

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМ ПОВЕДЕНИЕМ¹

М.В. Губко

Аннотация. Разработаны математическая модель и нотация описания комплексных механизмов управления организационным поведением на основе комбинирования относительно простых базовых механизмов управления (распределения ресурса, стимулирования, контроля и т. п.) в ациклический граф многошаговой игры, описывающей рассматриваемую организационную систему. Новизна нотации определяется тем, что, в отличие от стохастических игр на графах, в каждом состоянии задается не игра в нормальной форме, а иерархическая игра с неполной, в общем случае, информацией. Предложен метод исследования свойств комплексных механизмов управления организационным поведением с использованием аналогичной динамическому программированию процедуры обратной индукции. Метод позволяет в максимальной степени воспользоваться наработками теории управления организационными системами в области построения изолированных механизмов управления для типовых ситуаций взаимодействия участников организационных систем и применять их как «строительные блоки» для построения комплексных механизмов, позволяя при этом находить наилучшие параметры комплексного механизма управления, сохранять хорошие свойства базовых механизмов управления (в частности, неманипулируемость) при их объединении в комплексный механизм. Применимость метода показана на простых примерах построения комплексных механизмов планирования, стимулирования и контроля, намечены перспективы развития теории.

Ключевые слова: базовый механизм управления организационным поведением, многошаговая стохастическая игра на графе, обратная индукция, сильносвязанные механизмы.

ВВЕДЕНИЕ

Научный подход к познанию действительности основан на анализе — разложении окружающего мира на составляющие части, более простые для исследования, и, насколько это возможно, изолированное изучение каждой из частей для выявления закономерностей ее функционирования и прогноза или поиска наилучшего способа устройства объекта исследования [1]. Реальная жизнь, однако, всегда является результатом сложного взаимодействия большого количества факторов и ситуаций, поэтому для применимости теоретических результатов на практике анализ всегда дополняется обратным процессом — синтезом — осмысленным

соединением различных элементов, сторон предмета в единое целое.

Этот подход показал свою эффективность во многих науках, и теория организационного управления, предметом которой являются процессы управления в организациях — не исключение. В соответствии с подходом [2, 3], в процессе декомпозиции задачи организационного управления выделяются наиболее часто встречающиеся, типовые, ситуации взаимодействия участников организационной системы. Для этих ситуаций разрабатываются математические модели, которые исследуются в целях объяснения и предсказания развития ситуации в динамике и поиска оптимальных механизмов управления — наилучших с той или иной точки зрения правил взаимодействия участников системы [3, 4]. Хорошо исследованные механизмы управления для типовых ситуаций называются *базовыми*.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 16-19-10609).



К настоящему времени накоплены богатые результаты теоретического и экспериментального исследования базовых механизмов управления [2, 3]. Во многих типовых ситуациях для базовых механизмов управления доказана их оптимальность и другие положительные свойства (например, неманипулируемость [5, 6]). Однако обратная задача *комплексирования* механизмов управления пока далека от удовлетворительного решения, что служит одним из важных факторов, ограничивающих внедрение в практику менеджмента результатов теории управления в организационных системах [2, 3, 7]. Важные проблемы [8] комплексирования механизмов заключаются в обеспечении:

— *операциональности*, т. е. возможности нахождения оптимального (наилучшего в каком-то смысле) комплексного механизма управления;

— *наследования*, т. е. сохранения хороших свойств базовых механизмов управления (оптимальности, неманипулируемости) при их объединении в комплексный механизм.

В настоящей статье предлагается возможное решение этих двух проблем. Для этого, прежде всего, строится общая математическая модель комплексного механизма управления как многошаговой игры, шагами которой являются отдельные базовые механизмы управления, а затем, описывается процедура нахождения решения комплексного механизма посредством обратной индукции — последовательного решения локальных задач управления, что позволяет максимально полно использовать теоретические результаты в области базовых механизмов управления. Агрегированное влияние последующих действий участников системы на решения, принимаемые ими на более раннем этапе комплексного механизма, определяется добавкой (по типу функции Беллмана) к их локальным целевым функциям. Процесс аналогичен решению задачи оптимизации методом динамического (или, более общо, дихотомического) программирования [9]. *Операциональность* процедуры решения тем выше, чем более компактное дерево многошаговой игры удастся построить для данного комплексного механизма, а границы *наследования свойств* базового механизма определяются его применимостью для модифицированных целевых функций, включающих в себя «беллмановскую добавку».

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Практика бизнес-анализа и управленческого консалтинга основана на исследовании и улучшении бизнес-процессов организации. Для формализованного описания бизнес-процессов разработаны многочисленные нотации, подчеркивающие различные аспекты процессов функционирования

организации — функциональную декомпозицию в нотации IDEF0, декомпозицию производственных процессов на элементарные действия в нотации IDEF3, процессы передачи информации в нотации DFD, триггерные события в нотации EPC, интеграцию с информационными системами в нотации BPMN [10].

Основу нотаций составляют элементарные операции, в выполнении которых и состоит бизнес-процесс. Организационное управление — это, прежде всего, принятие различных решений, поэтому в контексте решения задач управления нас будут интересовать в основном операции принятия решений. Отметим, что все существующие нотации описания бизнес-процессов чрезвычайно плохо приспособлены к анализу функций управления. Более или менее четко можно выяснить лишь ответственного за принятие решения. Алгоритмы принятия решений (за исключением крайне простых случаев) в лучшем случае скрыты в текстовом описании операций (т. е. слабо формализованы), а зачастую и вовсе забываются бизнес-аналитиками. Даже если детально описано, как принимается решение, никогда не написано — почему оно принимается именно так, а не иначе: редко фиксируется конкретное множество альтернатив, в выборе из которых состоит решение, почти никогда не фиксируется критерий принятия решения. Зачастую при описании бизнес-процесса опускается *информированность* лица, принимающего решение, т. е. то, какой информацией о значимых факторах он обладает — а без этого, конечно, невозможно оценить, насколько эффективен тот или иной алгоритм принятия решений и как он может быть улучшен. Наконец, уровень принятия решения зачастую просто скрыт от рядовых бизнес-аналитиков; именно так в типичном описании бизнес-процесса появляются операции типа «бухгалтерия начисляет премию сотруднику» вместо по-настоящему важной операции «руководитель определяет размер премии сотрудника по результатам мониторинга эффективности выполнения тем поставленных задач на основе предыдущих договоренностей с учетом оценочной стоимости данного специалиста на рынке, объема премиального фонда и других факторов, соображений и ограничений», адекватное описание которой выливается в многостраничный документ, в итоге не отвечающий, тем не менее, на вопрос о том, почему премия начисляется именно так, и что будет, если этот алгоритм как-то изменить.

В связи с недостатками стандартных нотаций, для описания процессов принятия управленческих решений в организации (также называемых *механизмами управления*) в работе [3] была предложена специальная нотация, систематически учитывающая все аспекты, значимые для формального ис-

следования соответствующей задачи принятия решения. Это описание, основанное на методологии исследования операций и теории управления в организационных системах [2, 7], включает в себя состав лиц, вовлеченных во взаимодействие в процессе принятия решения, перечисление множеств их допустимых действий, целевые функции, порядок принятия решений и информированность участников (рис. 1).

Как видно из рис. 1, общая схема покрывает все этапы процесса организационного управления от планирования (этапы I и II на рис. 1 и 2) до стимулирования (этап VI на рис. 1 и 2), но на самом деле такие всеобъемлющие механизмы управления могут быть разработаны только для очень специальных задач и имеют узкую область применения, будучи при этом чрезвычайно трудоемкими в описании и исследовании. Одновременно с этим,

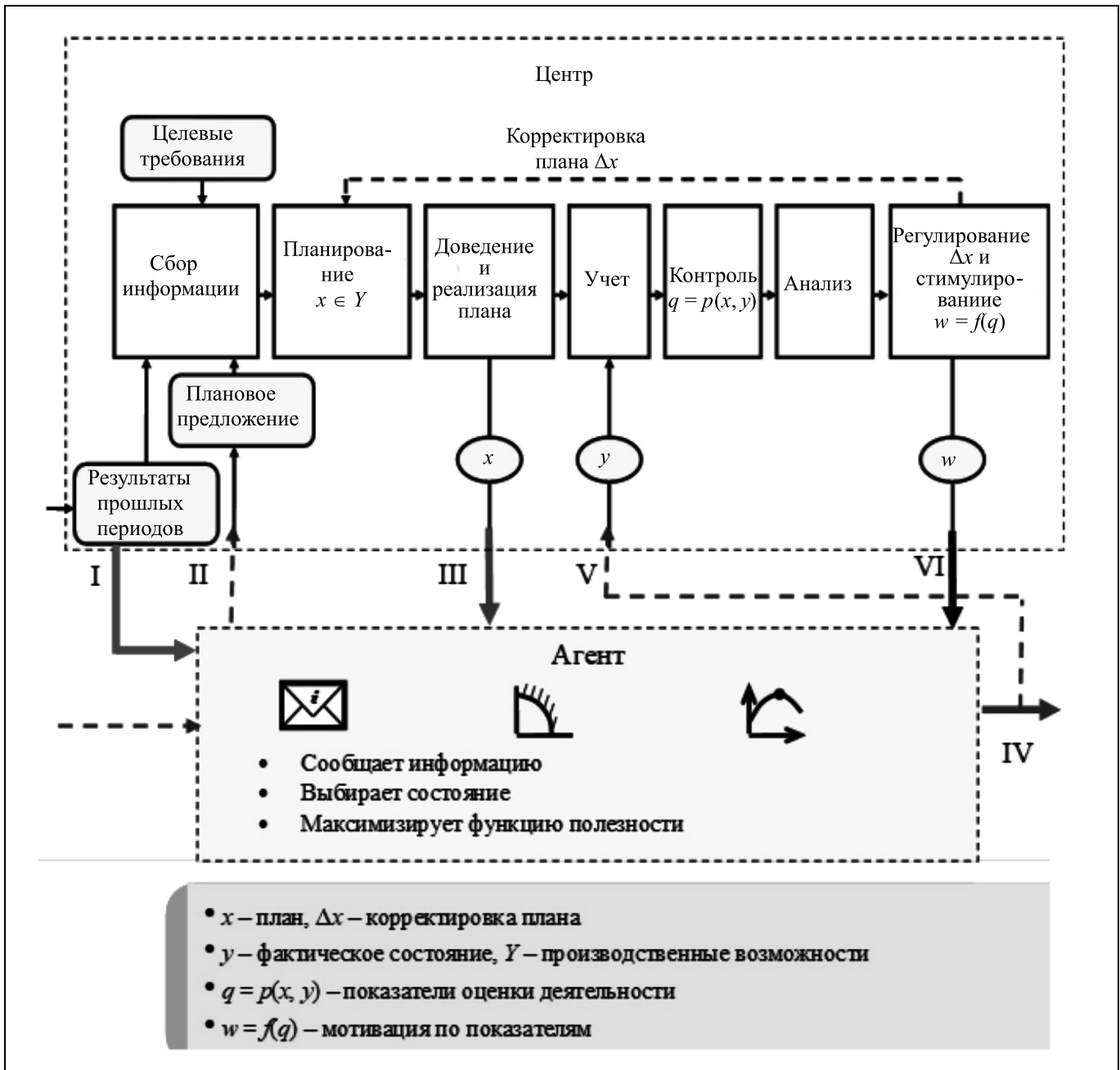


Рис. 1. Общая схема механизма управления [3]. Пунктирные стрелки соответствуют информационным, а сплошные — материальным и финансовым потокам

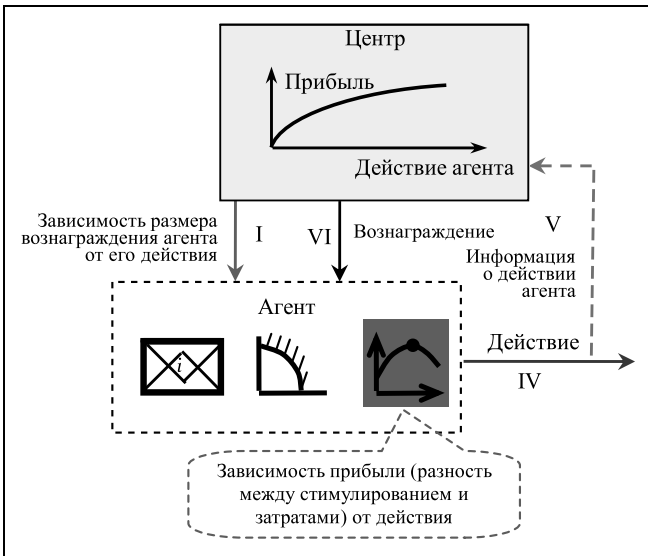


Рис. 2. Схема механизма материального стимулирования [3]. Пунктирные стрелки соответствуют информационным, а сплошные — материальным и финансовым потокам

для типовых, часто встречающихся на практике ситуаций организационного взаимодействия, в работе [3] описано семейство из нескольких десятков более простых базовых механизмов управления, каждый из которых покрывает не более одного этапа планирования, стимулирования, организации, контроля и имеет некоторую более или менее широкую сферу применения. В качестве примера можно привести механизм материального стимулирования (рис. 2), в котором отсутствует этап планирования. Существуют и еще более простые механизмы управления, например, механизм комплексного оценивания (см. его схему и описание в работе [3]).

На верхнем уровне описания бизнес-процесса, впрочем, сложный формализм рис. 1 и 2 «сворачивается» в стандартную для системного анализа вход-выходную схему (см. рис. 3), которую можно применять в стандартных нотациях (например, в нотации IDEF0, как в работе [3]) в качестве одной из операций сложного бизнес-процесса. Процесс, в котором встречается несколько операций-механизмов, в работе [3] называется комплексным механизмом управления. Такой подход позволяет связать основанный на методологии исследования операций и теоретико-игровых моделях подход теории управления организационными системами с традиционной практикой бизнес-анализа, показав место механизмов управления в общем потоке операционной деятельности организации.

В работе [3] предлагается использовать базовые механизмы как «кирпичики» при построении комплексных механизмов. Однако применимость

предложенной там нотации комплексирования механизмов ограничена, поскольку она не позволяет отвечать на вопросы операционности и наследования свойств базовых механизмов, сформулированные во Введении. В настоящей статье предлагается визуально похожий, но существенно более выразительный математический формализм, в рамках которого вопросы операционности и наследования свойств находят удовлетворительное разрешение.

В статье [8] основная проблема комплексирования механизмов управления в организационно-технических системах сформулирована как поиск общих условий, которым должны удовлетворять механизмы управления, устойчивые к комплексированию. В настоящей статье вопрос ставится по-иному — в каких ситуациях комплексирования механизмов управления сохраняются положительные свойства исходных механизмов? Механизмы оказываются устойчивыми к комплексированию не сами по себе, а только в контексте тех или иных комплексных бизнес-процессов. Конструктивный вопрос состоит в поиске правил трансформации компонентов описания базовых механизмов управления (целевых функций, множеств стратегий, информированности,...), которые позволяют исследовать отдельные шаги комплексного механизма изолированно друг от друга, и исследовании границ применимости этих правил. Предлагаемые далее правила трансформации учитывают долгосрочное влияние локальных решений участников организационной системы и позволяют исследо-

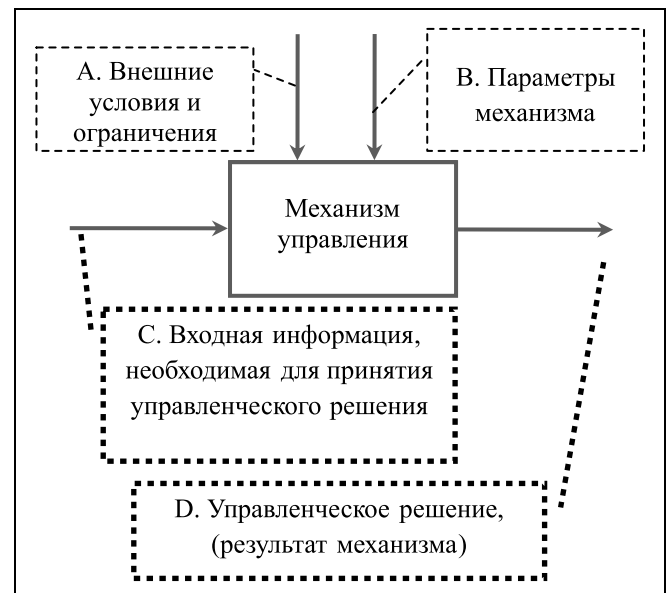


Рис. 3. Общая вход-выходная схема механизма управления [3]

вать сильносвязанные (в понимании статьи [8]) базовые механизмы в составе комплексных.

В зарубежной литературе вопросам комплексирования механизмов управления организационным поведением не уделяется практически никакого внимания. Одна из причин может состоять в том, что соответствующий раздел математики, теория механизмов (*mechanism design*), культивируется в основном экономистами-теоретиками [4], а не специалистами по менеджменту (*management*) и внутрифирменному управлению (*business administration*).

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ

Комплексный механизм управления определим следующим образом. Пусть задан *ациклический* граф $G(z_0) = \langle Z, L \rangle$ с единственной начальной вершиной $z_0 \in Z$. Вершины графа $z \in Z$ соответствуют состояниям организационной системы, в том числе z_0 — ее начальное состояние. Множество Z в общем случае бесконечное, а $L: Z \rightarrow Z$ — точно-множественное отображение, описывающее возможные переходы системы между состояниями. Вершины из множества $Z_T = \{z \in Z: L(z) = \emptyset\}$ называются терминальными.

В каждой вершине $z \in Z$ графа $G(z_0)$ разместим некоторый *механизм управления*, т. е. формализованную схему взаимодействия участников организационной системы, согласно работам [2, 3], определяемую (см. рис. 1) заданием:

- состава активной системы (перечисления участников системы — агентов);
- допустимых действий агентов;
- целей и предпочтений агентов;
- порядка функционирования (порядка принятия решений агентами, обычно, конкретизирующего шесть этапов, описанных в работе [3]);
- информированности агентов (определяющей, какой информацией обладают участники на момент принятия решений).

Математическая модель механизма управления представляет собой *иерархическую игру* n лиц [11, 12] с неполной, в общем случае, информацией:

$$\Gamma(z) = \langle N, \Omega, A_1^{[z]}, \dots, A_n^{[z]}, f_1^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n), \dots, f_n^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n), I^{[z]} \rangle. \quad (1)$$

Здесь $N = \{1, \dots, n\}$ — множество игроков (иначе называемых агентами), Ω — множество *внешних факторов* (и N , и Ω — общие для всех игр), $A_i^{[z]}$ — множество действий i -го агента в игре $\Gamma(z)$, $f_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n)$ — его функция выигрыша в игре $\Gamma(z)$, за-

висящая от профиля a_1, \dots, a_n действий всех игроков и значения внешнего фактора $\theta \in \Omega$, $I^{[z]}$ — информированность игроков относительно значения внешнего фактора согласно работам [13–15], в том числе вероятностная информированность.

Один из игроков (традиционно, это игрок с номером 0 или 1) называется Центром — именно с точки зрения его интересов исследуется механизм и соответствующая ему игра. Обычно (но не обязательно) Центр делает первый ход в каждой из «локальных» иерархических игр $\Gamma(z)$, выбирая стратегию (иногда именно стратегия Центра называется механизмом управления в узком смысле этого слова) — правила игры в рамках фиксированного порядка ходов, которыми руководствуются остальные участники механизма управления (игроки), выбирающие свои действия a_i согласно этому порядку.

Термин «внешние факторы» достаточно условный: типичным примером таких факторов служит вектор $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ *типов* агентов, т. е. их персональных характеристик (производительности труда, например), влияющих на целевые функции, и, как следствие, на поведение агентов.

Агенты в общем случае могут быть неполностью информированы как относительно действий своих оппонентов, так и относительно значения внешнего фактора θ . Первый тип информированности фиксируется порядком ходов, который, в свою очередь, определяется типом разыгрываемой иерархической игры. Второй тип информированности отражается в структуре информированности $I^{[z]}$. Формальное общее определение произвольной структуры информированности довольно громоздко (см. работы [13–15]), поэтому на практике обычно ограничиваются словесными указаниями того, что является *общим знанием* [15] в игре, например, «все агенты, кроме Центра, точно знают значение θ , тогда как Центр знает только множество возможных значений внешних факторов Ω », как в моделях *реализуемости* по Нэшу (*Nash implementation* [16]) или «каждый агент $i = 1, \dots, n$ знает функцию субъективной вероятности $p_i(\theta)$ значений внешних факторов», как в задачах *реализуемости* по Байесу (*Bayesian implementation* [17]). Этих неформальных описаний достаточно для того, чтобы определить принципы принятия решения агентами и найти решение игры $\Gamma(z)$ (подробнее об этом — в § 3).

Не ограничивая общности рассмотрения, считаем, что агенты получают свои выигрыши непосредственно после розыгрыша игры $\Gamma(z)$. После этого новое состояние системы $z' \in L(z)$ определяется случайным образом с вероятностью перехода $\pi^{z \rightarrow z'}(\theta, a_1, \dots, a_n)$. В частном случае детермини-



рованного перехода, когда комбинация действий агентов и внешних факторов однозначно определяет новое состояние z' , определим функцию $z' = \pi^z(\theta, a_1, \dots, a_n)$. Описывающая комплексный механизм многошаговая игра на графе G состоит в последовательности переходов из начального состояния z_0 в одно из терминальных состояний с розыгрышем игры $\Gamma(z)$ в каждом из посещаемых состояний $z \in Z$.

Предлагаемая модель комплексного механизма управления организационным поведением близка к моделям *стохастических игр* [18, 19], также называемым *конкурентными марковскими процессами принятия решений* [20], которые являются промежуточным по сложности описанием между играми в стратегической форме и играми в развернутой форме [21]. Оригинальный элемент предлагаемой модели состоит в том, что элементарным «кирпичиком» многошаговой игры, разыгрываемой в каждом состоянии графа игры, служит не простейшая игра в нормальной форме, как в стохастических играх, а, в общем случае, довольно сложная иерархическая игра с неполной информацией. Стратегии агентов в иерархических играх высоких порядков (см. работы [11, 12]) зачастую представляют собой функции от действий других агентов, т. е. весьма многомерные объекты, и изображение взаимодействия агентов в виде игры в развернутой форме получилось бы чрезвычайно громоздким.

Предлагаемая же запись позволяет «спрятать» эту сложность внутри описания отдельного механизма управления, сконцентрировавшись на взаимодействии относительно слабосвязанных операций комплексного механизма управления, тем более что, как отмечалось в § 1, для многих распространенных ситуаций взаимодействия участников организационной системы известны типовые, так называемые, «базовые», механизмы управления. Эти механизмы хорошо изучены, они обладают привлекательными свойствами (такими, например, как неманипулируемость), для некоторых доказана их оптимальность [3]. Примерами классов базовых механизмов служат механизмы планирования, стимулирования, комплексного оценивания и многие другие (в работе [3] перечисляются более 20 классов).

3. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ

Главная задача теории комплексных механизмов управления состоит в построении комплексного механизма, т. е. определении рационального поведения всех участников организационной системы. При этом было бы заманчиво использовать

многочисленные результаты по базовым механизмам управления — могут ли, и при каких условиях, базовые механизмы управления применяться в качестве строительных блоков комплексных механизмов, не теряют ли они такие свои привлекательные свойства, как оптимальность и неманипулируемость, какая доработка базовых механизмов требуется для эффективного их применения в комплексных механизмах?

Построение комплексного механизма сводится к решению соответствующей многошаговой игры. В качестве основного метода, как и в стохастических играх на графах [18, 19], предлагается воспользоваться обратной индукцией (backward induction) от терминальных состояний игры $z \in Z_T$ к начальному состоянию z_0 путем нахождения решения локальных игр $\Gamma(z)$, $z \in Z$, с учетом итерационно вычисляемых функций ожидаемого выигрыша агентов. Сначала для любого состояния игры $z \in Z$ определим *скорректированную иерархическую игру*

$$\Gamma'(z) = \langle N, \Omega, A_1^{[z]}, \dots, A_n^{[z]}, g_1^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n), \dots, g_n^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n), I^{[z]} \rangle,$$

отличающуюся от игры $\Gamma(z)$ только целевыми функциями.

Для произвольного терминального состояния $z \in Z_T$, игрока $i \in N$ и значения внешних факторов θ положим $g_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n) \equiv f_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n)$. Тогда для любого $z \in Z_T$ и любого $i = 1, \dots, n$ можно найти решение игры $\Gamma'(z)$ в соответствии с концепцией решения, по мнению исследователя, наиболее подходящей для этой игры (максимальный гарантированный результат, равновесие Штакельберга, равновесие Нэша и т. п. [2, 12]) в форме некоторого подмножества $\sigma^{[z]}(\theta) \subseteq A^{[z]} = A_1^{[z]} \times \dots \times A_n^{[z]}$ множества игровых ситуаций — исходов, для каждого из возможных значений внешних факторов $\theta \in \Omega$.

Для дальнейшего построения комплексного механизма, в общем-то, не имеют большого значения *стратегии* агентов, реализующие эти исходы. Это очень важно, поскольку в иерархических играх понятия *действий* и *стратегий* участников существенно отличаются, причем множества стратегий обычно неизмеримо более обширны, что крайне затрудняет алгоритмическое исследование механизмов управления организационным поведением [22].

Большое значение также имеет зависимость решения $\sigma^{[z]}(\theta)$ скорректированной игры $\Gamma'(z)$ от значений внешних факторов θ , характерная именно для механизмов организационного управления с их неполной, асимметричной и динамически ме-

няющейся информированностью участников. Принятие решений в условиях неполной информации предполагает устранение неопределенности (так называемая «гипотеза детерминизма» [2, 12]), в том числе относительно неполностью известного агентам значения θ , обычно путем усреднения в той или иной форме, что требует учета всевозможных вариантов θ . Таким образом, решение игры в каждой вершине $z \in Z$ графа комплексного механизма фактически представляет собой параметрическое семейство решений для всевозможных реализаций внешних факторов $\theta \in \Omega$. При этом даже если информированность i -го агента во время розыгрыша игры $\Gamma'(z)$ не предполагает знания значения θ , то порядок функционирования игры может позволить ему узнать его из действий других агентов, так что и весь исход игры, и его i -й компонент могут зависеть от значения θ .

Зная зависимость $\sigma^{[z]}(\theta)$, для любого значения внешних факторов θ легко вычислить ожидаемые выигрыши каждого агента, например, в простейшем случае их гарантированные выигрыши

$$F_i^{[z]}(\theta) = \inf [g_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n) : (a_1, \dots, a_n) \in \sigma^{[z]}(\theta)],$$

$$i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Теперь в любом таком состоянии $z \in Z$, что $L(z) \subseteq Z_T$, i -й агент, $i = 1, \dots, n$, может вычислить свой ожидаемый будущий выигрыш

$$e_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n) := E_{\pi_{z \rightarrow z'}(\theta, a_1, \dots, a_n)} F_i^{[z']}(\theta), \quad (3)$$

при условии реализации в игре $\Gamma(z')$ ситуации a_1, \dots, a_n и значения внешних факторов $\theta \in \Omega$. Здесь E — операция математического ожидания по вероятностям перехода в ситуации $z' \in L(z)$.

Рациональные агенты, разыгрывая игру в состоянии z , должны учитывать влияние ее результатов на выигрыши в будущих возможных состояниях из множества $L(z)$ и максимизировать свой полный будущий выигрыш

$$g_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n) := f_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n) + e_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n), \quad (4)$$

т. е., играть скорректированную игру $\Gamma'(z)$.

Важно отметить, что если игра $\Gamma(z)$ является типовой в том смысле, что для нее есть хорошо исследованный базовый механизм управления, и этот базовый механизм допускает и скорректированные целевые функции $g_i^{[z]}(\theta)$, $i = 1, \dots, n$, то результаты исследования этого базового механизма в полной мере переносятся на поведение агентов в скорректированной игре $\Gamma'(z)$ в состоянии $z \in Z$ комплексного механизма.

Таким образом, алгоритм обратной индукции для построения комплексного механизма управления состоит из следующих шагов.

1. Зададим множество состояний $Y := Z_T$.
2. Если множество Y пусто, алгоритм завершается.
3. Иначе для каждого состояния игры $z \in Y$ и всевозможных значений внешних факторов θ вычислим решение $\sigma^{[z]}(\theta)$ игры $\Gamma'(z)$ и, по формуле (2), гарантированные выигрыши $F_i^{[z]}(\theta)$, $i \in N$.
4. Положим $Y' := \{z \in Z : L(z) \subseteq Y\}$ и для всех $z \in Y'$ и всевозможных значений внешних факторов θ вычислим по формуле (3) ожидаемые будущие выигрыши $e_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n)$, что позволяет вычислить и полные будущие выигрыши $g_i^{[z]}(\theta, a_1, \dots, a_n)$ по формуле (4).
5. Положим $Y := Y'$ и перейдем на шаг 2.

В силу ацикличности графа состояний алгоритм вычисляет решение игры $\Gamma(z)$ для каждого состояния $z \in Z$ и завершается после вычисления решения скорректированной игры $\Gamma'(z_0)$ для начального состояния z_0 . Гарантированные выигрыши участников в игре $\Gamma'(z_0)$ определяют их гарантированные выигрыши во всей многошаговой игре, определяемой графом $G(z_0)$ и моделирующей комплексный механизм управления.

Отметим, что для построения комплексного механизма достаточно построить локальные механизмы для каждого состояния $z \in Z$, т. е. для каждой вершины сетевого описания комплексного механизма. Вычислительная сложность решения задачи синтеза локального механизма полностью определяется компонентами описания соответствующей иерархической игры (см. формулу (1)), и не зависит от сложности комплексного механизма, одним из состояний которого локальный механизм является¹. Если синтез локального механизма управления в каждом из состояний игры требует не более M операций, то синтез комплексного механизма требует порядка $M|Z|$ операций, т. е. трудоемкость задачи поиска комплексного механизма линейно растет по объему исходных данных

¹ Строго говоря, это верно в случае, если *массовая задача* [23] синтеза локального механизма включает в себя экземпляры задач для всевозможных скорректированных целевых функций $g_i^{[z]}$, которые могут сформироваться в результате обратной индукции. На практике это требование эквивалентно допустимости всех потенциально реализуемых в результате обратной индукции целевых функций $g_i^{[z]}$, $i = 1, \dots, n$, для механизма управления для произвольного состояния $z \in Z$, и не является ограничивающим.



(совокупности описаний локальных механизмов для каждого состояния $z \in Z$).

В этом параграфе не употребляется понятие «оптимального» механизма управления, поскольку цель настоящей статьи — не построение гипотетического механизма, наилучшего с точки зрения кого-либо из игроков в рамках тех или иных теоретических представлений о рациональном поведении, а описание формальной процедуры, позволяющей в рамках организационного дизайна наиболее полно использовать результаты исследований базовых механизмов, чтобы предсказывать свойства комплексного механизма, построенного из этих базовых «кирпичиков». При том что далеко не для всех базовых механизмов доказана их оптимальность (не для всех даже оценена их эффективность), они могут обладать другими положительными качествами (например, простотой применения или совместимостью с существующей нормативной базой), оправдывающими их применение в комплексных механизмах. При этом важно, что в результате применения описанной выше универсальной формальной процедуры комплексирования можно делать выводы об эффективности комплексного механизма — эффективность для i -го игрока определяется его средним выигрышем $E_0 F_i^{[z_0]}(\theta)$ в скорректированной игре в начальном состоянии z_0 .

4. ПРИМЕРЫ КОМПЛЕКСНОГО МЕХАНИЗМА ПЛАНИРОВАНИЯ, СТИМУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ

Рассмотрим несколько примеров построения комплексных механизмов. В классическом механизме распределения ресурса [24] целевые функции агентов считаются однопиковыми функциями от объема распределяемого им ресурса. При этом причина, по которой целевая функция агента уменьшается при получении большого объема ресурса, обычно не обсуждается, что выглядит особенно странно при рассмотрении механизмов распределения финансовых ресурсов. Как «много денег» может быть хуже, чем «мало денег»? Причина, очевидно, в механизмах последующего аудита, проверки эффективности использования выделенного ресурса, которые неявно предполагаются при рассмотрении механизмов распределения ресурса. Именно строгость и эффективность будущих проверок ограничивают жадность агентов на первом этапе комплексного двухэтапного механизма. Опишем этот пример формально.

Пример 1. Рассматривается организационная система с веерной структурой. На этапе I (в состоянии z_0) Центр (т. е. агент с номером, скажем, 0) владеет бюджетом объема R и распределяет его между n агентами для наиболее эффективного инвестирования на основе их

заявок a_1, \dots, a_n с помощью механизма планирования $\rho(\cdot)$, т. е. i -й агент получает ресурс в объеме $x_i = \rho_i(a_1, \dots, a_n)$, $i = 1, \dots, n$. Таким образом, действием i -го агента в иерархической игре этого этапа является заявка на ресурс $a_i \geq 0$, действием Центра — вектор (x_1, \dots, x_n) распределяемого ресурса. Стратегия же Центра в игре $\Gamma(z_0)$ состоит в назначении механизма планирования $\rho(\cdot)$, т. е. зависимости объема распределяемого ресурса от размеров заявок агентов.

Целевая функция этапа I, определяющая денежный эквивалент полезности i -го агента, равна просто объему получаемых финансовых ресурсов $f_i^I(\cdot) = x_i$, а целевая функция Центра $f_0^I(\cdot) = R - (x_1 + \dots + x_n)$. Вектор $\pi^I(\cdot) = (x_1, \dots, x_n)$ объемов ресурса определяет следующее состояние системы.

Проиллюстрируем сопряжение механизмов управления в комплексный механизм на простейшем примере, взяв максимально простые базовые механизмы, чтобы сконцентрироваться на их комплексировании (рис. 4).

Пусть на этапе II Центр проверяет эффективность расходования ресурса, проводя финансовую проверку агентов, и имеет возможность потребовать от i -го агента возврата вложений x_i , причем с процентом $\lambda_i \in [\lambda^{\min}, \lambda^{\max}]$. Таким образом, действием Центра в состоянии системы $x = (x_1, \dots, x_n)$ является вектор $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ процентных ставок, тогда как действием i -го агента, $i = 1, \dots, n$ — вложение (при известных ставках λ) в инвестиционные проекты финансовых средств, ранее полученных от Центра, в объеме $y_i \in [0, x_i]$. Такая схема описывает, например, взаимоотношения банка с займополучателями или взаимоотношения центрального офиса инвестиционной компании с ее подразделениями.

Пусть суммарная прибыль $h_i(y_i)$ от инвестиций в объеме y_i при оптимальном доступном для i -го агента их вложении описывается гладкой монотонной вогнутой функцией, тогда его целевая функция запишется как

$$f_i^{[x]}(\lambda, y_1, \dots, y_n) = h_i(y_i) - (1 + \lambda_i)x_i$$

а целевая функция Центра — как $f_0^{[x]}(\lambda, \cdot) = (1 + \lambda_1)x_1 + \dots + (1 + \lambda_n)x_n$.

Заметим, что функции $h_i(\cdot)$ характеризуют персональные возможности агентов, влияя на их целевые функции этапа II. Логично считать, что функция $h_i(\cdot)$ всегда известна агенту i , однако не известна Центру, пока он не провел проверку на этапе II, т. е. имеется неполная асимметричная информированность относительно этих функций. Поэтому кортеж функций $\theta := \langle h_1(\cdot), \dots, h_n(\cdot) \rangle$ представляет собой конкретную реализацию внешних факторов для данного комплексного механизма (см. рис. 4); довольно сложный объект, который, тем не менее, не причинит в данном примере особого беспокойства и не создаст проблем.

Решение игры этапа II очень простое. В силу монотонности $h_i(\cdot)$ оптимальна стратегия i -го агента $y_i = x_i$. Для Центра же, очевидно, выгодны максимальные процентные ставки $\lambda_i = \lambda^{\max}$. Это и есть решение игры эта-

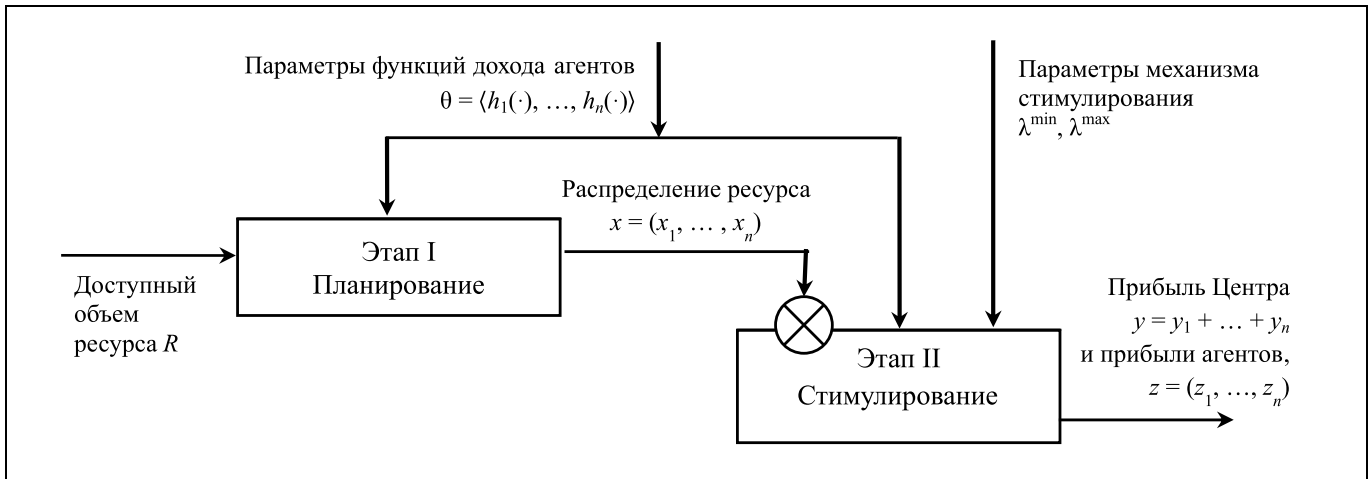


Рис. 4. Схема двухэтапного комплексного механизма управления из примера 1

па II, точнее, решение всего семейства игр для различных состояний x и значений внешних факторов θ , представляющее собой вариации на тему одного из базовых механизмов управления — механизма стимулирования L -типа в условиях полной информированности [25].

Таким образом, для значения внешних факторов $\theta := \langle h_1(\cdot), \dots, h_n(\cdot) \rangle$ и состояния игры $x = (x_1, \dots, x_n)$ запишем $F_0^{[x]}(\theta) = (1 + \lambda^{\max})(x_1 + \dots + x_n)$, $F_i^{[x]}(\theta) = h_i(x_i) - (1 + \lambda^{\max})x_i$, $i = 1, \dots, n$, и функции Беллмана в начальном состоянии игры z_0 запишутся как

$$e_i^{[z_0]}(\theta, x, a_1, \dots, a_n) = F_i^{[x]}(\theta).$$

Тогда функции полного выигрыша

$$g_0^{[z_0]}(\cdot) = R + \lambda_{\max}(x_1 + \dots + x_n),$$

$$g_i^{[z_0]}(\cdot) = f_i^{[z_0]}(\cdot) + e_i^{[z_0]}(\cdot) = h_i(x_i) - \lambda_{\max}x_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Новые целевые функции агентов включают в себя функции $h_i(\cdot)$, т. е. в состоянии z_0 известны только им самим, но не Центру. Однако они представляют собой однопиковые функции, а значит, работает вся теория, разработанная для механизмов распределения ресурса [2, 7, 24, 26], и Центр может воспользоваться готовыми результатами по любому из доступных базовых механизмов распределения ресурса (прямых и обратных приоритетов, конкурсным и т. п.), что завершает построение комплексного механизма. ♦

Заметим, что в стандартных нотациях рассматриваемый бизнес-процесс включает в себя два шага (см. рис. 4), однако для целей организационного дизайна — построения механизма управления организационным поведением — его описание выглядит как «веер» расходящихся путей, описывающих переходы во всевозможные будущие состояния системы. Бесконечное число состояний на втором этапе процесса (на рис. 4 изображенное

значком мультиплицирования \otimes возле состояния системы x), тем не менее, не доставило особых трудностей в ходе анализа, поскольку все состояния второго этапа были исследованы так же, как и изображены — единым унифицированным способом. Возможность такой экономии вычислений определяется возможностью получения для второго этапа процесса аналитического решения, параметрически зависящего как от состояния игры $x = (x_1, \dots, x_n)$, так и от значения внешних факторов $\theta = \langle h_1(\cdot), \dots, h_n(\cdot) \rangle$.

Разумеется, этот (достаточно простой) процесс взаимодействия участников организационной системы можно было исследовать непосредственно, рассматривая его не как комплексный механизм управления в понимании настоящей статьи, а просто как сложную многошаговую иерархическую игру, где действия выбираются Центром, потом агентами, затем опять Центром и т. д. Описанный выше подход, однако, систематизирует и стандартизирует процесс этого исследования. Он позволяет в явном виде декомпозировать комплексный механизм управления на элементарные шаги, которые могут реализовываться механизмами из библиотеки базовых механизмов управления организационным поведением [3].

В частности, можно рассмотреть альтернативный вариант реализации второго этапа бизнес-процесса, добавить к процессу новые этапы (операции) и сравнить эффективность различных вариантов организации комплексного бизнес-процесса.

Пример 2. Если в примере 1 ослаблять искусственное верхнее ограничение на процент λ_i , то Центр сможет получать от агентов все большие и большие средства. В жизни, однако, это невозможно, так как у агентов всегда есть альтернатива — уволиться из организации,



если условия в ней становятся хуже, чем доступные агенту на рынке труда. В частности, логично считать, что после назначения Центром ставки λ_i i -й агент может отказаться от инвестирования, вернуть ранее полученные финансовые средства в объеме x_i и уволиться, получив альтернативный выигрыш u_i (наличие такого уровня *резервной полезности* — это стандартное предположение при рассмотрении базовых механизмов стимулирования [25, 27]). Максимально возможной будет процентная ставка $\lambda_i = \frac{h_i(x_i) - u_i}{x_i}$, при которой обе альтернативы приводят к одинаковому выигрышу. В этом

случае $g_0^{[z_0]}(\cdot) = \sum_{i=1}^n (h_i(x_i) - u_i)$, $g_i^{[z_0]}(\cdot) = u_i$, функции

полного выигрыша агентов на этапе I равны константе, а в целевую функцию Центра входят внешние факторы (функции $h_i(\cdot)$, $i = 1, \dots, n$), т. е. Центр неточно знает свою целевую функцию. В теории игр это вполне допустимо — при выборе стратегии Центр должен устранить эту неопределенность путем усреднения или обмена информацией. Если, как обычно считается, выбор агента между равнозначными для него альтернативами определяется гипотезой благожелательности [2, 12, 24], то, скажем, при применении Центром на первом этапе механизма пропорционального распределения ресурса

$x_i = Ra_i / \sum_{j=1}^n a_j$, агенты сами выберут действия, при кото-

рых распределение ресурса будет оптимальным для Центра, т. е. будет максимизировать суммарную прибыль

$\sum_{i=1}^n h_i(x_i)$. Известны и более сложные стимулирующие

стратегии, когда ставка налогообложения λ_i зависит от действия агента y_i . С их помощью можно достичь того же исхода при тех же выигрышах. ♦

В заключение отметим, что в трудовых отношениях отказ от дальнейшего сотрудничества (увольнение по собственному желанию) обычно можно инициировать не только в любом состоянии многошаговой игры, но даже и в разные моменты иерархической игры, соответствующей локальному механизму управления, в разных состояниях информированности и т. д., поэтому такой альтернативный сценарий обычно не отображается напрямую на схеме комплексного механизма, иначе она стала бы слишком громоздкой. В рассматриваемом примере достаточно на рис. 4 заменить параметры λ^{\min} , λ^{\max} механизма на этапе II на вектор резервных полезностей $u = (u_1, \dots, u_n)$ или включить этот вектор во внешние условия θ . ♦

Интересно, что в примере 2 функции полного выигрыша на этапе I не зависят от действий агентов. Это является прямым следствием того, что на этапе II Центр имеет полную информацию о значении внешних факторов θ (функциях дохода агентов) и достаточно широкие возможности по перераспределению выигрыша. Когда дальновидные агенты понимают, что независимо от их действий игра попадет в состояние, где Центр умень-

шит их накопленный выигрыш до уровня *резервной полезности* u_i , $i = 1, \dots, n$, функции их полного выигрыша предыдущих состояний вплоть до начального перестают зависеть от их действий.

Насколько это осложняет или облегчает функционирование комплексных механизмов — вопрос спорный, но то, насколько подобная ситуация представляется контринтуитивной, вероятно, говорит о том, насколько редко полная информированность встречается в жизни. Для реальных комплексных механизмов скорее характерна их цикличность, нацеленность на долгосрочное взаимодействие с учетом накопления репутации и положительного опыта. Технически это можно сделать, введя в терминальных состояниях комплексного механизма дополнительное слагаемое, отвечающее за репутацию — долгосрочные последствия того или иного поведения участников организационной системы (причем как управляемых, так и управляющих). Базовые механизмы управления репутацией описаны в работе [28].

В рассмотренных простых примерах комплексный механизм был построен аналитически. Более сложные комплексные механизмы могут потребовать исследования численными методами. В этом должны помочь ранее разработанные в рамках гранта РФФИ 16-19-10609 численные компьютерные модели базовых механизмов управления [29, 30] в среде моделирования RDS, «Расчет динамических систем» (на веб-странице [31] доступна библиотека реализованных в среде RDS на настоящий момент механизмов управления организационным поведением), дополненные возможностями задания схем комплексных бизнес-процессов, их анализа и синтеза, рассмотренными в настоящей статье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе представлен вариант решения двух проблем комплексирования механизмов управления организационным поведением: операциональности (т. е. возможности построения сложного многоэтапного механизма управления) и наследуемости (т. е. сохранения хороших свойств базовых механизмов управления при их комплексировании). Для этого предложена нотация записи комплексных бизнес-процессов в форме стохастической игры на ациклическом графе, в вершинах которого размещаются базовые («элементарные») механизмы управления, а вероятности переходов между состояниями определяются действиями агентов в предыдущем состоянии. Также предложена формальная процедура решения этой игры методом обратной индукции, позволяющая итерационно вычислить добавку к целевым функциям текущей «локальной» игры, учитывающую влияние

локальных решений на будущее развитие игрового взаимодействия. Операциональность комплексного механизма при этом определяется степенью компактности получившегося описания игры, а наследование свойств базового механизма управления определяется его совместимостью с новыми модифицированными целевыми функциями, учитывающими долгосрочные последствия.

Новизна предложенной нотации определяется тем, что, в отличие от стохастических игр на графах, в каждом состоянии задается не игра в нормальной форме, а иерархическая игра с неполной, в общем случае, информацией. Рассмотренные примеры показывают удобство предложенной схемы для анализа и синтеза комплексных механизмов управления организационным поведением. Однако по сравнению с максимально общей моделью игр в развернутой форме [12] модель стохастических игр на графах имеет некоторые ограничения, которые наследуются и предложенной моделью комплексного механизма. В частности, на верхнем уровне описания механизма (уровне графа переходов между состояниями) нет информационных множеств, как в играх в развернутой форме, т. е. предполагается, что состояние, в котором находится система, является общим знанием. Такие состояния должны объединяться в рамках одного шага (состояния) многошаговой игры, и только практика может показать, насколько это осложняет исследование реальных механизмов управления.

В играх с неполной информацией каждое состояние системы представляет собой целое семейство игр для каждого из возможных значений внешних факторов. Это, конечно, усложняет исследование, как и наличие, в общем случае, бесчисленного числа состояний графа игры. Однако по прослеженной в предыдущих разделах логике рассмотрения многошаговой игры, очевидно, что каждое сочетание различных факторов, влияющих на принятие решения (итоговое значение функции Беллмана), заслуживает отдельного состояния на схеме комплексного механизма, и невозможно упростить рассматриваемую ситуацию без потери деталей, которые могут оказаться важными.

Наконец, отметим, что применимость предложенной схемы построения комплексного механизма определяется применимостью подхода обратной индукции к исследованию многошаговых игр. В теории игр рассматриваются и другие концепции решения игр с неполной информацией (forward induction, trembling hand equilibrium), однако они гораздо реже применяются в практике организационного управления — обычно стремятся построить механизмы управления, имеющие удовлетворительное решение в соответствии с любой теоретико-игровой концепцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Novikov, A.M., Novikov, D.A. Research methodology: From philosophy of science to research design. — N.-Y.: CRC Press, 2013.
2. Novikov, D. Theory of control in organizations. — Nova Publishers, 2013.
3. Burkov, V., Goubko, M., Kondrat'ev, V., et al. Mechanism design and management: mathematical methods for smart organizations: (for managers, academics and students). — Nova Publishers, 2013.
4. Börgers, T. An introduction to the theory of mechanism design. — Oxford: Oxford University Press, 2015.
5. Burkov, V.N., Lerner, A.Y. Fairplay in control of active systems / Differential games and related topics / H.W. Kuhn and G.P. Szego, eds. — Amsterdam, London: North-Holland Publishing Company. — 1971. — P. 164–168.
6. Hurwicz, L. On informationally decentralized systems / Decision and organization: a volume in honor of Jacob Marshak / C.B. McGuire and R. Radner, eds. — Amsterdam, London: North-Holland Publishing Company. — 1972. — P. 297–336.
7. Burkov, V., Goubko, M., Korgin, N., Novikov, D. Introduction to the theory of control in organizations / D. Novikov, ed. — N.-Y.: CRC, 2015.
8. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Проблемы комплексирования и декомпозиции механизмов управления организационно-техническими системами // Проблемы управления. — 2016. — № 5. — С. 14–23. [Burkov, V.N., Korgin, N.A., Novikov, D.A. Problems of integration and decomposition of organizational-technical systems' control mechanisms. — Control Sciences. — 2016. — No. 5. — P. 14–23. (In Russian)]
9. Бурков В.Н., Буркова И.В. Задачи дихотомической оптимизации. — М.: Радио и связь, 2003. [Burkov, V.N., Burkova, I.V. Zadachi dikhotomicheskoi optimizatsii. — M.: Radio i svyaz', 2003. (In Russian)]
10. Федоров И. Сравнительный анализ нотаций моделирования бизнес-процессов // Открытые системы. СУБД. — 2011. — № 8. — С. 28. [Fedorov, I. Sravnitel'nyi analiz notatsii modelirovaniya biznes-protsessov // Otkrytye sistemy. SUBD. — 2011. — No. 8. — S. 28. (In Russian)]
11. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. — М.: Наука, 1976. [Germeier, Yu.B. Igrы s neprotivopolozhnyimi interesami. — M.: Nauka, 1976. (In Russian)]
12. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. — М.: СИНТЕГ, 2002. [Gubko, M.V., Novikov, D.A. Teoriya igr v upravlenii organizatsionnyimi sistemami. — M.: SINTEG, 2002. (In Russian)]
13. Mertens, J.F., Zamir, S. Formulation of Bayesian analysis for games with incomplete information // International Journal of Game Theory. — 1985. — Vol. 14, no. 1. — P. 1–29.
14. Novikov, D.A., Chkhartishvili, A.G. Reflexion and control: mathematical models. — N.-Y.: CRC Press, 2014.
15. Brandenburger, A., Dekel, E. Hierarchies of beliefs and common knowledge // Journal of Economic Theory. — 1993. — Vol. 59, no. 1. — P. 189–198.
16. Maskin, E., Sjöström, T. Implementation Theory / Handbook of Social Choice and Welfare. — 2002. — Vol. 1. — P. 237–288.
17. Jackson, M.O. Bayesian implementation // Econometrica. — 1991. — Vol. 59, no. 2. — P. 461–477.
18. Shapley, L.S. Stochastic games // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. — 1953. — Vol. 39, no. 10. — P. 1095–1100.
19. Parilina, E. A survey on cooperative stochastic games with finite and infinite duration // Contributions to Game Theory and Management. — 2018. — Vol. 11. — P. 129–195.
20. Filar, J., Vrieze, K. Competitive Markov Decision Processes: Theory, Algorithms, and Applications. — N.-Y.: Springer-Verlag, 1997.



21. Myerson, R.B. Game theory. — Harvard: Harvard University Press, 2013.
22. Nisan, N., Ronen, A. Algorithmic mechanism design // Games and Economic behavior. — 2001. — Vol. 35, no. 1–2. — P. 166–196.
23. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и трудно-решаемые задачи. — Мир, 1982. [Garey M.R., Johnson D.S. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. — San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1979.]
24. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. — М.: Наука, 1981. [Burkov, V.N., Kondrat'ev, V.V. Mekhanizmy funktsionirovaniya organizatsionnykh sistem. — М.: Nauka, 1981. (In Russian)]
25. Новиков Д.А. Стимулирование в организационных системах. — М.: СИНТЕГ, 2003. [Novikov, D.A. Stimulirovanie v organizatsionnykh sistemakh. — М.: SINTEG, 2003. (In Russian)]
26. Коргин Н.А. Неманипулируемые механизмы обмена в активных системах. — М.: ИПУ РАН, 2003. [Korgin, N.A. Nemanipuliruemyye mekhanizmy obmena v aktivnykh sistemakh. — М.: IPU RAN, 2003. (In Russian)]
27. Hashimzade, N., Myles, G., Black, J. A Dictionary of Economics / 5-th ed. — Oxford: Oxford University Press, 2017.
28. Ермаков Н.С., Иващенко А.А., Новиков Д.А. Модели репутации и норм деятельности. — М.: ИПУ РАН, 2005. [Ermakov, N.S., Ivashchenko, A.A., Novikov, D.A. Modeli reputatsii i norm deyatelnosti. — М.: IPU RAN, 2005. (In Russian)]
29. Дорри М.Х., Серeda Л.А., Щепкин А.В. Анализ механизмов распределения фонда финансирования в среде программного комплекса РДС // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2018. — Т. 18, № 3. — С. 107–118. [Dorri, M.Kh., Sereda, L.A., Shchepkin, A.V. Analiz mekhanizmov raspredeleniya fonda finansirovaniya v srede programmogo kompleksa RDS // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gos. un-ta. Ser.: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika. — 2018. — Т. 18, no. 3. — S. 107–118. (In Russian)]
30. Дорри М.Х., Щепкин А.В. Моделирование соревновательного механизма стимулирования в среде программного комплекса РДС // Тр. 13-го Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ XIII, Москва, ИПУ РАН, 2019). — М., 2019. — С. 1710–1714. [Dorri M.H., Shchepkin A.V. Modelirovanie sorevnovatel'nogo mekhanizma stimulirovaniya v srede programmogo kompleksa RDS // Tr. 13-go Vseros. soveshchaniya po problemam upravleniya (VSPU XIII, Moskva, IPU RAN, 2019). — М., 2019. — S. 1710–1714.]
31. URL: <https://www.ipu.ru/science/applied-research/products/calculation-of-dynamic-systems>.

Статья представлена к публикации членом редколлегии чл.-корр. РАН Д.А. Новиковым.

Поступила в редакцию 29.12.2019, после доработки 28.01.2020.

Принята к публикации 5.02.2020.

Губко Михаил Владимирович — д-р физ.-мат. наук,
✉ mgoubko@mail.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва.

DESIGN OF INTEGRATED MECHANISMS FOR ORGANIZATIONAL BEHAVIOR CONTROL

M.V. Goubko

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ mgoubko@mail.ru

Abstract. A mathematical model and a notation are developed of integrated mechanisms for problems of organizational behavior management. Singular basic mechanisms (resource allotment mechanisms, incentive schemes, monitoring and audit procedures) are combined into an acyclic graph of a multi-stage game, which reflects the structure of a business process in an organization. Instead of stochastic games on graphs, in this notation not just standard normal-form games but sophisticated principal-agent mechanisms with incomplete and asymmetric information can be located in graph nodes. Integrated mechanisms are analyzed using a backward induction procedure through an acyclic graph of a multi-stage game, which models the considered organizational interaction. This approach allows to reuse the best practices of organizational mechanisms developed by mechanism design and the theory of organizational behavior control for typical situations of principal-agent interaction that arise in managerial practice. These singular mechanisms are used as building blocks when a complex integrated mechanism is constructed, while their optimality and strategyproofness are preserved. Efficiency of alternative basic mechanisms (e. g. different auction rules) can be tested against a specific position (a node of a multi-stage graph game) in an integrated mechanism. The method is illustrated by simple examples of the design of integrated mechanisms for resource allotment, incentives' provision, and monitoring, and directions of prospective studies are outlined.

Keywords: basic mechanism for organizational behavior management, multistage stochastic game on graph, backward induction, strongly related mechanisms.

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