

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Алгазин Г.И.<sup>1</sup>

(Алтайский государственный университет, г. Барнаул)

*На основе двухуровневой модели организационных систем с неразделенными переменными и асимметрично информированными участниками приведена новая интерпретация централизации и децентрализации. Предложена и проведена классификация широкого спектра модельных конструкций организационных систем, в основании которой положено различие приоритетов целей верхнего и нижнего уровней в выборе общих переменных.*

Ключевые слова: организационная система, асимметрия информированности, неразделенные переменные, приоритеты целей, централизация, децентрализация, институциональное управление, модельные конструкции, классификация.

## 1. Введение

В современных математических исследованиях сложных организационных систем (ОС) важное место занимает проблема синтеза иерархического управления, в которой на первый план выступает вопрос об упорядочении представлений о централизации и децентрализации.

В ведущих научных школах России, занимающихся этой проблемой (Институт проблем управления РАН, Вычислительный Центр РАН и др.), базовой для обсуждения вопроса о цен-

---

<sup>1</sup> Геннадий Иванович Алгазин, зав. кафедрой, доктор физико-математических наук, профессор ([algazin@socio.asu.ru](mailto:algazin@socio.asu.ru))

трализации-децентрализации часто используется следующая теоретико-игровая модельная конструкция (на примере игры двух лиц).

Функции  $F : X_0 \times X \times \Theta \rightarrow R$  и  $f : X_0 \times X \times \Theta \rightarrow R$  описывают интересы (выигрыш) первого и второго игроков, соответственно. Естественно полагать, что игроки стремятся максимизировать собственный выигрыш. Здесь  $\Theta$  интерпретируется как множество неопределенных факторов, а  $X_0$  и  $X$  – как множества управлений (стратегий) первого и второго игроков, соответственно.

Предполагается, что игрок 1 обладает правом первого хода, то есть он первым выбирает свое управление  $x_0 \in X_0$  и сообщает игроку 2 о своем выборе. Множество  $\Theta$  моделирует неточность при выборе его представлений об игровой ситуации.

Предполагается также, что игрок 2 ведет себя рационально и в ответ выберет управление  $x$  из множества стратегий, максимизирующих его выигрыш  $f$  (в общем случае такое множество может содержать более одной стратегии). Допускается также, что игроку 2 в момент выбора своего управления известно реализовавшееся значение неопределенного фактора  $\theta \in \Theta$ .

Таким образом, при анализе игры с точки зрения субъективного описания ситуации игроком 1, допускается, что он способен оценить множество максимизирующих ответных стратегий игрока 2. Но выбор конкретной стратегии из этого множества ему неизвестен. Кроме того, он не знает действительного значения неопределенного фактора.

Если иерархическая система строится «сверху», то по [4] децентрализация – это когда «элемент верхнего уровня переуступает своим подчиненным право выбора своих управлений». Содержательно и в модельных конструкциях такие уступки реализуются следующим образом. Первый игрок сам выбирает лишь некоторое подмножество  $X_0^\bullet \subset X_0$ . Второй игрок производит окончательный выбор управления первого игрока  $x_0$  из этого подмножества  $X_0^\bullet$  и, кроме того, выбирает свое управление  $x \in X$ . В соответствии с этим игроки получают свои выигрыши. Таким образом, при подходе «сверху», выбор управления из  $X_0$

априори является правом верхнего уровня, которое он затем переуступает нижним уровням. В той же работе отмечается, что соответствующие модельные конструкции формализуют идеи Ю.Б. Гермейера и Н.Н. Моисеева [3, 7].

Близкие по интерпретации модельные конструкции рассматриваются и в теории активных систем. Для сравнения возьмем модели, приведенные в работе [8]. В них есть следующие отличия:

1) множество управлений второго игрока  $X$  состоит только из одной точки. Поэтому его выбор  $x_0$  ограничен только разрешенным первым игроком множеством стратегий  $X_0^\bullet$ ;

2) множество неопределенных факторов также состоит из одной точки, то есть «природная» неопределенность отсутствует;

3) иерархическая система строится «снизу»: выбор управлений из  $X_0$  изначально является правом нижнего уровня, а верхний уровень накладывает на этот выбор некие ограничения. Соответственно, в этом случае говорят не о децентрализации управления, а – об институциональном управлении системой;

4) для учета в модели затрат на управление функция выигрыша первого игрока  $F$  зависит не только от выбранного управления  $x_0$ , но и от ограничения  $X_0^\bullet$ , накладываемого первым игроком на выбор второго.

Другое, чисто формально-математическое, отличие выражено в том, что для пояснения децентрализации в работе [8] используется параметрический способ задания системы множеств выбора стратегий. Параметрическая система множеств  $M_\alpha$  определяется параметрами  $\alpha \in [0,1]$  и  $x_0^\bullet \in X_0$  так, что  $M_0 = x_0^\bullet$ ,  $M_1 = X_0$  и  $\forall 0 \leq \alpha \leq \beta \leq 1$ ,  $M_\alpha \subseteq M_\beta$ .

Величина  $\alpha$  интерпретируется как «степень централизации управления». Значение  $\alpha = 0$  соответствует полной централизации («все, кроме  $x_0^\bullet$ , запрещено»). Значение  $\alpha = 1$  соответствует полной децентрализации («все разрешено»).

В докладе также рассматривается авторская модель, которая, по мнению ее автора, является более общей и более естественной для формализованной интерпретации понятий «централизация» и «децентрализация», а также может являться основой для получения ряда качественно новых выводов [1].

## **2. Описание базовой модели**

В модели предполагается, что интересы первого и второго игроков (максимизация собственных выигрышей) описываются функциями  $F : X_0 \times X' \times \Theta \rightarrow R$  и  $f : X_0 \times X'' \times \Theta \rightarrow R$ , соответственно.

В этой модели есть ряд существенных особенностей:

1)  $x_0 \in X_0$  – стратегия, которую выбирает только вышестоящий участник (первый игрок), то есть верхний уровень никогда не переуступает своим подчиненным право выбора стратегий  $x_0$  из  $X_0$ . Именно это исключительное право выбора, наряду с правом первого хода, определяет подчиненное положение другого участника (игрока 2);

2)  $x \in X$  – стратегия, которая совместно контролируется обоими игроками;  $X$  – полное множество выбора стратегий  $x$ , а  $X', X''$  – множества выборов стратегий  $x$  для первого и второго игроков, соответственно. Полагается  $X' \subseteq X$ ,  $X'' \subseteq X$ , то есть полное множество стратегий может быть априори не известно никому из игроков. Информированность игрока 2 не ниже информированности игрока 1, что может быть выражено условием  $X' \subseteq X'' \subseteq X$ . В общем случае множество стратегий  $X'' \setminus X'$  неизвестно первому игроку;

3) наряду с «природной» неопределенностью рассматривается и устранимая неопределенность, выражающаяся в различной информированности игроков относительно множества выбора стратегий  $X$ . Эта неопределенность может устраняться на основе обмена информацией как между игроками друг с другом, так и между игроками и средой (примечание: модели с обменом не обсуждаются в данной статье, но их можно посмотреть в [1]). Такая трактовка в модели информированности и обмена отлича-

ется от значительного числа работ по теории игр и теории активных систем. Так в [4, 8 и др.] под информированностью понимается «та информация, которой обладают участники организационной системы на момент принятия решений о выбираемых стратегиях» или изучается «игровая неопределенность, отражающая совместное принятие решений несколькими агентами (при заданных управлениях со стороны центра), в рамках которой существенными являются предположения агента о множестве возможных значений обстановки игры (действий других агентов, выбираемых ими в рамках тех или иных неточно известных рассматриваемому агенту принципов поведения)».

В нашей интерпретации децентрализация характеризуется «ослаблением вмешательства верхних уровней в деятельность нижних и усилением роли экономических методов воздействия на них» [1, 10]. В математических конструкциях это находит отражение в смещении приоритетов целей в выборе управлений  $x$  с верхнего уровня на нижние.

При необходимости может быть использовано также и параметрическое задание множеств  $X'$  и  $X''$ . Соответствующую формализацию можно посмотреть в [1].

В соответствии с этими положениями рассмотрен достаточно представительный спектр базовых моделей организационных систем, который можно разбить на три основных класса.

*Централизованные системы.* Модели этого класса предполагают приоритетное право верхнего уровня в выборе управлений  $x$ .

*Децентрализованные системы.* Главная особенность моделей этого класса состоит в признании приоритетного права нижнего уровня, вплоть до полного отрицания априорного критерия  $F$  верхнего уровня при выборе управлений  $x$ .

*Системы смешанного типа.* Модельно-теоретическое описание таких систем предполагает, что критерии выбора решений  $x$  задают одновременно верхний и нижний уровни, либо при выборе решений нет явного приоритета чьих-то интересов (критериев).

Видимо, нет особой необходимости объяснять определенную условность разбиения. Однако к этому уместно добавить двой-

ственность исходной интерпретации постановки задачи синтеза управления в иерархических системах, которая вытекает из подходов «сверху» и «снизу». Как будет показано, эта двойственность может влиять на «размытость» границ между выделенными классами и будет учтена ниже в ряде модельных конструкций.

Далее чтобы не перегружать техническими деталями описание базисных моделей сделаем ряд упрощающих (но не принципиальных с точки зрения общей задачи исследования) предположений:

1) не будем принимать во внимание «природную» неопределенность ввиду того, что модели с ней стали уже «классикой» и более-менее изучены;

2) будем исходить из того, что участники организационных систем не несут никаких затрат, связанных с управлением. Например, в работе [7] учитывается, что «введение тех или иных ограничений может потребовать от центра определенных затрат»;

3) рассматриваемая ОС состоит из двух участников: центра и одного агента. Поэтому не учитываются связи между элементами нижнего уровня. Обобщения моделей для этих случаев можно найти, например, в работе [1];

4) полагаем, что множества  $X_0$  и  $X', X''$  наделены топологиями и компактны, а функции  $F$  и  $f$  непрерывны.

Итак, последующее изложение будет опираться на следующую формализацию ОС с неразделенными переменными и асимметрично информированными участниками.

Задача центра:

$$(1) \begin{cases} F(x_0, x) \rightarrow \max_{x_0, x}, \\ x_0 \in X_0, \\ x \in X'. \end{cases}$$

Задача агента:

$$(2) \begin{cases} f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X. \end{cases}$$

Между двумя полярными формами организации ОС, централизованной и рыночной, существует целый спектр организационных структур, характеризующихся последовательным ослаблением вмешательства верхних уровней в деятельность нижних и усилением роли экономических методов воздействия на них.

Основа нашей систематизации моделей ОС – спектр различных приоритетов целей участников, расположенных на различных уровнях иерархии, в выборе переменных  $x$ . При проведении систематизации адаптирована и обобщена классификация общих моделей экономики, предложенная в [10].

### **3. Централизованные системы**

Можно выделить две основные формализации ОС, в разной степени выражающих концепцию централизованного управления.

В первой формализации исключается сама возможность участия нижнего уровня в выборе решений. Модели этой группы систем будем обозначать буквой Z. В Z-моделях управления  $x_0$  и  $x$  выбираются центром. Он устанавливает (прогнозирует) каждому участнику на нижнем уровне точные значения стратегий  $x$ . По своей сути это означает, что центр сам вместо агентов осуществляет выбор решений и жестко следит за тем, чтобы они им следовали. Функции управляющих органов агентов сводятся лишь к исполнению решений центра.

В наиболее жесткой постановке Z-моделей полностью игнорируется существование локальных целей агентов либо они признаются лишь в индикативной форме (в обоих случаях из базовых моделей исключаются локальные критерии  $f$ ). Обозначим такую модель как *z1-модель*

$$(3) \begin{cases} F(x_0, x) \rightarrow \max_{x_0, x}, \\ x_0 \in X_0, \\ x \in X'. \end{cases}$$

В более мягкой формализации Z-моделей интересы агентов учитываются на верхнем уровне в форме ограничений  $f(x_0, x) \geq L$  в задаче оптимизации, решаемой центром. Для базовых моделей эта задача имеет вид

$$(4) \begin{cases} F_0(x_0, x) \rightarrow \max_{x_0, x} \\ x_0 \in X_0, \\ x \in X', \\ f(x_0, x) \geq L. \end{cases}$$

Достаточно известны два подхода к выбору значений параметра  $L$ . При первом подходе реализуется так называемый «остаточный принцип» во взаимоотношениях участников различных уровней. В терминах Z-модели это означает, что подсистемы теряют свою целевую направленность, и их влияние на конечные результаты системы оценивается параметрически  $f(x_0, x) \geq L$ . Возможности задания более высоких «жизненных стандартов»  $L$  ограничены неизбежностью снижения уровня достижимости целей верхнего уровня  $F$ .

При втором подходе в основу выбора значений параметра  $L$  принимается один из принципов принятия решений в условиях неполной информации, широко используемых в теории игр и статистических решений. В условиях централизованного подхода, подчинения целей агентов целям более высокого порядка и неопределенности для нижнего уровня в выборе решений центром одним из возможных способов поведения агентов является ориентация на достижение гарантированного результата. Математически гарантированный результат (критерий Вальда) записывается в виде  $L = \max_x \min_{x_0} f(x_0, x)$ .

Так как участники имеют различную информированность об условиях функционирования системы, то можно выделить два

вида Z-моделей. В *z2-модели* оценка гарантированного результата агентов производится по информации центра, в *z3-модели* – по информации самих агентов.

Можно полагать, что в *z2-модель* реализован первый из рассмотренных выше случаев, когда выбор управления  $x$  изначально является правом верхнего уровня, когда как в *z3-модели* реализован второй случай – выбор управлений из  $X$  изначально является правом нижнего уровня, которое затем переуступается центру (институциональное управление).

В частном случае гарантированный результат может являться одним из пробных значений параметра  $L$  при реализации во взаимоотношениях участников «остаточного принципа».

Рассмотренные выше модели являются моделями выбора наилучших решений при неизменных целевых показателях центра и агентов. В таких моделях нельзя учесть влияние стимулов на общесистемные результаты.

Один из подходов к формализации мотивационных механизмов в централизованных системах состоит в доопределении модели оптимального выбора (4) следующим образом:

$$(5) \quad \begin{cases} F(x_0, x) - C \rightarrow \max_{x_0, x, C}, \\ x_0 \in X_0, \\ x \in X', \\ f(x_0, x) + C \geq L. \end{cases}$$

Параметр  $C$  представляет собой величину компенсации центром «недополучения» агентами гарантированного результата (или «жизненного стандарта»). В теории иерархических систем подобные модельные преобразования получили название линейных модификаций локальных функций качества с нулевой суммой [6].

Аналогичные конструкции используются и в теории иерархических игр, где получили название игр с «побочными платежами» [3]. В теории активных систем идейно схожие конструкции применяются в задачах стимулирования в ОС [9]. Вместе с тем, это не означает, что все похожие или близкие из указанных работ конструкции следует соотносить с централизованными

системами. Как раз наоборот, наиболее известные теоретико-игровые модели по нашей классификации будут относиться к децентрализованным системам.

Очевидны следующие следствия перехода от модели (4) к (5):

1) всякое допустимое решение модели (4) допустимо и в модели (5); стимулирование ( $C > 0$ ) расширяет множества допустимых состояний системы, а отсутствие стимулов ( $C = 0$ ) ограничивает выбор решений сложившимся множеством допустимых состояний;

2) мотивационный механизм может дополнять централизованную систему отношениями, основанными на взаимной выгоде.

Модели типа (5) будем называть моделями с компенсациями и обозначать как ЗС.

Ввиду малой освещенности в научной литературе таких механизмов для централизованных систем (что явно не соответствует практике их применения), в завершении статьи приведен модельный пример, иллюстрирующий эффективность перехода от задачи (4) к задаче (5).

Вторая формализация унитарных систем (Н-модель) использует некоторые элементы децентрализованного подхода [10]. В ней могут в явном виде выделяться агенты в качестве элементов, принимающих самостоятельные решения. Выбор управлений  $x$  осуществляется ими в условиях объективного конфликта двух видов целей: имманентных (априорных, собственных) целей агентов  $f$  и редуцированных (обозначим  $\varphi$ ), полученных на основе проекции цели верхнего уровня на нижний, то есть  $\varphi(x_0, x) = \text{Pr}(F_0(x_0, x))$  (символом  $\text{Pr}$  обозначен оператор проектирования целей центра на агента). Целевые показатели  $\varphi$  являются локальным отображением целей центра и поэтому не выражают собственных интересов самих агентов. Поиск баланса интересов на нижнем уровне вносит в централизованные системы элементы реальной децентрализации. В общем случае существует область так называемых эффективных компромиссов критериев  $f$  и  $\varphi$ . Выбор решения в этой области требует допол-

нительных соображений о соотношении данных критериев. В классе  $H$ -моделей полагаем приоритет редуцированных целей перед имманентными.

В пользу  $H$ -моделей по сравнению с предыдущим классом  $Z$ -моделей можно указать, по крайней мере, четыре следующих обстоятельства:

- появляется принципиальная возможность для каждого уровня при выработке решений использовать информацию в наиболее соответствующей ему степени агрегированности (примечание: чтобы не перегружать работу деталями мы не станем ниже в модельных конструкциях учитывать эти различия. Интересующимся такого рода техническими подробностями можно рекомендовать работы [1, 10]);

- при выработке решений используется большая информированность нижнего уровня о множестве выбора решений;

- происходит разгрузка центра, как за счет агрегирования информации, так и за счет того, что тяжесть проблем межуровневого и внутриуровневого (для взаимосвязанных агентов) согласования решений перекладывается на агенты;

- обеспечение согласованности решений участников, приведение последних к общесистемным результатам ведет к усилению стимулирующей функции экономического управления.

Ниже в (6) приведен общий вид базовых  $H$ -моделей

$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} F(x_0, x) \rightarrow \max_{x_0} \\ x_0 \in X_0, \\ \left\{ \begin{array}{l} \varphi(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'' \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Крайним здесь является случай, когда собственные цели агентов полностью подавляются верхним уровнем. Соответствующая  $h1$ -модель, являющаяся в указанном смысле аналогом  $z1$ -модели, представлена ниже

$$(7) \left\{ \begin{array}{l} F(x_0, x) \rightarrow \max_{x_0}, \\ x_0 \in X_0, \\ \left\{ \begin{array}{l} \varphi(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'' \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Здесь в силу однонаправленности критериев  $F$  и  $\varphi$  для моделей  $h1$  не существует проблемы межуровневого согласования.

При различии целей  $f$ ,  $\varphi$  и приоритете центра другим способом разрешения конфликта является уже упоминавшийся выше «остаточный принцип». Величины «жизненных стандартов»  $L$  для нижнего уровня оцениваются параметрически с помощью неравенств  $f(x_0, x_k) \geq L$ , исходя из уровня достижения общесистемных целей  $F$ , полученного в результате решения задач по моделям следующего вида:

$$(8) \left\{ \begin{array}{l} F(x_0, x) \rightarrow \max_{x_0}, \\ x_0 \in X_0, \\ \left\{ \begin{array}{l} \varphi(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'', \\ f(x_0, x) \geq L. \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Такой же вид принимают модели, если в основу выбора значений параметров  $L$  полагается принцип гарантированного результата. В  $h2$ -модели гарантированный результат каждого участника нижнего уровня рассчитывается по множеству  $X'$  выбора стратегий  $x$ , исходя из уровня информированности центра; в  $h3$ -модели – по множеству выбора агента  $X''$ .

Введение мотивационных механизмов в  $H$ -модели позволяет выделить так же, как было показано выше, класс моделей с компенсациями -  $HC$ -модели.

#### 4. Децентрализованные системы (D-модели)

Главная особенность крайней степени децентрализации (*d1-модель*) состоит в отрицании априорного критерия оптимальности верхнего уровня  $F$  при выборе управлений  $x$  [10]. Критерии выбора  $x$  задают агенты, а сами решения находятся из задач нижнего уровня

$$(9) \quad \begin{cases} f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'' . \end{cases}$$

Задача верхнего уровня для децентрализованных систем сводится к нахождению таких управлений  $x_0^{d1} \in X_0$ , которые вместе с локально-оптимальными решениями  $x^{d1}$  агентами своих задач (9) допустимы по общесистемным условиям

$$(10) \quad x_0^{d1}, x^{d1} \in \Omega.$$

Общесистемные условия могут описывать область гомеостазиса системы, различного рода балансовые соотношения (например, бюджетное ограничение в моделях потребления) и т.д. Оно является обязательным для центра, а не для участников  $f$ , хотя его обеспечение является результатом совместного выбора управлений центром и агентами, нарушения которого сказываются на результатах каждого участника.

Часто в ОС ограничения такого типа выражают требования натурально-стоимостной сбалансированности управлений. Тогда переменные агентов  $x$  являются измерителями физических величин (штуки, тонны и т. д.), а переменные центра  $x_0$  имеют стоимостную природу (цены, тарифы, процентные и налоговые ставки, параметры штрафа и поощрений и т.д.).

Другая формализация полной децентрализации (*d2-модель*) основана на четком разделении в исходной модели прав выбора управлений из  $X_0$  и  $X$  между центром и агентами, так что выбор управлений  $x$  является исключительным правом агента

$$(11) \quad \left\{ \begin{array}{l} F(x_0, x) \rightarrow \max_{x_0}, \\ x_0 \in X_0, \\ \left\{ \begin{array}{l} f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'' \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Модельные конструкции такого типа традиционно изучаются теорией игр с непротивоположными интересами, теорией активных систем, теорией иерархических многоуровневых систем. В качестве решения выбирается та или иная концепция равновесия [5], а также стратегии  $\Gamma_1$  (гамма-один), те или иные Парето-оптимальные стратегии и пр.

К этому же типу относятся и наиболее известные теоретико-игровые модели стимулирования.

В качестве примера одной из первых таких моделей можно привести модель «стимулирования экономии» [2]

$$\left\{ \begin{array}{l} F(x_0, x) = (1 - x_0)x \rightarrow \max_{x_0}, \\ x_0 \in [0, 1], \\ \left\{ \begin{array}{l} f(x_0, x) = x_0 \cdot x - \varphi(x) \rightarrow \max_x, \\ x \in [0, \bar{x}] \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Более современные исследования задачи стимулирования в теоретико-игровой постановке связаны с выбором оптимальной системы (функции) стимулирования  $\sigma(y)$  и проводятся с использованием следующих формализаций для целевых функций центра [9] —  $\Phi(\sigma, y) = H(y) - \sigma(y) \rightarrow \max_{\sigma}$  и агента

$$f(\sigma, y) = \sigma(y) - c(y) \rightarrow \max_y.$$

Пусть в следующей формализации выбор управлений из  $X$  изначально является правом нижнего уровня, а центр вводит в модель (11) на этот выбор некие ограничения через его соотно-

шения с заданным управлением  $x_0$ . Такого рода вмешательство верхнего уровня в деятельность нижних уровней является разновидностью институционального управления системой, задачи которого сформулированы в [8].

В частном случае, по аналогии с h3-моделями децентрализованный выбор может быть реализован по модели вида

$$(12) \left\{ \begin{array}{l} F(x_0, x) \rightarrow \max_{x_0}, \\ x_0 \in X_0, \\ \\ f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'', \\ F(x_0, x) \geq K. \end{array} \right.$$

Как один из вариантов в качестве значения  $K$  можно выбрать гарантированный результат центра. Исходя из уровня информированности центра, он рассчитывается по множеству стратегий  $X'$ , т. е.  $K = \max_{x_0 \in X_0} \min_{x \in X'} F(x_0, x)$ . Пусть гарантированный результат достигается при  $x_0 = x_0^{d3}$ . Тогда этому случаю соответствует

следующая *d3-модель*

$$(13) \left\{ \begin{array}{l} f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'', \\ F(x_0, x) \geq \max_{x_0 \in X_0} \min_{x \in X'} F(x_0, x), \\ x_0 = x_0^{d3}. \end{array} \right.$$

Рассмотрим еще случай, когда выбор управления из  $X$  априори является правом верхнего уровня, а затем он переуступает нижним уровням право выбора своих управлений.

Обладая правом первого хода и возможностью оценки множества рациональных ответов агентов  $X(f, x_0, X')$  на его стратегию  $x_0$ , центр может рассчитывать на максимальный гаранти-

рованный результат  $\max_{x_0 \in X_0} \min_{x \in X(f, x_0, X')} F(x_0, x)$ . Пусть центр его получает при  $x_0 = x_0^{d4}$ . Окончательный выбор решения  $x$  находится по *d4-модели*

$$(14) \begin{cases} f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'', \\ F(x_0, x) \geq \max_{x_0 \in X_0} \min_{x \in X(f, x_0, X')} F(x_0, x), \\ x_0 = x_0^{d4}. \end{cases}$$

## 5. Системы смешанного типа (S-модели)

Рассмотрим две формализации ОС, выражающих одновременно (или в равной мере) концепции централизованного и децентрализованного управления.

В первой формализации модельно-теоретическое описание таких систем предполагает, что критерии выбора решений  $x$  задают одновременно и центр и агенты (*s1-модель*). Центр находит решение  $x^{**}$  задачи

$$(15) \begin{cases} F(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'. \end{cases}$$

Соответственно, агенты находят решения  $x^*$  своих задач

$$(16) \begin{cases} f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X''. \end{cases}$$

Согласованным является равновесное состояние системы, то есть когда решения центра  $x^{**}$  и агентов  $x^*$  принадлежат некоторому множеству допустимых соотношений между ними. В частном случае равновесное состояние системы определяется совпадением решений центра и агента.

Выбор решений  $x_0^{s1}$ , для которых существуют равновесные состояния, определяет суть задачи координации верхнего уровня.

В этой модели центр и подсистемы по разному информированы о множестве  $X$  и выбор агентов может не принадлежать множеству информированности центра.

Тогда в качестве альтернативы может рассматриваться формализация (*s2-модель*), основанная на уже рассмотренных выше модельных конструкциях (6). Здесь в них предполагается, что при выборе решений  $x$  нет явного приоритета ни центра ни агентов.

Допустим, что в s2-модели центр, обладая правом первого хода, способен на его стратегию оценить множество рациональных ответов агентов, которые в его представлении находятся из решения задачи векторной оптимизации

$$(17) \begin{cases} \varphi(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ f(x_0, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X'. \end{cases}$$

В отличие от (6) в (17) выбор стратегии  $x$  осуществляется не из  $X''$ , а из известному центру множества  $X'$ . Обозначим множество решений задачи (17) через  $X(\varphi, f, x_0, X')$ . Если центр осторожен по отношению к неопределенности выбора конкретной стратегии из  $X(\varphi, f, x_0, X')$ , то он может рассчитывать на получение максимального гарантированного выигрыша  $\max_{x_0 \in X_0} \min_{x \in X(\varphi, f, x_0, X')} F(x_0, x)$ . Пусть он этот выигрыш получает при  $x_0 = x_0^{s2}$ , а окончательный выбор решения  $x$  находится из решения задачи

$$(18) \begin{cases} \varphi(x_0^{s2}, x) \rightarrow \max_x, \\ f(x_0^{s2}, x) \rightarrow \max_x, \\ x \in X''. \end{cases}$$

В силу посылок относительного равенства приоритетов участников, решение этой задачи, если оно приходится на  $X'' \setminus X'$ , не должно уменьшать выигрыша никому из участников по оценке центра на  $X'$  (никто не намерен уступить). Поэтому та-

кая процедура принятия решения в условиях различной информированности участников обеспечивает каждому участнику выигрыш не меньший, чем по оценке центра, а сам центр получит не менее максимального гарантированного выигрыша

$$\max_{x_0 \in X_0} \min_{x \in X(\varphi, f, x_0, X')} F(x_0, x).$$

## **6. Модельный пример эффективности механизмов с компенсациями**

Для иллюстрации эффективности механизмов с компенсациями в централизованных системах (5) рассмотрим простой модельный пример с интерпретацией из области охраны окружающей среды.

Пусть региональная система охраны окружающей среды состоит из двух участников: «Производственная сфера», выбросы которой загрязняют охраны окружающую среду, и «Окружающая среда».

Цель функционирования системы – выработка оптимальных соотношений между объемами производства и параметрами качества окружающей среды.

Критерием функционирования участника «Производственная сфера» является его прибыль, которую определим выражением (19)  $F(x) = px - \varphi(x) \rightarrow \max_x$ .

Здесь:  $x$  – выпуск продукции производственной системой в натуральном выражении;  $p$  – цена реализации единицы продукции;  $\varphi(x)$  – функция затрат производителя на выпуск  $x$ .

Критерием функционирования участника «Окружающая среда» являются издержки загрязнения окружающей среды, навязанного «Производственной сферой», которые определим выражением

$$(20) f(x) = \alpha x \rightarrow \min_x.$$

Здесь  $\alpha$  – затраты на ликвидацию последствий загрязнения окружающей среды, приходящиеся на единицу выпуска продукции.

Пусть конфликт между участниками решается на основе следующей централизованной модели

$$(21) \begin{cases} F(x) = px - \varphi(x) \rightarrow \max_x, \\ \alpha x \leq R, \quad x \geq 0, \end{cases}$$

где  $R$  – лимит затрат на охрану окружающей среды.

Соответствующую этому примеру модель с компенсациями можно записать в виде

$$(22) \begin{cases} F(x, C) = px - \varphi(x) - C \rightarrow \max_{x, C}, \\ \alpha x \leq R + C, \quad x \geq 0, C \geq 0. \end{cases}$$

Здесь управляемый параметр  $C$  определяет часть прибыли производителя, которая направляется на увеличение лимита затрат на охрану окружающей среды.

Далее в расчетах положим, что  $p = 10$ ,  $\alpha = 5$ ,  $R = 300$ . Пусть также функция затрат имеет вид [3, 7]

$$(23) \varphi(x) = \delta \left| \ln \left( 1 - \frac{x}{\bar{x}} \right) \right|, \quad \delta > 0,$$

где  $\bar{x}$  – предельно возможный выпуск, положим  $\bar{x} = 100$  и  $\delta = 20$ .

Так как  $F'(x) = p - \delta \frac{1}{\bar{x} - x}$ , то глобальный максимум функции  $F(x)$  достигается при  $x = x^* = 98$ , а при  $0 \leq x < 98$  имеем  $F'(x) > 0$ , то есть она является монотонно возрастающей. Поэтому решение задачи (21), (23) надо определять из равенства  $\alpha x = R$ , то есть  $x = x^{**} = 60$ .

Решение же по модели (22), (23) дает  $x = x^{***} = 96$ ,  $C^{***} = 180$ .

Последнее решение дает заведомо лучший результат для системы, чем решение задачи (21), (23), так как  $F(x^{***}, C^{***}) = 716 > F(x^{**}) = 581$ .

Поэтому введение механизма с компенсациями существенным образом повышает результат системы при выполнении ограничений на множество выбора переменной  $x$ .

Вместе с тем полученный результат по модели (22), (23) уступает глобальному максимуму функции  $F(x)$ , когда не требуется выполнение каких-либо ограничений, равному  $F(x^*) = 901$ .

## **7. Заключение**

В статье на основе двухуровневой модели с неразделенными переменными и асимметричной информированностью участников о множестве выбора этих переменных приведена новая интерпретация децентрализации. Предложена классификация моделей ОС, в основании которой положено различие приоритетов целей верхнего и нижнего уровней в выборе общих переменных. Проведена систематизация широкого спектра модельных конструкций ОС.

При этом старались модели расположить в классе централизованных систем в порядке ослабления степени централизации, а в классе децентрализованных систем – в обратном порядке, то есть по мере усиления централизации.

В ряде модельных конструкций учтены две различные интерпретации постановок задач синтеза управления в иерархических системах «сверху» и «снизу», когда выбор управлений из  $X$  изначально является правом верхнего уровня или правом нижнего уровня. Показано, что различие информированности участников относительно множества стратегий  $X$  в моделях, интерпретирующих делегирование полномочий либо институциональное управление, влияет на окончательный выбор стратегий.

Вместе с тем автор отдает отчет в том, что предложенная классификация еще может потребовать своего уточнения.

Кроме того, автор признает неполноту рассмотренного многообразия, может быть даже основных, модельных конструкций. Поэтому не считает эту работу завершённой и надеется, что она будет иметь продолжение при признании научными коллегами сути самого подхода к рассматриваемой проблеме.

Заранее признателен всем, кто примет участие в форуме по вопросам, которым посвящена статья.

### **Литература**

1. АЛГАЗИН Г.И. *Модели системного компромисса в социально-экономических исследованиях* / Монография. – Барнаул: Албука, 2009. – 239 с.
2. ВАТЕЛЬ И.А., ЕРЕШКО Ф.И. *Математика конфликта и сотрудничества*. – М.:Знание, 1973. – 82 с.
3. ГЕРМЕЙЕР Ю.Б. *Игры с противоположными интересами*. – М.: Наука, 1976. – 328 с.
4. ГОРЕЛОВ М.А. *Модель институционального управления // Управление большими системами. Интернет-конференция.– 2011.– <http://ubs.mtas.ru>*.
5. ГУБКО М.В., НОВИКОВ Д.А. *Теория игр в управлении организационными системами*. – М.: Синтег, 2002. – 139 с.
6. МЕСАРОВИЧ М., МАКО Д., ТАКАХАРА И. *Теория многоуровневых иерархических систем*. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
7. МОИСЕЕВ Н.Н. *Иерархические структуры и теория игр // Известия АН СССР. Техническая кибернетика*. – 1973. – №6. – С. 1–11.
8. НОВИКОВ Д.А. *Институциональное управление организационными системами*. – М.: ИПУ РАН, 2004. – 68 с.
9. НОВИКОВ Д.А. *Стимулирование в организационных системах*. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 312 с.
10. СУСПИЦЫН С.А. *Общие модели экономики и экономическая реформа (опыт аксиоматических построений) // Препринт*. – Новосибирск: ИЭиОПП СО РАН, 1991. – 60 с.

## MODELING OF CENTRALIZATION AND DECENTRALIZATION IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS

**Gennady Algazin**, Altai State University, Barnaul, Doctor of Science, professor (algazin@socio.asu.ru).

*Abstract: On the basis of the two-level model of organizational systems with unshared variables and asymmetrically informed the participants is given a new interpretation of centralization and decentralization. Proposed and carried out the classification of a wide spectrum of model structures of the organizational systems, on the basis of which is the difference of priorities of the purposes of the upper and lower levels in the choice of shared variables.*

Key words: organizational system, asymmetric information, unshared variables, the priorities of the purposes, centralization, decentralization, institutional management, model design, the classification.