценивания и постановка задачи экспертного оценивания целевой характеристики  $ch(et)$  для оцениваемых объектов типа  $et$  — это кортежи

$$\Pi = \langle G, et, ch(et) \rangle; \emptyset \neq G \subseteq GT, et \in ET; ch(et) \in CH^{et}, \quad (2)$$

$$ES(\Pi) = \langle A, d(ch(et), ca_1, cn_1, \dots, ca_n, cn_n), mg, vf \rangle, d \in \Delta_{et, ch},$$

где  $G$  — цели, для достижения которых инициируется решение  $\Pi$ ;  $A = \{a = (ud, t)\}$ ,  $|A| \geq 1$  — оцениваемые на момент времени  $t$  объекты  $ud$  типа  $et$ , названные альтернативами;  $d: [0; 1]^n \rightarrow Sc_{ch}$  — зависимость  $ch(et)$  от ее подхарактеристик  $ca_l \in CH^{et}$ ,  $l = 1, \dots, n$ ;  $Sc_{ch}$  — шкала для  $ch(et)$ ;  $\Delta_{et, ch}$  — допустимые зависимости;  $\emptyset \subseteq cn_l$  — контекст оценивания характеристики  $ca_l$ ;  $mg$  — модель экспертной группы (роли агентов процессов  $P$ , используемых как эксперты при оценивании  $ca_l$ ,  $l = 1, \dots, n$ );  $\emptyset \subseteq vf$  — документы для верификации оценок альтернатив  $\{ch(a), a \in A\}$ .

Структура аппарата решения задач (2) приведена на рис. 1.

**Методический каркас** аппарата сопоставляет формализованной задаче оценивания (2) аксиомы  $AP_1$ – $AP_3$  и конструкты, обеспечивающие удовлетворение потребностей процессов  $P$  за счет экспертиз процесса оценивания. Они включают: требования к функциям, агрегирующие потребности выбранных методов и требования методических источников; функции оценочных действий по решению задач (2) в ходе  $P$ ; механизмы реализации функций в экспертизах.

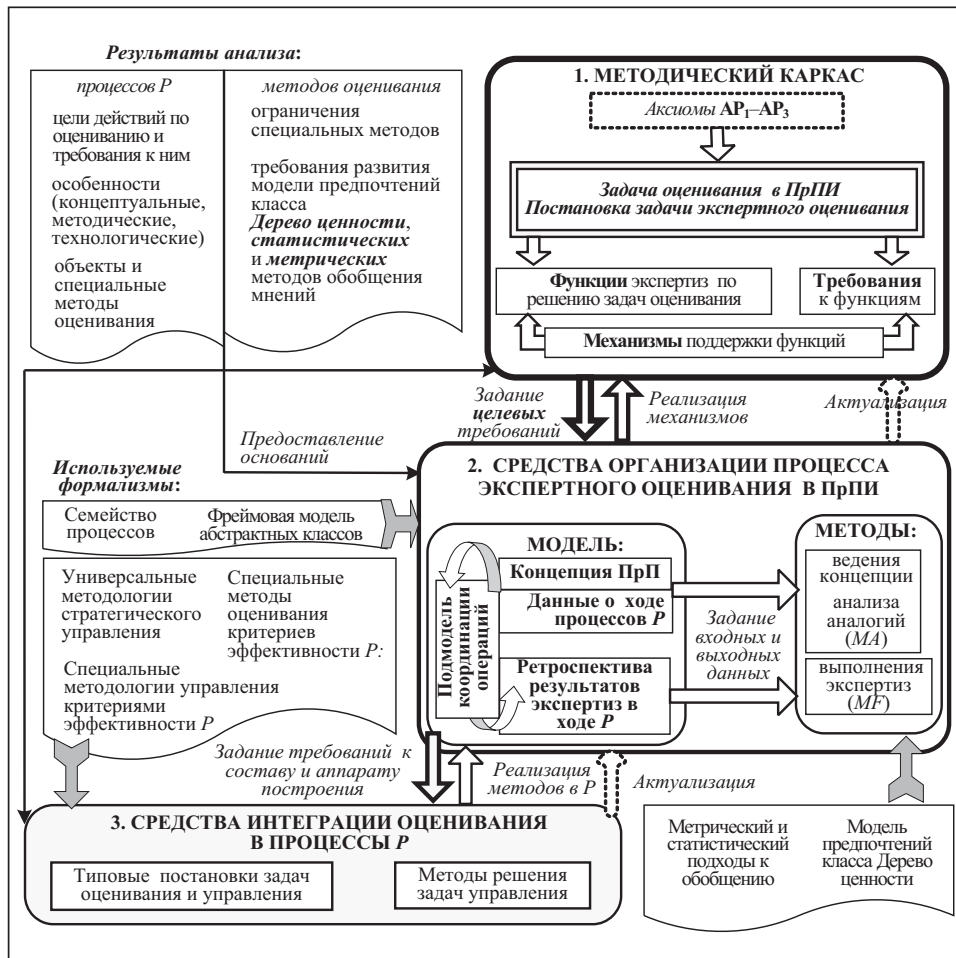


Рис. 1. Структура математического аппарата экспертного оценивания

**Средства организации** процесса оценивания обеспечивают выполнение функций с помощью введенных механизмов. Модель процесса оценивания определяет информационную и технологическую среду реализации методов в его операциях. Она также задает направления развития выбранных многокритериальных методов для обеспечения механизмов и требования к их входным и выходным данным.

**Средства интеграции** оценивания в процессы  $P$  — типовые постановки задач оценивания и управления, а также методы их решения — предоставляют исходные данные для методов процесса оценивания и позволяют использовать его результаты для обеспечения потребностей  $P$ .

Согласно рис. 1 возможность накопления опыта оценивания на уровнях компонентов математического аппарата «снизу вверх» обеспечивается его иерархической структурой — за счет актуализации подчиняющего компонента на основании результатов, полученных на уровне подчиненного. Наоборот, использование опыта «сверху вниз» осуществляется за счет целевых требований к подчиненному элементу.

Сопоставление особенностей  $P$  с возможностями и ограничениями [14–16] выбранных методов оценивания позволило зафиксировать [17] функции из каркаса ( $\Phi_1-Φ_6$ ) и требования к ним ( $T_1-T_4$ ):  $\Phi_1$  — построение модели оценивания объектов ПрП заданного типа;  $\Phi_2$  — мониторинг оценок объектов ПрП;  $\Phi_3$  — выбор объекта ПрП с оптимальным значением оцениваемой характеристики;  $\Phi_4$  — анализ адекватности модели оценивания объектам ПрП;  $\Phi_5$  — анализ согласованности взглядов экспертов на объект ПрП;  $\Phi_6$  — сопоставление взглядов агентов про-

цессов  $P$  на объекты ПрП;  $T_1$  — согласованное сохранение опыта оценивания на уровнях организации и проекта ПС;  $T_2$  — создание условий совместного совершенствования  $P$  их агентами;  $T_3$  — повышение качества результатов и эффективности оценочных действий в  $P$ ;  $T_4$  — полнота оцениваемых характеристик по отношению к целям  $P$ .

На основании (2) и возможностей выбранных многокритериальных методов определен состав механизмов реализации функций  $\Phi_1$ – $\Phi_6$ :  $M_1$  — унифицированная технология решения задач (2) (поддерживаются функции  $\Phi_1$ – $\Phi_6$  и требования  $T_1$ – $T_4$ );  $M_2$  — ведение единой онтологической среды оценивания с объектным и концептуальным уровнями ( $\Phi_1$ – $\Phi_6$ ,  $T_1$ – $T_3$ );  $M_3$  — ведение ретроспективы оценивания в ПрП ( $\Phi_1$ – $\Phi_3$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ );  $M_4$  — анализ отношений классификации и аналогий ( $\Phi_1$ – $\Phi_3$ ,  $T_3$ );  $M_5$  — адекватное использование опыта оценивания ( $\Phi_1$ – $\Phi_6$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ );  $M_6$  — количественное оценивание риска принятия решения относительно оцениваемых объектов ( $\Phi_1$ – $\Phi_4$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ );  $M_7$  — автоматическое обоснование обобщенных оценок объектов ПрП для их заказчиков ( $\Phi_1$ – $\Phi_6$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ );  $M_8$  — сравнение обобщенных оценок одних и тех же объектов в разных экспертизах ( $\Phi_6$ ,  $T_1$ – $T_3$ ).

Механизмы  $M_1$ – $M_8$  реализованы за счет развития в ПрП и непротиворечивой интеграции [17]: многокритериальных методов [14–16], формализма семейства процессов [18], специальной фреймовой модели описания онтологий [19] и методов подбора экспертов [15, 16] при построении модели и разработке методов процесса оценивания.

### 3. ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПрП

Суть разработанной технологии (интегрирующего механизма  $M_1$ ) — сопоставление задаче оценивания (2) множества унифицированных подпроцессов оценивания. Такой подпроцесс реализует отдельное действие по оцениванию для фиксированных альтернатив  $A$ , формируя обоснованные оценки  $\{ch(a), a \in A\}$  при фиксации остальных элементов постановки  $ES(\Pi)$  как начальных данных.

**Процесс оценивания** представлен пополняемой системой подпроцессов. Они развертываются в процессах  $P$  на этапах фиксации концепции ПрП (аксиомы  $AP_1$ – $AP_3$ ) в информационной среде, соответствующей текущей концепции ПрП до ее очередного пересмотра. Подпроцессы формируют систему экспертиз, информационно взаимосвязанных для объектов действий по оцениванию: многократно контролируемых в процессах  $P$ ; связанных аналогиями и/или отношениями классификации; обладающих целевыми характеристиками, для которых имеют место указанные отношения. Первоначально решается одна и та же задача оценивания (2) при разных начальных условиях, а затем — разные задачи для разных (сходных) типов объектов и/или их целевых характеристик.

Для подпроцесса оценивания технология определяет четыре этапа последовательного решения задачи экспертного оценивания (2), методы их выполнения и результаты, представленные на рис. 2 (серым цветом обозначены их обязательные элементы). Для получения промежуточных результатов первых трех этапов (общей и детализированной постановки, а также оценки подхарактеристики) и окончательного результата четвертого этапа (решения задачи (2)) предназначены процедуры ( $PG, PP, PE, PS$ ) и методы оценивания ( $MF = MG \cup MP \cup ME \cup MS$ ). При этом концепция ПрП пополняется элементами этих результатов, интерактивно введенными как типы и объекты ПрП, с помощью процедур ( $PC, PE$ ) и методов ( $MA = CM \cup EM$ ) актуализации. Для обеспечения целостности среды оценивания процедура пересмотра концепции ПрП по результатам экспертиз предусмотрена вне подпроцессов на этапах ее пересмотра.

Описанная унифицированная структуризация результатов подпроцесса отображает все элементы постановки задачи экспертного оценивания (2) и оценки альтернатив. При этом результаты очередного этапа служат входными данными для следующего, что способствует образованию иерархии результатов, названной сле-

дом подпроцесса (рис. 2). Именно она обеспечивает возможность повторного использования результатов процесса оценивания всеми его участниками на всех этапах подпроцессов.

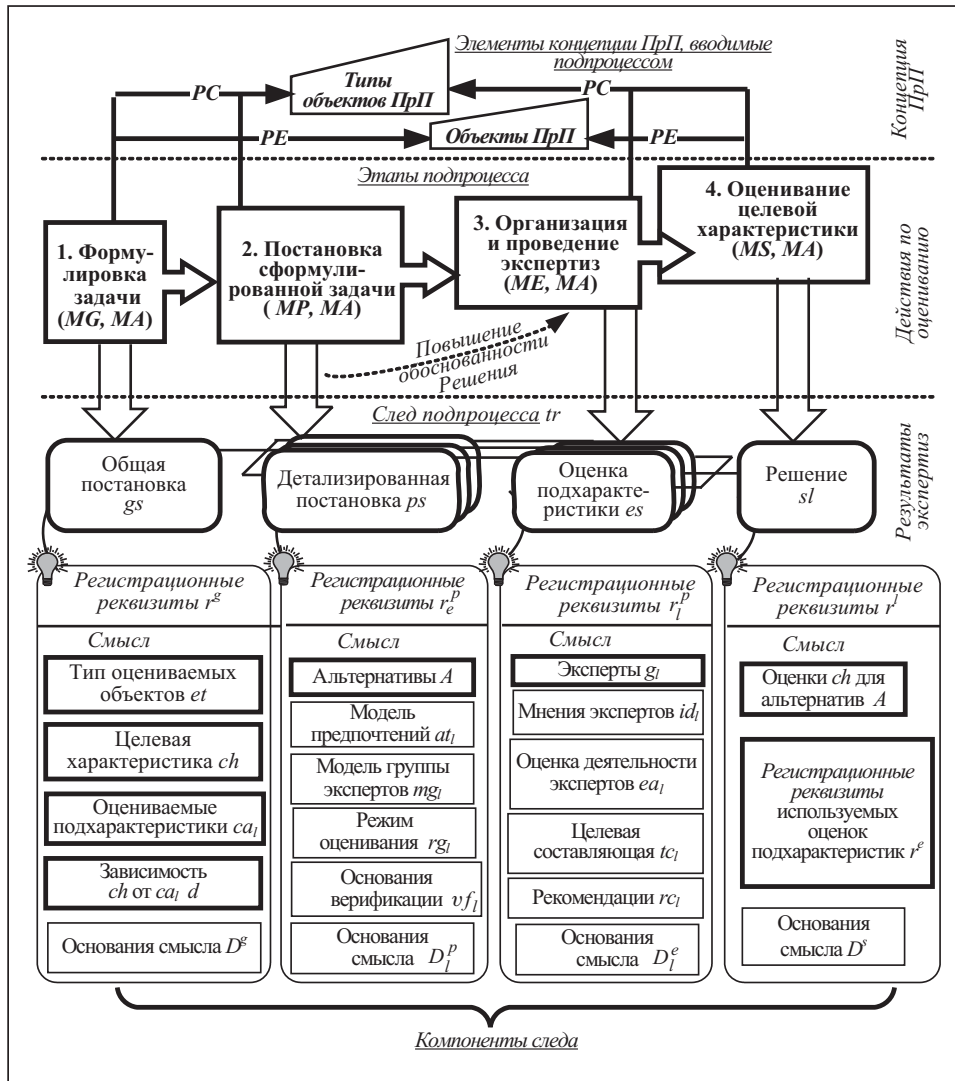


Рис. 2. Схема этапов и результаты подпроцесса оценивания экспертиз

Технология устанавливает требования к методам подпроцесса:

- использование всех информационных источников (интерактивное формирование среды оценивания его агентами; ее формальный анализ и поиск в ней; агрегирование индивидуальных мнений экспертов);
- формализация свойства качества экспертного решения с помощью показателя обоснованности;
- максимизация обоснованности в одной экспертизе и ее последовательное повышение в экспертизах из подпроцессов.

Предложенная организация процесса оценивания обеспечивает механизмы  $M_2, M_3, M_5, M_8$ , реализуя:

- сопоставление взглядов на задачу оценивания (2), представляемых агентами процессов  $P$  с разными ролями, и учет уровня их информированности относительно альтернатив;
- повторное использование знаний агентами всех подпроцессов;
- повышение обоснованности оценок объектов ПрП.

#### 4. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОЦЕНИВАНИЯ И ЕЕ СВОЙСТВА

Назначение модели в сформированном математическом аппарате — реализация механизма  $M_4$  и формирование информационной и технологической среды интеграции механизмов  $M_2-M_7$  для выполнения функций экспертиз согласно описанной технологии  $M_1$ . Способ построения модели — формализация процедур  $M_1$  как операций процесса оценивания.

В соответствии с охарактеризованной выше спецификой процессов  $P$  и технологией  $M_1$  объединим в формализме семейства процессов [18] библиотеки агентов и артефактов и выделим ретроспективу результатов оценивания в отдельный компонент среды. Для полученной модели введем следующее определение.

**Определение 2.** Модель процесса оценивания объектов ПрП — это пара

$$PM = \langle EE, CM \rangle, EE = O \cup R, \quad (3)$$

где  $EE$  — информационная среда процесса оценивания;  $CM$  — подмодель координации его операций;  $O$  — онтология знаний о ПрП;  $R$  — ретроспектива результатов экспертиз процесса.

В модели (3) онтология  $O$  отражает текущее состояние концепции ПрП на этапах ее фиксации (см. аксиомы  $AP_1, AP_3$ ). Она совмещает роли внешнего источника данных о задачах (2) для процедур  $M_1$  и среды сохранения их решений на концептуальном уровне для обеспечения механизмов  $M_2, M_4$ .

Ретроспектива  $R$  обеспечивает реализацию механизмов  $M_2, M_3$  и предоставляет ее среду для механизмов  $M_4, M_5, M_8$ . Она играет двойственную роль внутренней информационной среды всех подпроцессов оценивания, управляемой онтологией  $O$ , и источника данных для актуализации  $O$  в процедурах пересмотра среды  $EE$  (3).

Подмодель координации  $CM$  неявно задает состав методов оценивания ( $MF$ ) и актуализации ( $MA$ ) для процедур технологии  $M_1$ , обеспечивающий их полную и избыточную поддержку, и модель интеграции методов в механизмах  $M_1-M_8$ , реализуемых этими процедурами.

Элементами онтологии  $O$  являются:

- концепты  $C$  — представления элементов ПрП, соответствующих компонентам задачи оценивания  $S$  (2));
- их параметры  $\{par_C\}$ , отражающие свойства (атрибуты) концептов со структурой значений, не сложнее векторной, зависимости между которыми отсутствуют или несущественны для представления;
- экземпляры концептов  $\{E_C\}$  — представления конкретных оцениваемых объектов ПрП.

Для построения онтологии  $O$  среди современных подходов выбран подход Methontology [20]. Он применяется к выявленным множествам элементов ПрП, играющим роли типов оцениваемых объектов ( $FT \cup UT$ ), их характеристик ( $FC \cup UC$ ) и целей ( $GT$ ) в задачах оценивания (2), которые возникают в ходе процессов  $P$  [1–5]. Создаются иерархии понятий ПрП (рис. 3), корни которых зафиксированы [17] как категории  $CC_\kappa = \{C\}$ ,  $\kappa \in K = \{\kappa_i, i = 1, \dots, 8\}$  концептов  $O$ , а узлы первого уровня — как классы этих категорий.

Представление элементов задачи (2) с помощью концептов категорий  $\kappa \in K$  имеет вид

$$ET = \bigcup_{\kappa \neq 6, 8} CC_\kappa; CH = \bigcup_{et \in ET} CH^{et} = CC_8 \cup par; GT = CC_6, \quad (4)$$

$$P \in \{C \in CC_5 \mid C \in \langle \text{Задание на оценивание} \rangle\} := ST.$$

Состав классов актуализируется при пересмотре концепции ПрП.

Использование опыта оценивания (механизм  $M_5$ ) обеспечивает специальный формализм представления концептов онтологии  $O$ . Концепт  $C \in CC_\kappa$ ,  $\kappa \in K$ , описывается в виде абстрактного класса фреймовой модели Н. Ной [19] посредством идентификации его типизированных связей с другими элементами  $O$  (концептами и параметрами)  $C^* \neq C$ , которые названы объясняющими.



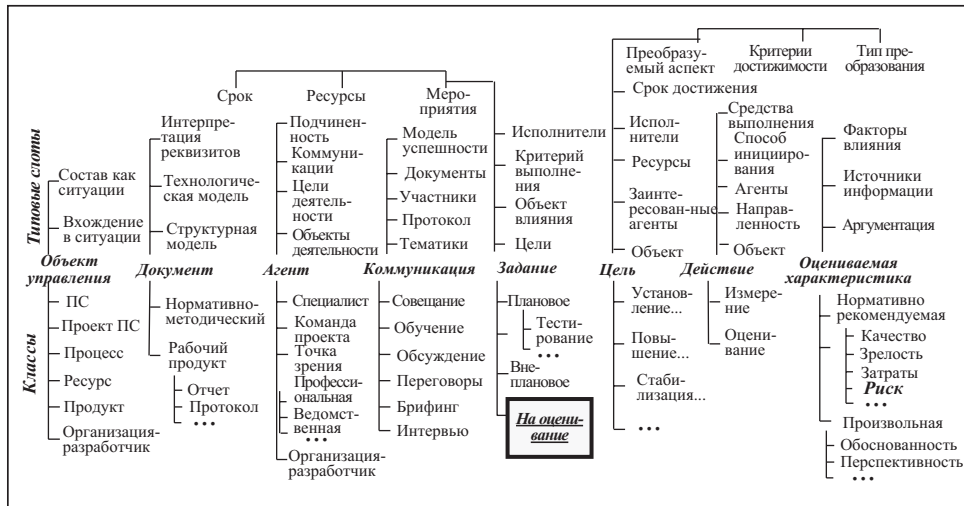


Рис. 3. Состав категорий и классов онтологической модели ПрП

Типы этих связей разбиты на две непересекающиеся группы: общие для всех концептов онтологии ( $CS$ ); специфичные для концептов категории  $k \in K$  ( $SS_k$ ). В фрейме описания концепта  $C \in CC_k$  они представлены слотами  $sl \in SL_k = CS \cup SS_k$ , которые имеют значения  $m_C(sl) = \{C^*\}$ . В качестве общих введены стандартные слоты «Параметры» ( $par$ ), «Надклассы» ( $ao$ ), «Подклассы» ( $ai$ ), «Целое» ( $po$ ), «Часть» ( $pi$ ) и обусловленный задачей (2) слот «Пара» ( $ec$ ). Он описывает концепты — целевые характеристики  $ch(et)$  для  $C = et \in ET$  (типа объектов оценивания) и, наоборот, концепты — типы объектов  $et \in ET$  для  $C = ch(et) \in CH^{et}$ , т.е.  $m_C(ec) = \{ch(et)\}$ ,  $C = et$ ;  $m_C(ec) = \{et\}$ ,  $C = ch(et)$ . Специфичные слоты приведены в верхней части рис. 3.

Фреймы категории  $k \in K$ , концепта  $C \in CC_k$  и экземпляра  $E_C$  имеют вид

$$SL_k = CS \cup SS_k; CF_C = \langle \langle m_C(sl), sl \in SL_k \rangle, AX, \langle m_C(sl), sl \in Rel \rangle \rangle, \\ m_C(sl) = \{C^*\}, sl \in SL_k, m_C(sl) = \{C^R\}, sl \in Rel; \quad (5)$$

$$EF(E_C) = \langle m_C(par), \langle E_{C^*}, C^* \in m_C(sl), sl \in SL_k \rangle, \langle E_C^R, C^R \in m_C(sl), sl \in Rel \rangle \rangle,$$

где  $AX$  — аксиомы относительно допустимых соотношений  $C^* \in m_C(sl)$  [20];  $Rel$  — слоты, представляющие предметные отношения  $C$  в ПрП;  $m_C(par)$  — значения параметров концепта  $C$  для экземпляра  $E_C$ ;  $C^R$  — концепты, связанные с  $C$  предметными отношениями.

Элементами второго компонента модели (3) — ретроспективы  $R$  — являются структуры знаний специального типа, названные протоколами оценивания. Они служат формальным представлением всех результатов подпроцессов оценивания характеристики  $ch(et)$  для альтернатив  $A$  типа  $et$  при решении задачи оценивания (2) согласно технологии  $M_1$ .

Протокол оценивания  $ch$  для объектов типа  $et$  — это кортеж

$$ep(et, ch) = \langle tr(d, A), A \in \{E_{et}\}, d \in \Delta_{et, ch} \rangle. \quad (6)$$

Его составляют [17] следы подпроцессов оценивания  $ch$  для альтернатив  $A$  с использованием зависимости  $d$  из (2)

$$tr(d, A) = \langle gs(d); \langle \langle ps_l(gs, A); es_l(ps_l) \rangle, l = 1, \dots, n \rangle; sl(gs, es_l, l = 1, \dots, n) \rangle. \quad (7)$$

Компонентами следов являются элементарные структуры знаний:

- общая постановка задачи оценивания для зависимости  $d$

$$gs(d) = \langle et, ch, d(ca_1, \dots, ca_n), D^g, r^g \rangle; \quad (8)$$

- ее детализированные постановки для альтернатив  $A$

$$ps_l(gs) = \langle A, at_l, vf_l, mg_l, rg_l, D_l^p; r_l^p \rangle; \quad (9)$$

- оценка подхарактеристики  $ca_l$  согласно  $ps_l$

$$es_l(ps_l) = \langle g_l, id_l, gd_l, D_l^e; r_l^e \rangle \quad (10)$$

и решение задачи

$$sl(gs, (es_l, l=1, \dots, n)) = \langle (re_l, l=1, \dots, n); (ch(a), a \in A); D^s; r^s \rangle. \quad (11)$$

В выражениях (6)–(11) использованы обозначения из (2);  $at_l$  и  $rg_l$  — модели предпочтений для  $ca_l$  и режим оценивания  $A$  по  $at_l$ ;  $g_l, id_l, gd_l$  — состав экспертов, их индивидуальные мнения относительно  $A$  и результат их обработки в экспертизе по  $ps_l$ ;  $r^v, D^v, v \in \{g, p, e, s\}$  — регистрационные реквизиты структур типов  $gs, ps, es, sl$  и их информационное обоснование — классы и экземпляры документов ПрП.

Согласно выражениям (6)–(11) след подпроцесса  $tr(d, A)$  (7) служит формальным представлением иерархии его результатов. Такие следы формируют в составе протокола (6) иерархию множеств  $(K^t)$  структур типов  $\tau \in TS = \{tr, gs, ps, es, sl\}$ . Она предоставляет все элементы постановки задачи (2) и ее решение для совместного использования всеми агентами процесса оценивания, обеспечивая механизмы  $M_2, M_3, M_5, M_8$ .

Назначение третьей составляющей модели процесса оценивания (3) — подмодели координации  $CM$  — формализация состава и информационных взаимосвязей процедур технологии  $M_1$ , подпроцесса и процесса оценивания как системы подпроцессов.

При построения модели процедурам технологии  $M_1$  (см. рис. 2) сопоставляются операции оценивания  $eo \in EO = \{FG, FP, FE, FS\}$  и соответственно актуализации среды  $EE$  (3)  $oa \in OA = \{CA, EA, SR\}$ . Операции  $OE$  реализуют получение результатов решения задачи (2) в виде объектов элементарных структур ретроспективы типов  $\tau \in TS$  (8)–(11). Операция  $SR$  осуществляет регистрацию этих объектов в ретроспективе. Операции пополнения онтологии  $O$  вводят в нее их интерактивно заданные элементы в виде концептов ( $CA$ ) и их экземпляров ( $EA$ ). Для обеспечения целостности среды  $EE$  операции удаления ее элементов выносятся за пределы подпроцессов оценивания в составе специальной операции пересмотра среды ( $ER$ ), которая формализует соответствующую процедуру  $PR$ .

Опираясь на охарактеризованную семантику операций оценивания  $oe \in OE$ , опишем их как отображения

$$FG: IE_u \rightarrow K^{gs}, u \in \{t, s\}; IE_u = \begin{cases} ST, u = t, \\ 2^{ST} \setminus \emptyset, u = s; \end{cases} FP: K^{gs} \rightarrow K^{ps}; \quad (12)$$

$$FS: K^{gs} \times \otimes_{ch \in CH^{et}} K^{es} \rightarrow K^v, v \in \{sl, tr\}; FE: K^{ps} \rightarrow K^{es}.$$

Подмодель координации  $CM$  определим как одноуровневое дерево, соответствующее состоянию среды оценивания на заданном этапе фиксации концепции (рис. 4).

Его корень — операция  $ER$  пересмотра среды  $EE$  по завершении этапа, а листья — модели  $MTP(et_u, ch_u)$  систем подпроцессов оценивания характеристик  $ch_u \in CH^{et_u}$  для альтернатив фиксированного типа  $et_u \in ET$  из (2), формирующих протоколы  $ep(et_u, ch_u)$  (6).

Как показано на рис. 4, модель-лист представлена структурированным кортежем моделей подпроцессов ( $MSP(et_u, ch_u, A_u, RQ_{rw})$ ) оценивания  $ch_u$  для альтернатив  $A_u$  с реквизитами  $RQ_{rw} = (at_v, mg_v, vf_v, rg_v, g_v)$  (см. (8)–(10)). Закругленные стрелки обозначают использование ретроспективного опыта оценивания в экспертизах текущих подпроцессов с помощью методов оценивания  $MF$ .

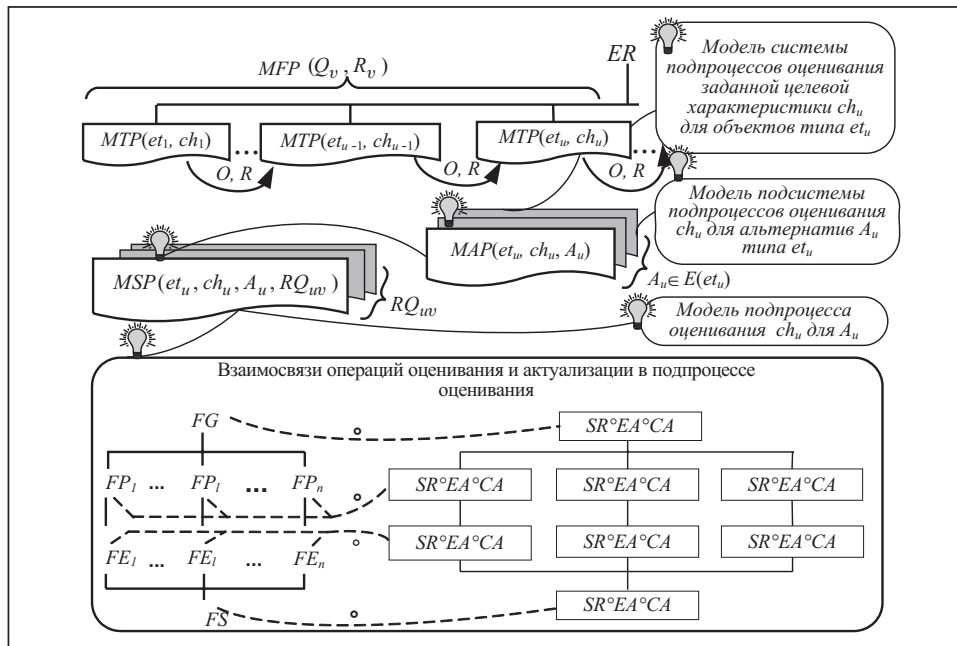


Рис. 4. Структура подмодели координации операций процесса оценивания

Модель  $MSP(et_u, ch_u, A_u, RQ_{uw})$  — ориентированный ациклический граф с двумя подграфами. Вершины первого из них — операции оценивания  $eo \in EO$  (12), а структура идентична структуре следа подпроцесса  $tr(d)$  (7).

Первый подграф отображает взаимосвязи процедур оценивания, при выполнении которых формируются следы подпроцесса  $tr(d)$  (7) в составе протокола  $ep(et, ch)$  (6). Второй подграф образован операциями пополнения онтологии  $O$  концептами ( $CA$ ) и их экземплярами ( $EA$ ) в операциях  $eo$  и регистрации их результатов в  $R$  ( $SR$ ). Вследствие совместного выполнения процедур оценивания и актуализации на этапах подпроцесса оценивания, уровни этих графов связаны операциями композиции их элементов (см. рис. 4).

Для обеспечения механизмов  $M_4, M_5$  исследуются [17] алгебраические свойства построенного процесса оценивания. Для этого введено его описание как отображения специального вида.

**Определение 3.** Процесс оценивания объектов ПрП — это множество взаимосвязанных, согласно подмодели  $CM$ , подпроцессов  $SP(\Pi)$  решения задач оценивания  $\Pi \in ST$  (2), определенных при текущем состоянии онтологии  $O$ . Подпроцесс  $SP(\Pi)$  — это композиция ( $\circ$ ) операций оценивания  $eo \in EO$ , пополнения и регистрации, структурированная согласно следу  $tr(d, A)$  в протоколе  $ep$  (6) решения задачи оценивания  $\Pi$ :

$$FP = \{SP(\Pi) \mid SP(\Pi) \in MTP(et, ch), \Pi = \langle G, et, ch(et) \rangle \in ST\};$$

$$SP(\Pi) = FS^* \circ (\circ^n (FE^* \circ FP^*) \circ FG^*; \quad (13)$$

$$eo^* = SR \circ (\circ_{e \in I(eo)} CA \circ EA) \circ eo, \quad eo \in EO,$$

где  $I(eo)$  — концепты и их экземпляры, введенные в  $O$  в ходе операции  $eo$ .

Для обеспечения механизмов  $M_4, M_5$  в среде оценивания  $EE$  определены стандартные метаотношения род-вид (**is\_a**) и часть-целое (**part\_of**), а также специальное метаотношение метризованного сходства. Они служат формальными представлениями классификационных отношений и аналогий (функциональных, структурных, ролевых) в ПрП. Их предикаты задаются в онтологической модели  $O$  и «поэлементно» распространяются на ретроспективу  $R$  с учетом связи протокола оценивания  $ep(et, ch)$  (6) с решаемой задачей оценивания  $S = \langle G, et, ch(et) \rangle$  (2) и его структуры.

При формализации сходства использовано раскрытие  $D_C$  концепта  $C$  — вспомогательный конструкт, развивающий аналогичный конструкт [21] согласно структуре фрейма (5) в онтологии  $O$ . Это ориентированный ациклический граф (дерево)  $Z$  с корнем  $C$  и вершинами  $k$ -го уровня  $v_{ki} = (sl_k^*, C_{kv}^*)$ ,  $k = 1, \dots, M_C$ , формирующее иерархию всех объясняющих элементов  $C_{kv}^*$  — до параметра или «точки зацикливания» — концепта  $Z_{rs}$ , входящего в число объясняющих элементов для концепта  $ZE$ , объясняющего  $Z_{rs}$ .

В определении 4 под сходством концептов  $X, Y \in CC_K$  понимается частичное совпадение в  $D_X, D_Y$  вершин одинаковых уровней. Слоты — их первые элементы, и эти уровни задают форму сходства  $\Phi$ .

**Определение 4.**  $is\_a(X, Y) \Leftrightarrow X \in m_Y(ai)$ ;  $part\_of(X, Y) \Leftrightarrow X \in m_Y(pi)$ ,

$$(\forall X, Y \in CC_K) SIM^\Phi(X, Y) \Leftrightarrow \forall S \in \Phi, i = 1, \dots, q(S) C_{XY}(k_i(S)) \neq \emptyset, \quad (14)$$

$$\Phi = \langle S; \langle k_1(S), \dots, k_{q(S)}(S) \rangle, S \in SS \subseteq SL_K, SS \neq \emptyset \rangle,$$

где  $C_{XY}(k_i(S))$  — вершины уровня  $k_i(S)$ , общие для поддеревьев  $PD_{SX}, PD_{SY}$  из  $D_X, D_Y$ , первый элемент в корнях которых — слот  $S \in SS$ ;  $\Phi$  — форма сходства.

Согласно требованиям технологии  $M_1$  к методам процесса оценивания для уровня сходства  $SIM^\Phi$  предложено определение 5. В нем используется расстояние между  $D_X, D_Y$  по известной метрике А.В. Раппопорта в пространстве деревьев [22].

**Определение 5.** Уровень сходства  $X, Y \in CC_K | SIM^\Phi(X, Y)$  имеет вид

$$\begin{aligned} \mu^\Phi(X, Y) = \\ = \sum_{S \in SS} \left( 1 - \left( \sum_{1 \leq i < j \leq |H(S)|} |e_{ij}(S, X) - e_{ij}(S, Y)| \right) / |H(S)| (|H(S)| - 1) \right) / |SL_K|, \quad (15) \\ e_{ij}(S, C) = \begin{cases} 1, \text{ если } v_i \text{ подчинена } v_j \text{ в } PD_{SC}, \\ -1, \text{ если } v_j \text{ подчинена } v_i \text{ в } PD_{SC}, v_i, v_j \in H(S) = V_{SX} \cup V_{SY}, \\ 0 \text{ в противном случае,} \end{cases} \end{aligned}$$

где  $V_{SC}$  — множество вершин в дереве  $PD_{SC}$  (14) для концепта  $C \in \{X, Y\}$ .

В ретроспективе  $R$  структуры  $s_1, s_2 \in K^\tau$  считаются связанными отношениями ( $is\_a$ ) и ( $part\_of$ ), если они имеют место для предшественников  $s_1, s_2$  в онтологии  $O$  (при  $\tau \in \{ep, tr, gs\}$ ) или в следе подпроцесса  $tr_i$  (7) (при  $\tau \in TS \setminus \{gs\}$ ). Для предиката отношения сходства  $SIR^{\Psi(\tau)}$ ,  $\tau \in TS$ , введено определение.

**Определение 6.** Предикат отношения сходства  $SIR^{\Psi(\tau)}$  имеет вид

$$\forall (s_1, s_2 \in K^\tau, \tau \in TS) SIR^{\Psi(\tau)}(s_1, s_2) \Leftrightarrow \forall \varphi \in \Psi(\tau) \varphi(s_1, s_2), \tau \in TS, \quad (16)$$

где  $\Psi(\tau) \subseteq \Theta_1^\tau \cup \Theta_2^\tau$ ,  $\tau \in TS$ , — форма сходства;  $\Theta_i^\tau = \{\varphi_i^{el}, el \in EL_i^\tau\}$ ,  $i = 1, 2$ ;  $EL_1^\tau$  — множество обязательных элементов структур типа  $\tau$  (8)–(11);  $EL_2^\tau = \{et, ch, p\}$ ;  $\varphi_1^{el}, \varphi_2^{el}$  — отношения элементного сходства типа  $el \in EL_1^\tau$  (для структур  $s_1, s_2 \in K^\tau$ ) и типа  $el \in EL_2^\tau$  — для предшественников  $s_i$  в онтологии  $O$  (концептов  $et_i, ch_i$ ) или в составе следа  $tr_i(d)$  (7).

Предикат отношения  $\varphi_1^{el}$  зависит от типа элемента  $el \in EL_1^\tau$ ,  $i = 1, 2$ :

$\varphi_1^{el} = SIM^\Phi$  на множествах  $ET, CH, DC = CC_2 \cup \{E_C | C \in CC_2\}$ ,  $el \in \{et, ch, D\}$ ;

$\varphi_1^{el}(s_1, s_2) \Leftrightarrow \exists (E_i, C_i), i = 1, 2 | (E_i \subseteq \{E_{C_i}\}, i = 1, 2) \wedge SIM^{\varphi_1^{el}}(C_1, C_2)$ ,  $el \in \{A, vf, mg, g\}$ ;

$\varphi_1^{at}$  — совпадение вершин одинаковых уровней в моделях  $at_{li}$ ,  $el = at$ ;  
 $\varphi_1^d \Leftrightarrow \exists (E_i \subseteq \{ca_l, l=1, \dots, n_i\}, i=1, 2 | \forall s_1 \in E_1 \exists (s_2 \in E_2, \Phi) | SIM^\Phi(s_1, s_2),$   
 $el = d$ ;  
 $\varphi_2^{el} = SIM^\Phi$  на множествах  $ET, CH$ ,  $el \in \{et, ch\}$ ;  
 $\varphi_2^P$  — сходство предшественников в онтологии  $O$  или в следе  $tr_i$  (7).

Для следов (7) сходство введено аналогично  $SIM^\Phi$  (14), но совпадение вершин в  $D_X, D_Y$  (определение 4) заменено сходством  $SIR^{\Psi(\tau)}$  (16) структур  $s_1, s_2 \in K^\tau$ ,  $\tau \in TS$  из  $tr_1, tr_2 \in K^{tr}$ . Сходство протоколов (6) ( $SIR^{\Psi(ep)}$ ) определено как сходство следов в их составе. Предикаты  $SIR^{\Psi(\tau)}$  имеют вид

$$SIR^{\Psi(tr)}(tr_1, tr_2) \Leftrightarrow \forall ((v, i) | \Psi_i \in \Psi(tr))$$

$$Wi(v) = \{(s_1, s_2) \in K^\tau | SIR^{\Psi_i(v)}(s_1, s_2)\} \neq \emptyset; \quad (17)$$

$$SIR^{\Psi(ep)}(ep_1, ep_2) \Leftrightarrow \exists tr_i^* \in ep_i, i=1, 2 | SIR^{\Psi(tr)}(tr_1^*, tr_2^*), \quad (18)$$

$$\Psi(tr) = \langle v; \langle \Psi_1(v), \dots, \Psi_{q(v)}(v) \rangle, v \in SS \subseteq TS \rangle,$$

$$\Psi(ep) = \langle \Psi_u(tr) | \exists tr_{ui} \in ep_i, i=1, 2 | SIR^{\Psi_u(tr)}(tr_{u1}, tr_{u2}) \rangle,$$

где  $\Psi(tr)$  и  $\Psi(ep)$  — формы сходства следов и протоколов;  $\Psi_i(v)$  — формы сходства (16) элементарных структур в составе следа.

Уровень сходства  $SIR^{\Psi(\tau)}$ ,  $\tau \in TR$ , определен как сумма уровней элементарных сходств  $\varphi_i^{el} \in \Psi(\tau)$ ,  $el \in EL_i^\tau$ ,  $i=1, 2$ , нормированная  $|\Theta_1^\tau \cup \Theta_2^\tau|$ .

Адекватность введенного сходства потребностям обеспечения механизмов  $M_2, M_4, M_5$  подтверждают следующие теоремы.

**Теорема 1.** Введенное отношение сходства является толерантностью [16] в среде оценивания  $EE$  (3) и эквивалентностью на ее подмножествах:

$EK_\Psi^\tau \subseteq K^\tau$ , где отношения  $\varphi_i^{el}$ ,  $el \in EL_i^\tau$ ,  $i=1, 2$  (16),  $\tau \in TS$ ;  $\Psi_i(v)$ ,  $v \in \Psi(tr)$  (17),  $\tau = tr$ ;  $\Psi_u(tr) \in \Psi(ep)$  (18),  $\tau = ep$  — эквивалентности;

$CE_\Phi = \{E: \forall S \in \Phi \text{ в } PD_{SE} \text{ (14) совпадают вершины уровней } k_i(S) \in \Phi\}$ .

Установленные свойства введенного отношения сходства (14), (16)–(18) позволяют определить в среде  $EE$  (3) аналоги элементов и результатов решения текущей задачи для использования при ее решении.

**Теорема 2.**  $\forall (\Phi, X, Y \in CC_\kappa; \Psi, s_1, s_2 \in K^\tau)$  дополнение уровня сходства  $\mu^\Phi(X, Y)$  до единицы — псевдометрика (на  $CC_\kappa$ ) и метрика (на  $K^\tau$ );  $\mu^\Phi(X, Y) = 1$  тогда и только тогда, когда раскрытия  $D_X, D_Y$  различаются только корнями;

$$\mu^\Phi(X, Y) = 0 \Leftrightarrow \lceil SIM^\Phi(X, Y); \mu^{\Psi(\tau)}(s_1, s_2) \in [0; 1];$$

$$\mu^{\Psi(\tau)}(s_1, s_2) = 0 \Leftrightarrow \lceil SIR^{\Psi(\tau)}(s_1, s_2).$$

Свойства, устанавливаемые теоремой 2, способствуют упорядочению аналогов по степени близости и учету уровня сходства при использовании ретроспективы результатов оценивания.

**Теорема 3.** Процесс оценивания  $FP$  (13) задает изоморфизмы между алгебраическими моделями задач оценивания (2) и множеств этих задач, где зафиксированы тип объекта и целевая характеристика, с одной стороны, и алгебраической моделью, образованной протоколами (6), с другой.

Сходство решений (11), следов (7) и протоколов (6) для сходных задач, фиксируемое теоремой 3, служит теоретическим обоснованием предлагаемых в следующем разделе методов анализа ретроспективы (МТ<sub>31</sub>–МТ<sub>36</sub>) и выбора сходных элементов в среде оценивания (МТ<sub>41</sub>–МТ<sub>44</sub>).

Предложенная модель (3) обеспечивает реализацию механизма  $M_4$  и среду (информационную и технологическую) интеграции механизмов  $M_2, M_3, M_5-M_8$  в процедурах технологии  $M_1$ , а также использование результатов оценивания тех объектов ПрП, которые связаны с оцениваемыми объектами аналогиями и отношениями классификации либо обладают связанными таким образом характеристиками, с помощью введенного отношения сходства (14)–(18) и формализации результатов решения задачи оценивания как структур знаний ретроспективы (6)–(11).

### 5. МЕТОДЫ ЭКСПЕРТИЗ В ПРОЦЕССЕ ОЦЕНИВАНИЯ

Для реализации технологии  $M_1$  согласно модели процесса оценивания (3), (13) сформирована система методов из пяти групп. Их состав и взаимосвязи в операциях процесса оценивания и использование ими его результатов (из онтологии  $O$  и ретроспективы  $R$ ) показаны на рис. 5.

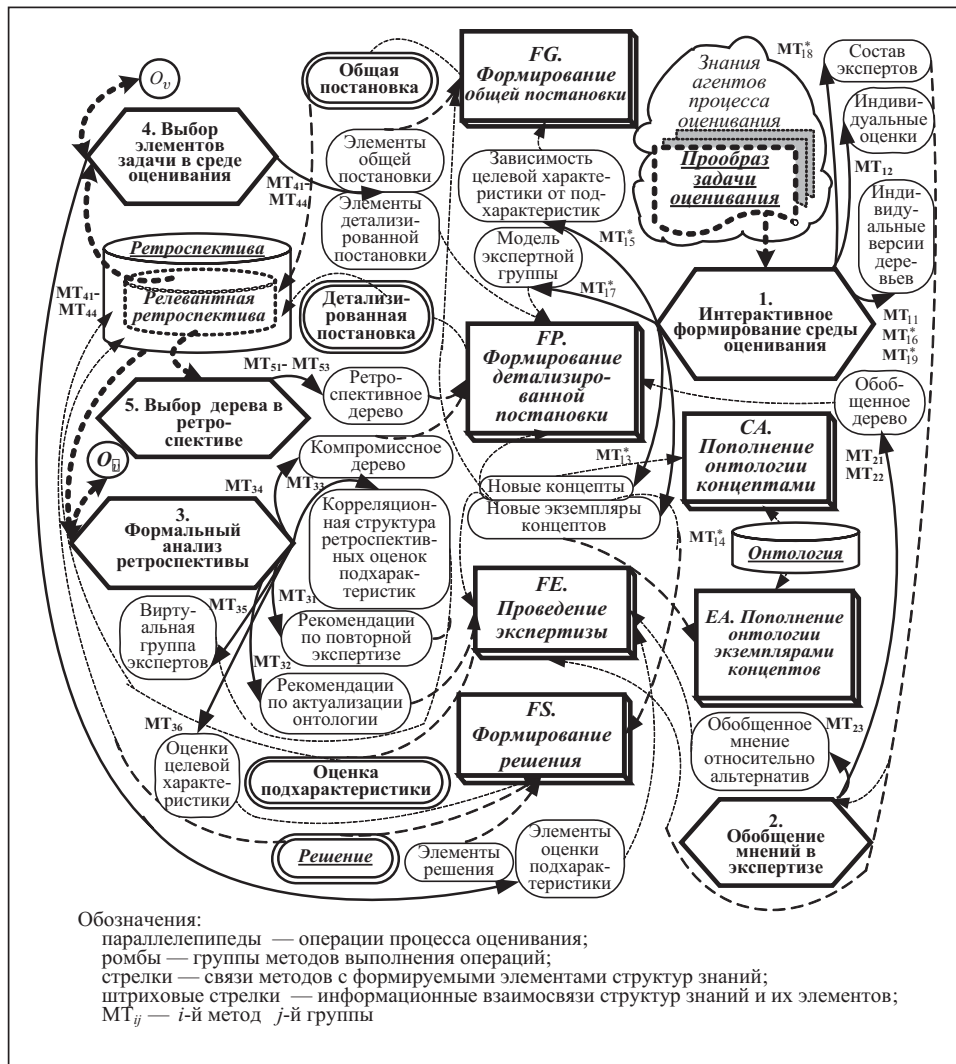


Рис. 5. Схема взаимосвязей методов процесса оценивания

Символом \* помечены методы, адаптированные к среде  $EE$  (3).

Разработанные методы существенно используют количественную формализацию свойства качества для обобщенного мнения относительно оценок объектов ПрП, введенную для развития методов анализа деревьев ценности, статистического и метрического обобщения.

**Первый формализм** — многокритериальная модель предпочтений класса «Аргументированное дерево ценности» [21].

В процессе оценивания она отражает точку зрения (ролевую, функциональную, ведомственную) агентов процессов  $P$  на состав и связи факторов, влияющих на оцениваемую характеристику.

В данной модели дерево ценности [14] пополнено типизированной аргументацией [21] его структуры на основании объектов и элементов профессиональной деятельности специалистов — концептов и экземпляров концептов онтологии  $O$  (см. (3)). Листьям дерева заданы дополнительные реквизиты, соответствующие постановке  $ES$  (П) в (2): индекс критичности оценивания всеми экспертами для приемлемости оценки корня, контекст и аналитические методы оценивания.

**Второй формализм** — система метризованных отношений устойчивости и неустойчивости результата экспертизы по детализированной постановке  $ps$  (9) к гипотезе  $h$  об изменении  $ps$  и/или состава экспертов.

Они описывают основные аспекты гипотетического изменения системы индивидуальных мнений экспертов и версии обобщенного мнения относительно оцениваемых объектов ПрП в экспертизах, выполняемых при гипотезе  $h$ . Для режимов оценивания и ранжирования выделены формы отношений [23]:

- устойчивости (ординальной, Парето, ядерной, полной);
- неустойчивости (сильной, без потерь; с потерями информации).

Охарактеризована их семантика, предложены предикаты и уровни.

**Третий формализм** представляет собой модель свойства обоснованности версии обобщенного экспертного мнения  $E(at)$

$$sb(E) = \langle \langle DV, DC, ES \rangle, \langle IR, \langle QE, CN, ST \rangle \rangle, st(at) \rangle, \quad (19)$$

где  $DV$ ,  $DC$  и  $ES$  — уровни сходства взглядов, представленных экспертами, и принятого для экспертизы, на  $(A, at)$  и контексты листьев  $at$  из постановки  $ps$  (9), а также значимости для  $E$  различий этих взглядов;  $IR$  — интегральная оценка риска принятия версии  $E$  [24];  $QE$  — показатели репрезентативности и согласованности обобщенных экспертных мнений в составе максимума, минимума и среднего среди экспертов, задавших хотя бы одну оценку, коэффициентов вариации и конкордации [25];  $CN$  — автономный интегральный показатель обоснованности версии  $E$  как кортежа обобщенных оценок альтернатив по листьям  $at$ ;  $ST$  — кортеж троек в составе минимального, среднего и максимального среди показателей устойчивости введенных форм;  $st(at)$  — показатель приемлемости дерева  $at$  — тройка значений специальных статистик для анализа нечисловых объектов [25].

Показатель  $st(at)$  служит критерием выбора среди версий аргументированного дерева в отдельной экспертизе и в ретроспективе в роли **четвертого формализма**.

Кортеж (19) задает критерии выбора среди версий обобщенного мнения в отдельной экспертизе и версий оценок соответствующей характеристики в ретроспективе, а также предоставляет формализованное обоснование, пригодное для анализа приемлемости версий и их сопоставления в разных экспертизах для механизмов  $M_5 - M_8$ .

**В первой группе** метод интерактивного построения структуры аргументированного дерева ( $MT_{11}$ ) реализует технику *rugamiding* [26] в рамках подхода репертуарных решеток, последовательно детализируя оцениваемую характеристику  $vc$  в виде куста, где ветви образованы позитивными полюсами пирамид В. Ландфилда. Метод получения индивидуальных версий модели предпочтений и оценок по ней ( $MT_{12}$ ) поддерживает предоставление экспертами (в среде предложенного классификатора замечаний экспертов [27]) непосредственных оценок альтернатив и их оценок для листьев дерева  $at$  в априорной и экспертной версиях постановки.

В методах **второй группы** автоматического обобщения (экспертных версий аргументированных деревьев ( $MT_{21}$ ) и максимизации качества обобщенного мн-

ния ( $MT_{23}$ ) используются специальные статистики [28] для анализа их корреляционной структуры, а статистически оптимальные оценки [28] — для формирования недоминируемых по обоснованности версий обобщенного мнения. При обобщении оценок ( $MT_{21}$ ) применяются также введенные показатели устойчивости, а деревьев ( $MT_{22}$ ) — метрика А.В. Раппопорта  $d$  [22].

Для многотурового формирования модели предпочтений на основе показателей устойчивости предложена процедура типа Дельфи ( $MT_{23}$ ).

Методы **третьей группы** — анализа ретроспективы ( $MT_{31}$ – $MT_{36}$ ) — используют введенные отношения сходства  $SIM$  (14), (15) и  $SIR^{\Psi(\tau)}$  (16)–(18), факторизации множеств экспертных мнений по метрике А.В. Раппопорта [22] и рассмотренные выше методы  $MT_{21}$ ,  $MT_{22}$ .

Метод формирования рекомендаций относительно повторной экспертизы ( $MT_{31}$ ) предоставляет элементы детализированной постановки  $ps$  (9) и состав экспертов  $g$  для оценки подхарактеристики  $es$  (10), обеспечивающие недоминируемость версий  $E$  обобщенного мнения в повторной экспертизе по сравнению с текущими (при наличии последних) либо повышение вероятности получения (при их отсутствии). Рекомендации касаются основных стратегий привлечения экспертов и использования текущей постановки  $ps$ , приемлемых для организатора повторной экспертизы.

Метод формирования рекомендаций по актуализации онтологической модели  $O$  ( $MT_{32}$ ) предоставляет формулировки и основания типизированных гипотез относительно концептов онтологии  $O$  с помощью отношений сходства  $SIM^{\Phi}$  (14), (15) и  $SIR^{\Psi(\tau)}$ ,  $\tau \in TR$  (16)–(18), метрики  $d$  и многомерного анализа числовых и нечисловых данных. К гипотезам относятся: тождественность концептов или их классификационные отношения; неэквивалентность их представлений агентами с разными ролями в процессах  $P$ ; аналитические зависимости между их параметрами и/или оцениваемыми характеристиками.

Адекватность разработанной системы методов функциональным потребностям процесса оценивания устанавливает следующее утверждение.

**Теорема 4.** Система методов  $\{MT_{11}$ – $MT_{53}\}$  полна и непротиворечива для операций оценивания  $eo \in \{FG, FP, FE, FS\}$  (12) и актуализации  $\{CA, EA, SR\}$  при произвольном состоянии их среды  $EE$  (3).

Таким образом, методы двух первых групп ( $MT_{11}$ – $MT_{19}$ ) и ( $MT_{21}$ – $MT_{23}$ ) максимизируют обоснованность обобщенных мнений относительно объектов ПрП в **отдельной** экспертизе, реализуя анализ приемлемости их версий и выбор из них. Методы трех остальных групп обеспечивают повышение обоснованности оценок объектов ПрП в **последовательных** экспертизах (как из одного подпроцесса, так и из разных информационно взаимосвязанных подпроцессов). Они позволяют снизить затраты на оценивание при замене индивидуальных и обобщенных экспертных мнений их ретроспективными версиями либо экспертными мнениями о приемлемых аналогах (в смысле введенного сходства  $SIR^{\Psi(\tau)}$  (16)–(18)).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены две группы потребностей оценивания деятельности по производству и эксплуатации программных продуктов:

- определение целевых, прогнозируемых и достигнутых значений характеристик управляемых (контролируемых) объектов, служащих критериями эффективности;
- усовершенствование процессов производственной деятельности задачами оценивания в аспектах повышения обоснованности решений по управлению ими и создание условий эффективной деятельности для их участников.

Для компонентов задачи оценивания объектов производственной деятельности и ее элементов по управлению разработкой ПС выполнена формализация, обеспечивающая эти потребности. Предложен подход к решению формализованных задач оценивания с помощью экспертиз объектов, адекватных выявленным потребностям



и особенностям процессов производственной деятельности. Разработан математический аппарат поддержки экспертиз в составе методического каркаса (целевые функции экспертиз, требования к ним и механизмы реализации); моделей и методов процесса оценивания; средств их интеграции в процессы производственной деятельности.

Построена модель процесса оценивания как системы подпроцессов оценивания заданных альтернатив, описана среда подпроцессов, в которой реализуется отношение метризованного сходства и разработаны методы: интерактивного формирования этой среды и поиска в ней; максимизации формализованной обоснованности результата экспертизы; формального анализа ретроспективы экспертиз. Корректность аппарата обоснована теоремами: об алгебраических свойствах модели; полноте и непротиворечивости методов.

Апробация разработанного подхода предполагает создание средств его технологической и инструментальной поддержки и введение их в процессы управления разработкой ПС. Эта задача особенно актуальна (и требует специального рассмотрения) для процесса управления риском проекта ПС, методическая поддержка которого находится в стадии разработки.

Дальнейшим развитием могут служить:

— инструментальные средства экспертного оценивания в предметных областях стратегического управления;

— методика оценивания архитектур семейств ПС и линеек программных продуктов;

— методы интеграции в процесс аутсорсинга в ПрПИ.

Универсальность подхода и многообразие потенциальных сфер его применения в ПрПИ определяет целесообразность включения его соответствующих элементов в дисциплины программной инженерии: научную, экономическую, производственную и дисциплину управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO/IEC TR 19759:2005 «Software Engineering — Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOOK)». — 2005. — 187 p. — [http://www.geocities.com/lbu\\_measure/swebok/swebok.htm](http://www.geocities.com/lbu_measure/swebok/swebok.htm).
2. Guide to PMBOK. A guide to the Project Management Body of Knowledge // PMBOK GUIDE. Third Edition. — <http://www.pmi.org/emealink/pmiE-link10-04.pdf>.
3. Computing curricula. — <http://computer.org/education/cc2001>.
4. Лаврищева Е.М., Коваль Г.И., Коротун Т.М. Подход к управлению качеством программных систем обработки данных // Кибернетика и системный анализ. — 2006. — № 5. — С. 174–185.
5. Сомервилл И. Инженерия программного обеспечения. — М.; Санкт-Петербург; Киев: Изд. дом «Вильямс», 2002. — 623 с.
6. Лаврищева Е.М. Методы программирования. Теория, инженерия, практика. — Киев: Наук. думка, 2006. — 459 с.
7. Лаврищева Е.М. Программная инженерия — научная и инженерная дисциплина // Кибернетика и системный анализ. — 2008. — № 3. — С. 19–28.
8. Лаврищева Е.М. Классификация дисциплин программной инженерии // Там же. — 2008. — № 6. — С. 3–9.
9. Matinlassi M., Niemela E., Dobrica L. Quality-driven architecture design and quality analysis method. A revolutionary initiation approach to a product line architecture. ESPOO 2002. — <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2002/P456.pdf>.
10. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. — М.: Наука, 1982. — 552 с.
11. ДСТУ ISO/IEC 14756:2008 Інформаційні технології. Вимірювання та оцінювання продуктивності комп'ютерних програмних систем. Редакція 1 / П.І. Андон, Л.Д. Бабко, Г.І. Коваль // Держспоживстандарт. — 2008.
12. Мороз Г.Б., Коротун Т.М. Ризико-операційний підхід до вирішення проблеми оптимального випуску програмних систем // Проблеми програмування. — 2006. — № 2–3. — С. 231–236.

13. Olumofin F.G., Mistic V.B. Extending the ATAM architecture evaluation to product line architectures. — <http://www.cs.umanitoba.ca/~vmistic/pubs/tr0502.pdf>.
14. von Winterfeldt D., Edwards W. Decision Analysis and behavioral research. — Cambridge University Press, 1986. — 604 p.
15. Экспертные оценки. Методы и применение (Обзор) / Д.С. Шмерлинг, С.А. Дубровский, Т.Д. Аржанова, А.А. Френкель. Стат. методы анализа экспертных оценок // Уч. зап. по статистике. — М.: Наука, 1977. — 29. — 384 с.
16. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент, 1996. — 275 с.
17. Слабоспицька О.О. Інтегруюча модель процесу діяльності з експертного оцінювання у життєвому циклі програмних систем // Проблеми програмування. — 2008. — № 2–3. — С. 279–287.
18. Osterweil L.J., Simidchievz B.I., Klarke L.A. et al. Representing process variation with a process family // Q. Wang, D. Pfahl, D.M. Raffo (Eds.): Software Process Dynamics and Agility, International Conference on Software Process, ICSP 2007, Minneapolis, MN, USA, May 19–20, 2007, Proceedings. — P. 109–120. — <http://laser.cs.umass.edu/techreports/07-13.pdf>.
19. Noy N.F., Ferguson R.W., Musen M.A. The knowledge model of Protégé-2000: combining interoperability and flexibility — [www.pms.ifi.lmu.de/mitarbeiter/ohlbach/Ontology/Protege/SMI-2000-830.pdf](http://www.pms.ifi.lmu.de/mitarbeiter/ohlbach/Ontology/Protege/SMI-2000-830.pdf).
20. Gómez-Pérez A., Blázquez M., Fernández M. et al. Ontologies at the knowledge level using the ontology design environment. — <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW98/blazquez/>.
21. Ильина Е.П., Слабоспицкая О.А. Формы, метрики и свойства отношения сходства между концептами в онтологиях экспертных точек зрения // Проблеми програмування. — 2005. — № 4. — С. 39–49.
22. Раппопорт А.М., Шнейдерман М.В. Анализ экспертных суждений, заданных в виде структур // Прикладной многомерный статистический анализ: Уч. зап. по статистике. — М.: Наука, 1978. — Вып. 33. — С. 150–164.
23. Ильина Е.П., Ольховская Ю.В., Слабоспицкая О.А. Построение и обоснование обобщенного дерева критериев ценности при учете различных точек зрения на проблему многокритериального оценивания // Проблеми програмування. — 2004. — № 2–3. — С. 344–352.
24. Ильина Е.П., Слабоспицкая О.А. Цели и критерии логико-статистического анализа экспертных предпочтений в условиях конфликта точек зрения на предметную область проблемы выбора // Там же. — 2000. — № 1–2. — С. 471–483.
25. Слабоспицкая О.А. Формальный аппарат экспертного решения проблемы многокритериального оценивания при учете ряда точек зрения на проблему // Там же. — 2002. — № 1–2. — С. 430–440.
26. Франселла Ф., Баннистер Д. Новый метод исследования личности. — М.: Прогресс, 1987. — 236 с.
27. Слабоспицкая О.А. Один подход к разработке инструментальных средств экспертизы иерархических альтернатив в развивающейся предметной области // Проблеми програмування. — 1998. — № 4. — С. 51–58.
28. Холлендер М., Вулф Д. Непараметрические методы статистики. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 518 с.

*Поступила 22.12.2008*