

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО МЕХАНИЗМА АКТИВНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ: КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ¹

Н.А. Коргин, В.О. Корепанов

Аннотация. В работе рассматривается модель активной экспертизы как экспертизы с учетом возможной заинтересованности экспертов в ее результатах. Исследуется ее одномерная постановка — задача однокритериального коллективного выбора или, в другой терминологии, активного планирования. Дана постановка задачи синтеза оптимального механизма активной экспертизы для целевой процедуры экспертизы без учета активности экспертов. Представлено доказательство существования решения у задачи синтеза оптимального механизма одномерной активной экспертизы, для которой ранее был предложен лишь алгоритм его получения путем решения системы уравнений. Показано, что в рамках общепринятых допущений на класс целевых процедур, решение задачи активного планирования существует всегда и является так называемой обобщенной медианной схемой, описанной Herve Moulin в 1980 г. как класс неманипулируемых правил коллективного выбора (или механизмов в терминологии теории активных систем), эффективных по Парето. В среде имитационного моделирования разработана модель анализа механизма активной экспертизы на основе обобщенной медианной схемы и модель синтеза оптимального неманипулируемого механизма. Реализован также поиск параметров эквивалентного прямого механизма.

Ключевые слова: теория управления, организационно-техническая система, системный анализ, неманипулируемость.

ВВЕДЕНИЕ

Под активной экспертизой понимается экспертиза с учетом возможной заинтересованности экспертов в ее результатах. Наиболее исследованной может считаться ее одномерная постановка — задача однокритериального коллективного выбора [1] или активного планирования в терминологии, предложенной в работе [2].

В 1980 г. Н. Moulin для однопиковых предпочтений агентов полностью описал [1] класс неманипулируемых правил коллективного выбора (или механизмов в терминологии теории активных систем [3]), эффективных по Парето, показав, что все эти механизмы коалиционно неманипулируемые.

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-19-10609).

Причем описание можно считать конструктивным — была предложена аналитическая запись для любой из неманипулируемых процедур планирования — так называемые обобщенные медианные схемы (ОМС). В дальнейшем были предложены альтернативные описания данного класса [4], позволившие проводить дальнейшие исследования свойств ОМС и расширить их применение на многокритериальные задачи коллективного выбора [5] и активного планирования [6].

Так как в работе [7] было показано, что однопиковые предпочтения агентов являются богатым классом, то можно утверждать, что задачу активного планирования для данных предпочтений достаточно решать на классе неманипулируемых механизмов. В работе [8] этот же результат был получен следующим образом. Для широкого класса механизмов, индуцирующих игры, в которых решением игры является равновесие Нэша, было



показано, что для любого механизма из этого класса существует эквивалентный прямой механизм (и был предъявлен алгоритм его построения). Описание неманипулируемых механизмов однокритериального коллективного планирования, полученное в работе [8], было согласовано с аналитическим описанием, полученным в работе [1].

В то же время вопросы, связанные с выбором конкретной ОМС для применения на практике, оставались вне фокуса внимания специалистов по теории коллективного выбора. Отчасти это было обосновано тем, что в случае одномерного выбора все ОМС являлись оптимальными по Парето, а оптимальность по Парето — ключевой критерий эффективности в задачах коллективного выбора. В настоящее время активно ведутся исследования, как меняются свойства неманипулируемости ОМС при отказе от однопиковости предпочтений агентов [9, 10]. Вопрос о том, какую из ОМС выбирать при выполнении условий, в рамках которых ОМС являются неманипулируемыми, рассматривался в рамках теории активных систем. Были предложены несколько критериев оптимальности решения задач одномерной активной экспертизы [8], в частности, аналог критерия H_∞ — критерия погрешности манипулирования, определяющего, насколько результат активной экспертизы может максимально отличаться от результата, получаемого при условии, что все эксперты не являются активными и сообщают достоверную информацию, и относительная версия данного критерия, получившая в современной литературе название «цена анархии» [11]. На основе критерия была сформулирована задача активного планирования: для заданной (целевой) процедуры, которая является оптимальной без учета активности агентов, нужно подобрать процедуру, обладающую минимальной погрешностью манипулирования относительно целевой [6]. Задача активного планирования была решена для отдельного класса целевых процедур [8], было сформулировано ее общее решение [6]. Это позволяет не только внедрять неманипулируемые механизмы в современные системы поддержки принятия решений, см., например, работу [12], но и ставить задачу минимизации погрешности для действующих процедур принятия коллективных решений.

В рамках настоящей статьи описывается, как решение задачи активного планирования может быть реализовано в рамках системы имитационного моделирования РДС [13]. Необходимо отметить, что в статье [6] не изучался вопрос существования решения задачи активного планирования — был предложен лишь алгоритм его получения путем решения системы уравнений. Поэтому в настоя-

щей статье мы также уделим внимание этому теоретическому вопросу — показав, что в рамках общепринятых допущений на класс целевых процедур решение задачи активного планирования, предложенное в статье [6], существует всегда и является ОМС.

Структура дальнейшего изложения материала такова. В § 2 даются формальные определения и приводятся основные предварительные формальные результаты, § 3 посвящен доказательству существования решения задачи активного планирования. В § 4 описывается имитационный алгоритм решения задачи активного планирования на основе системы моделирования РДС [13].

1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Далее принята система обозначений, предложенная в работе [6]. Приведем основные необходимые понятия и определения.

Обозначим через X множество допустимых значений *результата экспертизы* x для организационной системы (ОС), Ω — множество возможных значений *исходной информации* ω , передаваемой экспертами (агентами) организатору экспертизы (Центру), на основании которых определяется результат экспертизы. Пусть в соответствии с некоторым критерием эффективности планирования в ОС определена *целевая процедура планирования* $f: \Omega \rightarrow X$ — оптимальная процедура без учета активности агентов.

Заинтересованность экспертов в определенных результатах экспертизы формализуется *функциями полезности* $u^i: X \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}^1$, где $i \in N$ — индекс агента, N — множество агентов. Класс возможных функций полезности обозначим U^i . Набор функций полезности агентов (*профиль предпочтений*) обозначим u , а множество его возможных значений — $U = \times_{i \in N} U^i$. С точки зрения теории механизмов (точнее, теории *эффективных* механизмов) особую роль играют процедуры планирования, которые являются *эффективными по Парето* — $\forall u \in U \forall \omega \in \Omega \neg \exists x \in X: \exists i \in N u^i(x, \omega) > u^i(f(u, \omega), \omega)$ и $\neg \exists j \in N u^j(x, \omega) < u^j(f(u, \omega), \omega)$.

При этом может оказаться, что целевая процедура не *устойчива к активности агентов*. Проблема проявления активности формализуется следующим образом. При заданных ω и u может оказаться, что для некоторых агентов выгодным оказывается сообщение недостоверной информации, поэтому Центр получает от агентов *искаженную информацию* $\tilde{\omega} \neq \omega$, что может привести к падению эффективности планирования.

Преобразование $\omega_f: \Omega \times U \rightarrow \Omega$ описывает искажение передаваемой информации агентами с учетом их активности при заданной f . В рамках теоретико-игрового подхода под $\omega_f(\omega, u)$ подразумеваются равновесные стратегии экспертов в игре, возникающей из-за применения процедуры планирования. Если $\omega_f = \omega$, то процедура планирования f является неманипулируемой, т. е. *устойчивой к активности* агентов.

Если $\omega_f \neq \omega$, то актуален вопрос — можно ли уменьшить потери, возникающие при планировании как следствие активности агентов? Для ответа на этот вопрос необходимо введение критерия, определяющего потери в ОС при $\omega_f \neq \omega$. В настоящей работе в качестве такого критерия принята *близость* результатов планирования, формализуемая следующим образом. Обозначим $\Delta_f = \max_{\omega \in \Omega, u \in U} \|f(\omega) - f(\omega_f(\omega, u))\|_L$ — *погрешность манипулирования* — максимальное рассогласование результатов экспертизы без и с учетом активности экспертов по некоторой метрике L . По умолчанию в работах [6, 8] используется метрика L_1 . Очевидно, что это не единственный критерий, по которому можно оценивать потери манипулирования, см., например, работу [9].

В случае, если процедура не устойчива к активности, оценивается, насколько сильно результат планирования может быть искажен активными подчиненными.

Обозначим *механизм* $\rho = \langle M, \pi \rangle$, где $M = \times_{i \in N} M^i$, M^i — множество допустимых сообщений эксперта $i \in N$, $\pi: M \rightarrow X$ — процедура *активного планирования*, учитывающая активность экспертов. Множества M и Ω могут не иметь между собой ничего общего. Введем преобразование $m_\pi: \Omega \times U \rightarrow M$, определяющее зависимость сообщений активных экспертов в процедуре π , при заданных исходных значениях ω и профиле предпочтений u . В рамках теоретико-игрового подхода подразумеваются равновесные стратегии экспертов в игре, порожденной рассматриваемым механизмом. При этом конструкция $\langle \Omega, f \rangle$ также может рассматриваться как некоторый механизм, в случае возможности представления $\Omega = \times_{i \in N} \Omega^i$, для которого $m_\pi \equiv \omega_f$. Множество допустимых процедур активного планирования обозначим Π , множество допустимых механизмов — P .

По аналогии с погрешностью манипулирования определим максимальное рассогласование результатов планирования целевой процедуры и механизма ρ :

$$\Delta_f(\rho) = \max_{\omega \in \Omega, u \in U} \|f(\omega) - \pi(m_\pi(\omega, u))\|_L.$$

Определение 1. Механизм $\rho_f^* \in P$ является решением задачи активного планирования, если он аппроксимирует целевую процедуру f :

$$\rho_f^* \in \text{Arg} \min_{\rho \in P} \Delta_f(\rho). \quad \blacklozenge \quad (1)$$

В определении 1 подразумевается, что множество механизмов P должно быть «замкнуто» в том смысле, что любой из механизмов может быть реализован и $\min_{\rho \in P} \Delta_f(\rho)$ существует.

Очевидно, что «идеальным» решением задачи активного планирования служит механизм экспертизы, для которого $\Delta_f(\rho) \equiv 0$.

Определение 2. Механизм $\rho_f^* \in P$ полностью реализует целевую процедуру f , если $\Delta_f(\rho) \equiv 0$. При этом соответствующая целевая процедура называется полностью реализуемой. \blacklozenge

Для определения достаточности и целесообразности применения некоторых классов механизмов для решения задачи активного планирования вводятся следующие определения.

Определение 3. Механизмы $\rho = \langle M, \pi \rangle$ и $\tilde{\rho} = \langle \tilde{M}, \tilde{\pi} \rangle$ эквивалентны для заданных Ω и U , если $\forall \omega \in \Omega, \forall u \in U \pi(m_\pi(\omega, u)) \equiv \tilde{\pi}(\tilde{m}_{\tilde{\pi}}(\omega, u))$. \blacklozenge

В определении 1 может казаться, что механизмы дают улучшение по сравнению с обычной целевой процедурой: $\min_{\rho \in P} \Delta_f(\rho) < \Delta_f$, но такое не всегда верно. С другой стороны, поскольку целевая процедура может считаться механизмом $\langle \Omega, f \rangle$, то верно неравенство $\min_{\rho \in P} \Delta_f(\rho) \leq \Delta_f$ поэтому мы можем и не улучшить погрешность манипулирования, но ухудшить ее не сможем.

Определение 4. Процедура планирования f обладала *нередуцируемой погрешностью манипулирования*, если механизм $\langle \Omega, f \rangle$ является решением задачи активного планирования. \blacklozenge

Будем обозначать f_ρ целевую процедуру планирования, которая реализуется некоторым механизмом планирования ρ . Если обозначить F_P — множество всех целевых процедур планирования, реализуемых классом механизмов P , то определение (1) решения задачи активного планирования может быть сформулировано в терминах подобных процедур:

$$\rho: f_\rho \in \text{Arg} \min_{f \in F_P} \max_{\omega \in \Omega} \|f(\omega) - \tilde{f}(\omega)\|. \quad (2)$$

Активная экспертиза в данной статье рассматривается как частный случай *однокритериального планирования*, т. е. рассматриваем случай $X \equiv [\underline{x}, \bar{x}] \subset \mathbb{R}^1$, $\underline{x}, \bar{x} \in \mathbb{R}^1$, $\underline{x} < \bar{x}$.



В задачах однокритериального планирования предпочтения $u^i: \Omega \times X \rightarrow \mathbb{R}^1$ агента $i \in N$ называются *однопиковыми*, если $\forall \omega \in \Omega$:

- существует единственная *точка пика* $\tau^i = \arg \max_{x \in X} u^i(\omega, x)$;
- $\forall z, z' \in X$, если $\tau^i > z > z'$, то $u^i(z) \geq u^i(z')$, если $z > z' > \tau^i$, то $u^i(z) \leq u^i(z')$.

Класс однопиковых предпочтений будем обозначать U_T^1 .

В 1980 г. Н. Moulin показал, что если предпочтения агентов — из U_T^1 , а $X \subseteq \mathbb{R}^1$, то любая неманипулируемая процедура коллективного выбора — *обобщенная медианная схема* [1]:

$$x = \min_{S \subseteq N} (\max_{i \in S} (a(S), \tau^i)), \quad (3)$$

где $a(S) \in X$ — параметры настройки механизма, определяемые для каждой из возможных групп агентов $S \subseteq N \setminus \emptyset$, причем $a(S) \geq a(\tilde{S})$ при $S \subset \tilde{S}$. Если $a(S)$ не зависит от того, кто именно из агентов входит в группу S , а зависит лишь от числа агентов в группе $\#S$, то правило является *анонимным*.

Значимость неманипулируемых механизмов при активном коллективном однокритериальном планировании в ОС обусловлена следующими фактами. Все ОМС являются эффективными по Парето [14]. Более того, в модели, сформулированной в работе [15], все ОМС коалиционно неманипулируемы — см., например, работу [14].

В 1979 г. Р. Dasgupta, Р. Hammond и Е. Maskin доказали [7], что на классе однопиковых предпочтений агентов множество реализуемых процедур совпадает с множеством процедур, которые реализуемы в доминантных стратегиях; т. е. только ОМС могут быть реализуемыми процедурами планирования.

В 1989 г. В.Н. Бурковым исследовался класс механизмов планирования $P1 = \{ \langle X^n, \pi(m) \rangle \}$, удовлетворяющих требованиям [8]:

- процедура $\pi(m)$ монотонна по всем переменным при $m \in X^n$;
- функция $\pi(m)$ непрерывна по всем переменным при $m \in X^n$;
- если обозначить $m^a = (a, \dots, a)$, $a \in X$, то $\pi(m^a) = a$ (*условие единогласия*).

Было доказано, что $\forall r \in P1$ существует эквивалентный прямой неманипулируемый механизм. Поэтому на классе механизмов планирования $P1$ решение любой задачи планирования достаточно искать среди неманипулируемых механизмов.

В работе [8] было показано, что линейные свертки как целевые процедуры обладают нереду-

цируемой погрешностью манипулирования. Данный результат был расширен на весь класс механизмов $P1$ [6].

Утверждение 1 [6]. Пусть целевая процедура планирования $f(m)$ такова, что механизм $\langle X^n, f(m) \rangle \in P1$. Тогда минимум погрешности манипулирования обеспечивает ОМС, в которой для произвольной группы $S \in 2^N \setminus \emptyset$, $a(S)$ является решением уравнения

$$2a(S) = f(\underline{m}(S)) + f(\bar{m}(S)), \quad (4)$$

где

$$\underline{m}(S) = \{ \forall i \in S, m^i = \underline{x} \wedge \forall i \in N \setminus S, m^i = a(S) \},$$

$$\bar{m}(S) = \{ \forall i \in S, m^i = a(S) \wedge \forall i \in N \setminus S, m^i = \bar{x} \}. \blacklozenge$$

Именно алгоритм синтеза оптимального решения на основе (4) был реализован в описываемой далее имитационной модели. Однако в статье [6] не исследовалось, разрешима ли система уравнений (4) для любой целевой процедуры, механизм на основе которой принадлежит классу $P1$. Данный вопрос исследуется в следующем параграфе.

2. О СУЩЕСТВОВАНИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Обозначим $\underline{m}^i(S)$ и $\bar{m}^i(S)$ — компоненты сообщений эксперта $i \in N$ в векторах $\underline{m}(S)$ и $\bar{m}(S)$ соответственно и x^S — компоненты вектора сообщений экспертов из подмножества $S \in 2^N \setminus \emptyset$, в котором все эксперты сообщают величину x . Тогда $\underline{m}(S) = (x^S, a(S)^{N \setminus S})$ и $\bar{m}(S) = (a(S)^S, \bar{x}^{N \setminus S})$. В соответствии с данным выше определением ОМС $\forall S \in 2^N \setminus \emptyset$ $a(S) \in [\underline{x}, \bar{x}]$, поэтому $\forall i \in N$ $\underline{m}^i(S) \leq \bar{m}^i(S)$.

Было показано [8], что для механизмов из класса $P1$ процедура не просто монотонная, но и неубывающая. Откуда следует, что $f(\underline{m}(S)) \leq f(\bar{m}(S))$, так как $\forall i \in N$ $\underline{m}^i(S) \leq \bar{m}^i(S)$.

Утверждение 2. Пусть целевая процедура планирования $f(m)$ такова, что механизм $\langle X^n, f(m) \rangle \in P1$. Тогда $\forall S \in 2^N \setminus \emptyset$ уравнение $2y = f(\underline{x}^S, y^{N \setminus S}) + f(y^S, \bar{x}^{N \setminus S})$ при $y \in [\underline{x}, \bar{x}]$ всегда имеет хотя бы одно решение.

Доказательство. Поскольку $f(m)$ непрерывная и неубывающая функция, из условия единогласия следует, что функция $\varphi(y) = \frac{1}{2} (f(\underline{x}^S, y^{N \setminus S}) + f(y^S, \bar{x}^{N \setminus S}))$ непрерывная, не убывает, и:

$\underline{x} \leq \varphi(\underline{x})$, так как при $y = \underline{x}$ $2\underline{x} \leq f(\underline{x}^N) + f(\underline{x}^S, \bar{x}^{N \setminus S})$, что эквивалентно $\underline{x} \leq f(\underline{x}^S, \bar{x}^{N \setminus S})$;

$\bar{x} \geq \varphi(\bar{x})$, так как при $y = \bar{x}$: $2\bar{x} \geq f(\underline{x}^S, \bar{x}^{\wedge S}) + f(\bar{x}^N)$, что эквивалентно $\bar{x} \geq f(\underline{x}^S, \bar{x}^{\wedge S})$.

Отсюда следует, что существует, как минимум, одна неподвижная точка $y \leq \varphi(y)$ при $y \in [\underline{x}, \bar{x}]$. ♦

Таким образом доказано, что система из уравнений на основе (4) всегда имеет как минимум одно решение. Однако она может иметь несколько решений, поэтому необходимо доказать, что среди этого множества решений найдется такое, которое удовлетворяет требованиям к ОМС.

Утверждение 3. Пусть целевая процедура планирования $f(s)$ такова, что механизм $\langle X^n, f(m) \rangle \in P1$. Тогда для произвольных групп агентов $S, \tilde{S} \subseteq 2^N \setminus \emptyset$ таких, что $S \subset \tilde{S}$, найдутся такие решения (4), что $a(S) \geq a(\tilde{S})$.

Доказательство. Обозначим $\varphi(y) = \frac{1}{2} (f(\underline{x}^S, y^{\wedge S}) + f(y^S, \bar{x}^{\wedge S}))$, $\tilde{\varphi}(y) = \frac{1}{2} (f(\underline{x}^{\tilde{S}}, y^{\wedge \tilde{S}}) + f(y^{\tilde{S}}, \bar{x}^{\wedge \tilde{S}}))$.

Пусть $\tilde{S} \setminus S = \{i\}$, тогда:

$$\varphi(y) = \frac{1}{2} (f(\underline{x}^S, y^i, y^{\wedge \tilde{S}}) + f(y^S, \bar{x}^i, \bar{x}^{\wedge \tilde{S}}));$$

$$\tilde{\varphi}(y) = \frac{1}{2} (f(\underline{x}^S, \underline{x}^i, y^{\wedge \tilde{S}}) + f(y^S, y^i, \bar{x}^{\wedge \tilde{S}})).$$

Отсюда легко видеть, что $\forall y \in [\underline{x}, \bar{x}] \varphi(y) \geq \tilde{\varphi}(y)$. Следовательно, если $y = \varphi(y)$, то $y \geq \tilde{\varphi}(y)$. Так как при этом $\tilde{\varphi}(\underline{x}) \geq \underline{x}$, то найдется такой $\tilde{y} \in [\underline{x}, y]$, что $\tilde{y} = \varphi(\tilde{y})$. Откуда следует, что $a(S) = \varphi(a(S)) \geq a(\tilde{S}) = \tilde{\varphi}(a(\tilde{S}))$. ♦

Выбирая соответствующие решения для каждого $S \in 2^N \setminus \emptyset$, которые существуют всегда, мы действи-

тельно получаем ОМС, являющуюся решением задачи активного планирования для соответствующей целевой процедуры на основании утверждения 1. Это позволяет реализовать соответствующий алгоритм на практике.

3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО МЕХАНИЗМА АКТИВНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Рассмотрим построение имитационной модели активной экспертизы в системе РДС [13] для трех экспертов (агентов). Окно главной подсистемы мы разбили на области с блоками: название модели (вверху), внешние данные (слева), Мета-центр (верхняя полоса), Центр (средняя полоса), Агенты (нижняя полоса). Каждый блок в РДС может быть вычислительным блоком, который получает входные данные через входящие стрелки и отдает выходные данные через выходящие стрелки, а его внутренняя логика обработки данных задается пользователем с помощью выбора готовых блоков или программированием своего блока. Есть также отдельный вид блоков «подсистема», которые содержат внутри другие блоки, связанные с входами и выходами подсистемы и между собой для выполнения логически выделенной группы вычислений.

В системе РДС можно создавать несколько слоев в окнах подсистем для отображения/скрытия всех размещаемых на данном слое блоков. В главной подсистеме задано несколько конфигураций слоев (наборов отображаемых слоев), предназначенных для различного представления моделируемой системы, например, логика работы (конфигурация «Процессы») и пользовательский интерфейс режимов работы («Анализ» и «Синтез»), конфигурации можно легко переключать мышкой (рис. 1).

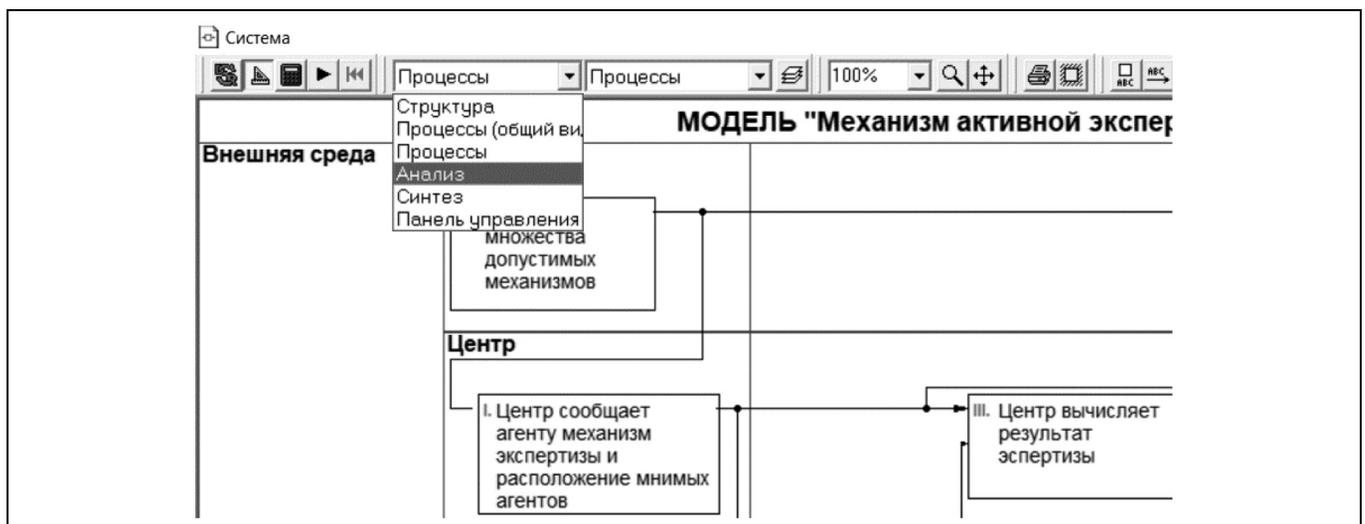


Рис. 1. Выбор конфигурации окна главной подсистемы

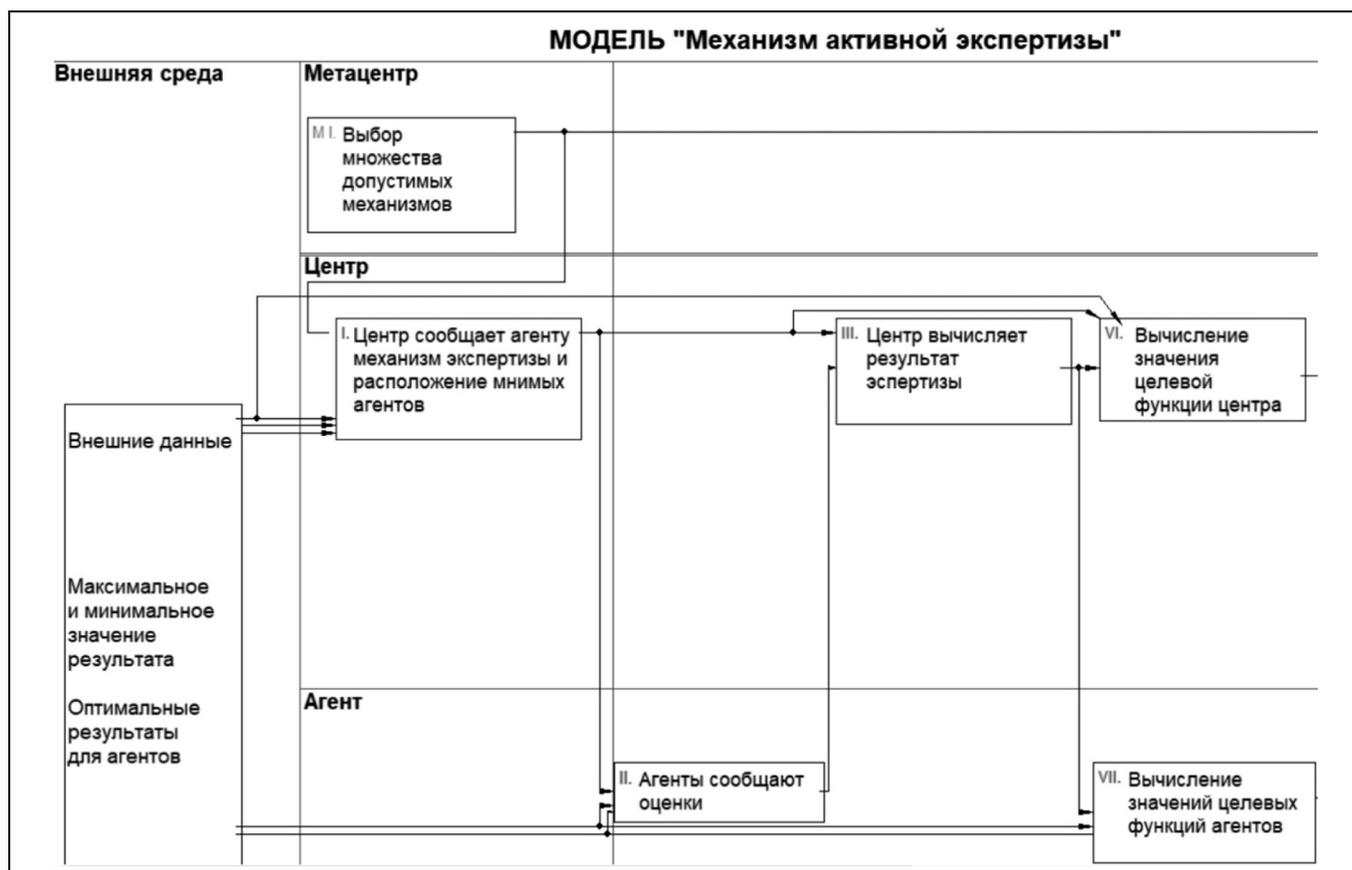


Рис. 2. Конфигурация «Процессы»

В качестве целевой процедуры планирования ОС была выбрана функция $f(s) = \left(\sum_i \sqrt{s_i}/3\right)^2$.

Из-за анонимности целевой процедуры ОС для случая трех экспертов имеет только два параметра: $x(s, a) = \text{median}(s_1, s_2, s_3, a_1, a_2)$, где $a = (a_1, a_2)$ — вектор параметров механизма (заявки фантомных экспертов), s — вектор заявок экспертов. При параметрах $a_1^* = f(\underline{x}, \underline{x}, \bar{x})$, $a_2^* = f(\underline{x}, \bar{x}, \bar{x})$ ОС является эквивалентным неманипулируемым механизмом. Эти параметры вычисляются в подсистеме «I. Центр сообщает...» и отображаются в блоке «Параметры эквивалентного механизма» на конфигурации «Синтез» (см. далее описание).

В качестве функций полезности экспертов возьмем функции $u_i(x, r_i) = -|x - r_i|$, где x — результат экспертизы, а r_i — точка пика эксперта i — наилучший, с точки зрения эксперта, результат экспертизы.

Подсистема «Внешние данные» содержит в качестве выходных данных все параметры модели, целевую процедуру Центра и функции полезности экспертов.

А. Порядок функционирования и информированность

Порядок функционирования задается на конфигурации «Процессы» (рис. 2). По хронологической последовательности блоки (шаги самой процедуры экспертизы) расположены слева направо. Перечислим основные шаги моделируемого процесса.

I. Центр сообщает экспертам механизм экспертизы и его параметры.

II. Эксперты сообщают свои оценки.

III. Центр в соответствии с объявленным механизмом определяет результат экспертизы.

Блоки «Процесса» (кроме блоков Метацентра) несут функциональную нагрузку — в них происходят необходимые для данного шага вычисления/ввод данных на основе полученных от предыдущих шагов данных и передача полученных результатов следующим блокам. Стрелки в РДС отображают и несут функцию передачи данных между блоками, по каждой стрелке передаются данные одного типа.

Б. Анализ — прогноз поведения агентов

Конфигурация «Анализ» (рис. 3) служит для оценки выигрышей центра и экспертов при раз-

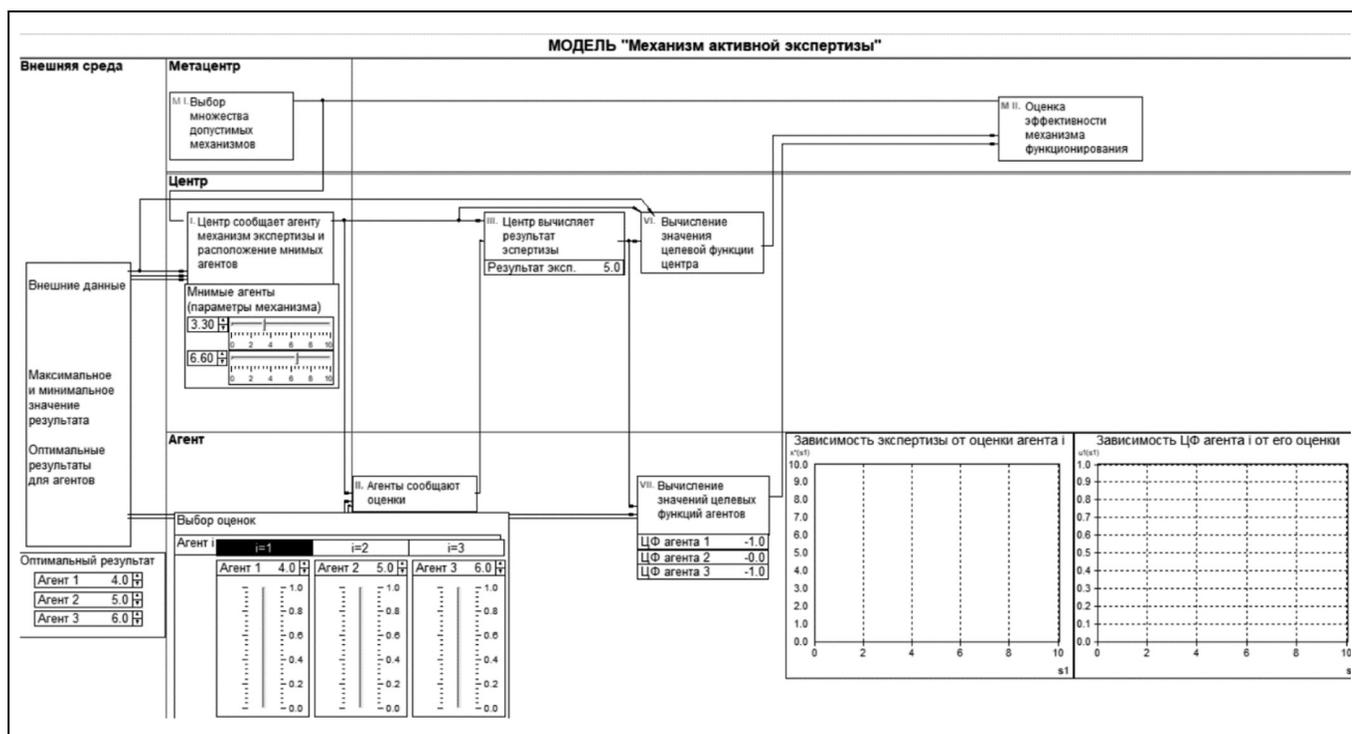


Рис. 3. Конфигурация «Анализ»

личных действиях экспертов, в том числе для поиска равновесных действий экспертов или оптимальных действий с точки зрения экспертов или центра.

На рис. 3 приведен внешний вид конфигурации «Анализ». Здесь отображаются блоки с конфигурации «Процессы» и к ним добавлен интерфейс для ввода и вывода данных. Внешними данными для анализа считаются действия экспертов (оценки). Оценки можно варьировать вручную плюс можно выбирать текущего агента, для которого в правой части интерфейса строятся графики зависимости результата экспертизы и целевой функции эксперта от заявки эксперта.

В. Синтез — поиск оптимальных параметров механизма

Конфигурация «Синтез» (рис. 4) служит для оценки выигрыша центра при различных действиях центра — выборе параметров механизма экспертизы ОМС.

На рис. 4 приведен внешний вид конфигурации «Синтез». Здесь к блокам конфигурации «Процессы» добавлен интерфейс управления и ввода данных для этапов механизма, связанных с Центром. Внешними данными считается действие Центра — параметры ОМС. Пользователь может вручную подбирать параметры механизма. При этом справа от поля даны значения параметров для построения эквивалентного неманипулируемого механиз-

ма. Пользователь может также запустить расчет параметров оптимального неманипулируемого механизма — нажатием кнопки «Старт».

Блоком «VI. Вычисление значения целевой функции Центра» рассчитывается значение критерия (*) для эквивалентного неманипулируемого механизма и для медианного механизма с текущими параметрами, выбранными Центром.

Таким образом, пользователь данной модели РДС может исследовать модель активной экспертизы в качестве как агента, так и Центра.

4. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ

Комплекс РДС содержит встроенный по умолчанию переборный блок максимизации, так что приближенное (с заданной точностью аргумента) решение уравнения (4) ищется методом полного перебора для задачи максимизации:

$$-|(f(\underline{m}(S)) + f(\bar{m}(S)))/2 - a(S)| \rightarrow \max_{a(S)} \quad (5)$$

Эта задача имеет решение вследствие утверждения 2.

Число параметров механизма равно двум из-за анонимности целевой процедуры. Сам алгоритм для каждого параметра реализован в подсистеме «Синтез» на скрытом слое «Синтез tech». В блоке «Операция над функциями» (рис. 5) формируется



Рис. 4. Конфигурация «Синтез»

максимизируемая функция (5) из целевой процедуры. Затем эта функция поступает на вход блока «Внутренний максимизатор», который и реализует максимизацию полным перебором, получая границы перебора из блока «Границы».

Критерий (*) вычисляется в подсистеме «VI. Вычисление значения целевой функции Центра» для эквивалентного неманипулируемого механизма и для механизма ОМС с параметрами, выбранными пользователем. Задача максимизации решается также приближенно с помощью встроенного блока полного перебора.

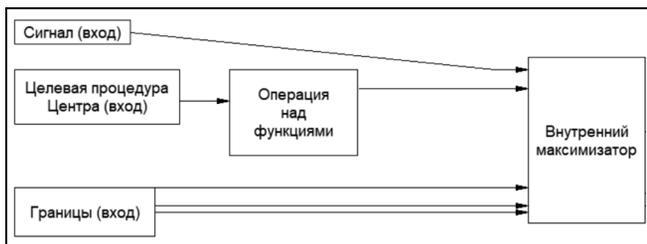


Рис. 5. Технология поиска параметров оптимального механизма ОМС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты доказывают конструктивность ранее полученного решения задачи поиска оптимального механизма активной экспертизы и иллюстрируют возможности их реализации в системах имитационного моделирования на примере системы РДС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Moulin, H.* On Strategy-proofness and Single-peakedness // *Public Choice*. — 1980. — Vol. 35, no. 4. — P. 437–455.
2. *Коргин Н.А.* Неманипулируемые механизмы принятия решений в управлении организационными системами: дисс. ... д-ра техн. наук. — М.: ИПУ РАН. — 2013. [*Korgin, N.A.* Strategy-proof decision mechanisms in organization systems control: Ph. D. theses. — Moscow: ICS RAS. — 2013. (in Russian)]
3. *Бурков В.Н., Буркова И.В., Губко М.В.* и др. Механизмы управления / под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. — М.: Ленанд, 2010. — 192 с. [*Burkov, V.N., Burkova, I.V., Goubko, M.V., et al.* Control mechanisms / edited by corr. member of RAS D.A. Novikov. — Moscow: Lenand, 2010. — 192 p. (In Russian)]
4. *Barberà, S., Gul, F., and Stacchetti, E.* Generalized median voter schemes and committees // *J. Econ. Theory*. — 1993. — Vol. 61. — P. 262–289.

5. Barberá, S., Masso, J., Serizawa, S. Strategy-proof voting on compact ranges // *Games and Economic Behavior*. — 1998. — Vol. 25. — P. 272–291.
 6. Коргин Н.А. Представление механизма последовательного распределения ресурсов как неманипулируемого механизма многокритериальной активной экспертизы // *Управление большими системами*. — 2012. — Вып. 36. — С. 186–208. [Korgin, N.A. Representation of uniform mechanism of resource allocation as a strategy-proof mechanism of multi-criteria active expertise // *Control of big systems*. — 2012. — Vol. 36. — P. 186–208. (In Russian)]
 7. Dasgupta, P., Hammond, P., Maskin, E. The implementation of social choice rules: Some general results on incentive compatibility // *The Review of Economic Studies*. — 1979. — Vol. 46, no. 2. — P. 185–216.
 8. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. — М.: Наука, 1989. — 246 с. [Burkov, V.N., Danev, B., Enaleev, A.K., et al. Big systems: modeling organizational mechanisms. — Moscow: Science, 1989. — 246 p. (In Russian)]
 9. Алескеров Ф.Т., Карабекян Д.С., Санвер Р.М., Якуба В.И. Оценка степени манипулируемости известных схем агрегирования в условиях множественного выбора // *Журнал Новой экономической ассоциации*. — 2009. — Т. 1, № 1. — С. 37–61. [Aleskerov, F.T., Karabekyan, D.S., Sunver, R.M., et al. Otsenka stepeni manipuliруемости izvestnykh skhem agregirovaniya v usloviyakh mnozhestvennogo vybora // *Journal of the New Economic Association*. — 2009. — Vol. 1, no. 1. — P. 37–61. (In Russian)]
 10. Núñez, M., Pimienta, C., Xeferis, D. Implementing the Median. — 2018. Núñez, Matias and Pimienta, Carlos and Xeferis, Dimitrios, Implementing the Median (June 24, 2018). UNSW Business School Research Paper No. 2018-11. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3211193> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3211193>
 11. Koutsoupias, E., Papadimitriou, C. Worst-case equilibria // *Computer science review*. — 2009. — Vol. 3, no. 2. — С. 65–69.
 12. Korgin, N.A. Rozdestvenskaya, S.M. Concordant Approach for R&D Projects' Evaluation and Ranking // 2017 IEEE 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). — IEEE, 2017. — Vol. 2. — P. 358–362.
 13. Дорри М.Х., Рошин А.А. Инструментальный программный комплекс РДС (Расчет Динамических Систем) — средство моделирования и разработки алгоритмов управления // *Проблемы управления*. — 2009. — № 4. — С. 52–57. [Dorri, M.H., Roshchin, A.A. Instrumental software complex RDS (Research of Dynamic Systems) — a tool for modeling and developing control algorithms // *Control Sciences*. — 2009. — No. 4. — P. 52–57. (In Russian)]
 14. Le Breton, M., Zaporozhets, V. On the Equivalence of Coalitional and Individual Strategy-proofness Properties // *Social Choice and Welfare*. — 2009. — Vol. 33, no. 2. — P. 287–309.
 15. Arribillaga, R.P., Massó, J. Comparing Generalized Median Voter Schemes According to Their Manipulability // *Theoretical Economics*. — 2016. — Vol. 11, no. 2. — P. 547–586.
- Статья представлена к публикации членом редколлегии Ф.Т. Алескеровым.*
- Поступила в редакцию 3.09.2019, после доработки 18.02.2020.
Принята к публикации 3.03.2020.*

Коргин Николай Андреевич — д-р техн. наук,
Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова,
г. Москва, Московский физико-технический институт,
✉ nkorgin@ipu.ru,

Корепанов Всеволод Олегович — канд. техн. наук,
Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова,
г. Москва, ✉ moskvo@yandex.ru.

SYNTHESIS OF THE OPTIMAL MECHANISM OF ACTIVE EXPERTISE: REALIZATION VIA COMPUTER MODELING SYSTEMS

N.A. Korgin^{1,2}, V.O. Korepanov¹

^{1,2}V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Moscow Institute of Physics and Technology, Russia

¹✉ nkorgin@ipu.ru, ²✉ moskvo@yandex.ru

Abstract. The paper considers a model of active expertise as expertise that takes into account the experts' possible interest in its results. We study its one-dimensional formulation — the problem of one-criterion collective choice or, in other terminology, active planning. There is a goal procedure for expertise that is optimal when experts are not active. The problem of synthesis of the optimal mechanism of active expertise is given. The article presents proof of solution existence to the problem of synthesis of the optimal mechanism of one-dimensional active expertise. Earlier, only an algorithm for its obtaining by solving a system of equations was proposed. We show that, within the framework of generally accepted assumptions on the class of goal procedures, a solution to the problem of active planning always exists and is so-called generalized median voter schemes, described by Herve Moulin in 1980 as a class of strategy-proof collective choice rules (or mechanisms in the terminology of the theory of active systems), which are Pareto efficient. A model for analyzing mechanisms of active expertise based on a GMVS and a model for synthesizing an optimal strategy-proof mechanism have been developed in the simulation environment. A search for the parameters of the equivalent direct mechanism is also implemented.

Keywords: control science, organizational-technical system, systems analysis, strategy-proofness.

Funding. The work was performed with partial financial support of Russian Science Foundation (project no. 16-19-10609).