

СТИМУЛИРОВАНИЕ И ДЕФИЦИТ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННО УПРАВЛЯЕМОЙ ЭКОНОМИКЕ: МОДЕЛЬ ТРЕХУРОВНЕВОЙ ИЕРАРХИИ*

Банержи А., Спегат М.**

(США)

Предпринимается попытка использовать подход "Principal-Agent" к анализу трех-ступенчатых иерархических структур с жесткой системой управления. Обосновывается феномен перманентной технологической несбалансированности в централизованно управляемых экономических структурах.

1. ВВЕДЕНИЕ

Общепризнанно, что наиболее сложная проблема в централизованно управляемой экономике — ненадежность системы материально-технического снабжения [1—4]. Поставки, как правило, приходят не вовремя, или поставляется не то, что предполагалось. Удивительно, что это происходит даже тогда, когда агрегированные статистические показатели свидетельствуют о выполнении плановых установок по выпуску отдельных товаров производственного назначения.

Связь между указанным и другими дисфункциями плановых экономик, подобно чрезмерному накоплению товарных запасов и ухудшению качества продукции, отмечалась довольно давно (одно из первых исследований на эту тему — [5]). Но с тех пор проблема не стала менее напряженной, и А. Ноув в 1983 г. писал: "Существует все

*От редакции. Публикуя данную статью, редакция полагает полезным дать советскому читателю представление о моделях типа "Principal-Agent". Под этим термином в западной литературе понимаются модели, описывающие простейшие организационные структуры с двухсторонними контрактными взаимодействиями. К их числу можно отнести взаимоотношения между нанимателем и рабочим, собственником земли и арендатором, адвокатом и его клиентом, страховой компанией и страхующимся лицом, управляющим фирмой и группой держателей акций. В экономиках централизованного типа подобные взаимоотношения возникают между центром и министерствами, а также министерствами и предприятиями. Часто одна из сторон — "Principal" (центр, наниматель, заказчик) делегирует другой стороне — "Agent" (министерству, исполнителю, предприятию) право совершения действий, которые влияют на результаты обеих сторон. Если действия агента наблюдаемы, Principal в состоянии управлять им, устанавливая необходимые штрафы или премии и стимулируя агента не отклоняться от фиксированного контракта. Основная трудность состоит в том, что, во-первых, действия агента наблюдаются лишь частично и, во-вторых, на достигаемый результат оказывают влияние различные случайные факторы. В этих условиях основная проблема разрешения конфликта в простейшей организации типа "Principal-Agent" — установить правила распределения результата, другими словами, систему стимулирования.

**От авторов. Мы особенно признательны Р. Эриксону, Я. Корнаи, А. Мак-Коллелу и Э. Маскину, а также Д. Абре, Б. Делонгу, Дж. Грину, Ф. Кушнирскому, Э. Нейману, Ю. Киану, М. Вейцману и участникам семинаров в Гарвардском русском исследовательском центре, Стенфордском и Пенсильванском университетах, ЦЭМИ, ИЭ ОПП, Вашингтонском университете, Университете Эмори, Иллинойском университете, Общественного научно-исследовательского совета по изучению советской и восточно-европейской экономики, Индийском и Брауновском университетах. М. Спегат получил финансовую поддержку для проведения исследования со стороны Общественного научно-исследовательского совета из фондов Государственного департамента по теме "Советские и восточно-европейские исследования".

более ясное осознание среди советских экономистов необходимости радикальных реформ. И не только потому, что падают темпы роста, и планы не выполняются. Дефицит становится все более осязаемым, неравновесие и несбалансированность, всегда существовавшие, достигли таких нетерпимых уровней, при которых руководство само встревожено и не согласно мириться с этим (хотя необходимые меры еще только предстоит разработать)" [6].

Проблема и сложная и, очевидно, неразрешимая. Цель данной статьи — дать системное объяснение наблюдаемого феномена с помощью модели типа "Principal-Agent".

Ранее предпринимались попытки объяснить этот феномен на основе подхода "Principal-Agent" (см. [7, 8]). Однако они ограничивались демонстрацией того, что в условиях неравномерного распределения информации между центром и лицами, непосредственно отвечающими за производство, для центра оптимально ставить цели, которые никогда не могут быть удовлетворены*. Хотя и являясь верным, этот принцип не объясняет столь разрушительных последствий его осуществления для централизованно управляемой экономики. Заметим, что асимметрия информации между государством и производителями характерна и для капиталистической экономики.

В настоящей статье представлена модель вида "Principal-Agent", которая несколько упрощенно воспроизводит институциональные черты такого планирования и, следовательно, может объяснить постоянную напряженность в поставках. Рассматривается экономика с единственным конечным продуктом, выпускаемым с помощью определенного числа других промежуточных. Производственная функция для конечного продукта — вогнутая, и ненадежность в поставке полуфабрикатов ведет к сокращению его среднего выпуска. Полагается также, что центральный плановый орган (ЦПО) заинтересован в максимизации выпуска конечного продукта**. Производство промежуточных продуктов — в поле зрения независимых министерств. Вследствие информационной асимметрии ЦПО не в состоянии непосредственно контролировать их решения по развитию отраслей, но может влиять на эти решения, используя соответствующие схемы стимулирования.

Задача ЦПО осложняется тем, что (по предположению) он не наблюдает за деятельностью предприятий-поставщиков. Мы полагаем, что ЦПО может только отслеживать некоторый агрегированный показатель большого числа отдельных видов поставляемой продукции. Так как поставщики ненадежны, поставки полуфабрикатов могут варьировать по объемам и качеству, а это влечет за собой снижение эффективности производства конечного продукта.

В результате ЦПО не будет просто стремиться к максимизации выпуска промежуточных отраслей при имеющихся у них ресурсах. Вместо этого он предпочтет максимизировать определенное сочетание среднего ожидаемого уровня выпуска в каждой отрасли и надежности поставок, т.е. сократить несогласованность в снабжении.

Поскольку ЦПО может держать под контролем только некоторый обобщающий показатель, ему крайне трудно оказывать воздействие на поставку какого-нибудь конкретного изделия. Неопределенности поставок независимы, и достаточно большое их число отражает обобщающий статистический показатель; невыполнение отдельных поставок может оказаться значительным. В этих условиях ЦПО не в состоянии выявить*** и скорректировать чрезмерно высокий уровень нестабильности системы снабжения. Ограниченность возможностей центра по влиянию на производственный процесс не стимулирует министерства к стабильности и надежности выполнения планов поста-

*Ранее исследования по этому вопросу приводились в [9, 10].

**Более точно: выпуск конечного продукта за вычетом затрат на производство промежуточных продуктов.

***Может возникнуть искушение интерпретировать это тем, что дисперсия агрегированного предложения меньше дисперсии отдельных поставок. Это, конечно, не верно. Тем не менее вероятность того, что агрегированное предложение станет меньше своего среднего значения на определенную величину, будет очень низкой при достаточно большом числе агрегируемых малых поставок. Именно это мешает центру воздействовать на чрезмерный разброс в поставках.

вок. Как следствие, несмотря на усилия центра, система в целом будет испытывать трудности в обеспечении производственными ресурсами.

Настоящая статья представляет собой попытку формализовать основные посылки, сделанные выше. Очевидно, все в значительной мере определяется ключевыми предположениями. Особо важны из них те, которые допускают, что отрасли по производству промежуточных продуктов не действуют непосредственно в интересах общества в целом, а также возможность ЦПО следить только за некоторым агрегированным показателем, суммирующим большое число независимых случайных переменных. При отказе от любого из этих предположений приводимые в статье утверждения, вообще говоря, не выполняются.

Однако оба эти условия весьма точно отражают общепризнанные представления о фактической системе планирования в Советском Союзе. Тот факт, что деятельность отдельных отраслей контролируется министерствами, а не ЦПО, приводится в любом учебнике по советской экономике [11, 12]. Последние публикации о неограниченной власти министерств в СССР свидетельствуют, что эти министерства далеко не всегда действуют в интересах общества [13].

Возможность наблюдения центром только очень крупно агрегированных показателей достаточно обоснована*. В [14] отмечается, что, хотя в промышленности СССР используется 72 тыс. типов шарикоподшипников, центр оперирует только четырнадцатью. Таким образом, каждый показатель, который контролируется центром для наблюдения за деятельностью этой отрасли, агрегирует в среднем в 500 отдельных типов шарикоподшипников. Фактически в советской экономике насчитывается около 20 млн. отдельных изделий**, сведенных в примерно 2000 агрегированных показателей, применяемых в планировании [17]. В [18] указывается, что существует самый простой алгоритм сокращения общего объема детализированной плановой информации — сложение.

В разд. 2 приводится простая модель, формализующая высказанные соображения. В разд. 3 показано, что агрегирование крайне затрудняет достижение оптимального выпуска. В разд. 4 поднимается вопрос о возможности разрешения обсуждаемых проблем с помощью относительно простых реформ существующей системы. Однако без ее всеобъемлющей реформы это может оказаться чрезвычайно сложно — таков вывод.

В заключении рассматриваются некоторые смежные вопросы.

2. МОДЕЛЬ

Приведенная схема (см. рисунок) воспроизводит структуру нашей предельно упрощенной модели плановой экономики***. В ней имеется M предприятий, выпускающих M различных конечных (или потребительских) товаров. ЦПО не в состоянии непосредственно управлять их производством и заинтересован только в максимизации суммарного выпуска потребительских товаров**** $\sum C_m$. Для их изготовления используются N промежуточных продуктов X_{m1}, \dots, X_{mN} . Производственная функция для каждого предприятия, специализирующегося на выпуске потребительских товаров, имеет вид $C_m(X_{m1}, \dots, X_{mN})$. Для каждого m промежуточный продукт X_{mn} выпускается одной из отраслей с индексом n . Каждая отрасль управляется министерством.

Министерства*****. До сих пор ничего не говорилось о предпочтениях министерств

*Дискуссия по этому вопросу приводится в [4, 15, 16].

**Число изделий и степень агрегирования увеличиваются, если мы учитываем место и время поставки.

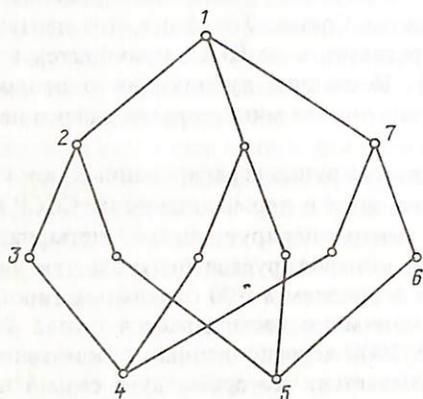
***Совершенно другой тип моделей иерархических систем представлен в [19]. В них внимание

****Здесь подразумевается, что цены на все потребительские товары пронормированы.

*****Мы отождествили производство каждого промежуточного продукта с одним из министерств,

или их управленческой роли. Министерство может выбирать технологии, используемые подчиненными предприятиями, устанавливать систему стимулирования для руководителей последних, определять степень контроля за их деятельностью. На любое действие $a_n \in A_n$ министерства с индексом n дирекция или другие структуры предприятия реагируют оптимальным для себя образом. Тогда выпуск $X_{mn} = X_{mn}(a_n, w_{mn})$, где w_{mn} — случайное воздействие на производство продукта m , выпускаемого отраслью n .

Предположим, что министерства должны приложить некоторые усилия для реализации любого из возможных действий, и этот уровень усилий V зависит от выбранного — $V = V(a_n)$. Для некоторых результатов статьи нет необходимости уточнять характер зависимостей $X_{mn}(\cdot, \cdot)$ и $V(\cdot)$. Положим, что $C_m(\cdot, \dots, \cdot)$ — функция квадратическо-



Структура упрощенной модели плановой экономики: 1 — ЦПО; 2 — министерства; 3 — фирмы, производящие полуфабрикаты; 4 — фирмы, производящие конечный продукт; 5 — фирмы, производящие конечный продукт; 6 — фирмы, производящие полуфабрикаты; 7 — министерство

го типа и только первые два момента случайных величин X_{mn} будут иметь значение для определения выпуска конечных продуктов.

Теперь, обозначая r как среднее X_{mn} и s как ее дисперсию, определяем "границу производственных возможностей" министерства в терминах: усилия, среднее, дисперсия в виде $F(r, s, V)$ с $F'_r > 0$, $F'_s < 0$ и $F'_V < 0$. Другими словами, предполагаем, что министерство может увеличить средний выпуск каждого предприятия или уменьшить дисперсию в их продуктах, выбирая действия, требующие больших усилий.

Структурные предположения. Сформулируем ряд предположений, которые позволят получить строгие результаты.

A.1. Имеется N министерств с индексом n . Каждое министерство производит M промежуточных продуктов (часто мы отождествляем продукты с предприятиями) с индексом m . Диаграмма, представленная на рисунке, показывает, что имеется ровно M конечных (потребительских) продуктов, для каждого из которых используется строго N видов полуфабрикатов*. Таким образом, для производства одной единицы потребительского товара C_m берется только один промежуточный продукт каждой отрасли и все промежуточные продукты не взаимозаменяемы.

A.2. Все случайные воздействия w_{mn} независимы для $m = 1, \dots, M$ и $n = 1, \dots, N$. Более того, для каждого n w_{1n}, \dots, w_{Mn} — одинаково распределены, а функции X_{1n}, \dots, X_{Mn} — идентичны.

A.3. Функция вознаграждения для каждого министерства — возрастающая: $X_n = \sum_{m=1}^M X_{mn}$, ограниченная снизу и сверху числами \underline{V} и \bar{V} соответственно. Предположение о возрастающей зависимости — следствие возможности для министерства свободно распоряжаться выпускаемой продукцией.

A.4. Множество действий, имеющихся у министерства, A_n — конечно.

Задача ЦПО. При сделанных предположениях и фиксированных размерах мини-

*Это предположение несущественно, поэтому оно позволяет упростить обозначения.

стерства M , их общем числе N задача ЦПО сводится к простой задаче типа "Principal-Agent" (с многими агентами) между ЦПО и министерствами.

ЦПО выбирает функции $R_1(\cdot), \dots, R_N(\cdot)$, максимизирующие $W = E[C - \sum_{n=1}^N R_n]$ при условиях

$$C = \sum_{m=1}^M C_m, \quad C_m = C_m(X_{m1}, \dots, X_{mN}), \quad m = 1, \dots, M,$$

$$R_n = R_n\left(\sum_{m=1}^M X_{mn}\right), \quad n = 1, \dots, N,$$

$$X_{mn} = X_{mn}(a_n^*, w_{mn}), \quad m = 1, \dots, M, \quad n = 1, \dots, N,$$

$$E[h(R_n) - V(a_n^*)] \geq U_{\min},$$

где $a_n^* = \arg \max_{a_n \in A_n} E[h(R_n) - V(a_n)]$;

$V(a_n)$ — усилия (неполезность) для министерства, связанные с принятием отдельного действия a_n ; $h(\cdot)$ — возрастающая непрерывная функция, описывающая полезность вознаграждения; E — оператор математического ожидания; U_{\min} — минимальное значение полезности, которое должно быть гарантировано министерству.

Выбор предельно упрощенного варианта модели сделан для наглядности*.

Однако даже в такой ограниченной форме допустимы различные представления высказанных предположений и, следовательно, можно коснуться разных аспектов проблемы. Например, наиболее непосредственная интерпретация модели могла бы исходить из того, что каждая отрасль производит набор продуктов, принадлежащих одной группе (скажем, несколько типов шарикоподшипников). Но они не являются абсолютными заменителями потребительских товаров: каждый из них может быть произведен только при наличии одного определенного товара из всей группы. ЦПО не делает различий внутри группы, устанавливая производственную программу отрасли, и, как следствие, министерство отслеживает только агрегированный выпуск. Производство же потребительских товаров существенно зависит от количества изготовленного каждого полуфабриката, и случайные колебания в их выпуске уменьшают средний объем произведенных потребительских товаров.

Предприятия по выпуску потребительских товаров в нашей модели могут интерпретироваться и как одно, рассматриваемое в разные моменты времени. Тогда отрасль i выпускает один физический продукт в различные интервалы периода. Поскольку некоторые полуфабрикаты не подлежат сколько-нибудь длительному хранению, существенным становится такой фактор, как время поставки. Ненадежность снабжения некоторых комплектующих изделий ведет к потерям. Но ЦПО в состоянии контролировать только общий выпуск этих изделий в течение всего периода в целом, так что министерство не интересуется ритмичностью производства.

Мы уже отмечали, что результаты настоящей статьи относятся к случаю, когда министерство контролирует производство большого числа продуктов, которые ЦПО рассматривает как группу однотипных изделий, не являющихся полностью взаимозаменяемыми. Моделируем это в предположении, что министерство держит на контроле некоторое число предприятий, каждое из которых производит ровно один продукт из указанной группы (в действительности они могут быть подразделениями одного и того же предприятия).

*Представленная модель предполагает наличие "moral hazard" ("нравственное испытание"). Суть проблемы состоит в том, что после заключения контракта в условиях частичной наблюдаемости действий агента последний может отклониться от совместно определенных условий контракта. Тогда оптимальное решение неустойчиво (неравновесно по Нэшу). И центру, и министерству выгодно не выполнять контракт, если противоположная сторона "честно" соблюдает его условия (прим. переводчика).

Обратимся теперь к производственным структурам, где число предприятий, относящихся к одному министерству, растет, все они становятся меньшими по размеру, но абсолютно идентичными. Формализация этого подхода дается ниже.

Определим $\tilde{X}_{mn}(a_n)$ как случайную величину $X_{mn}(a_n, w_{mn})$. Тогда формально иерархия задается так:

$$H = \{N, M, A_1, \dots, A_N, \tilde{X}_{11}, \dots, \tilde{X}_{M1}, \tilde{X}_{12}, \dots, \tilde{X}_{mn}, \dots, \tilde{X}_{MN}, V, R_1, \dots, R_N, C_1, \dots, C_M\}.$$

Полезность ЦПО всегда берется в виде общего выпуска конечного продукта за вычетом платежей министерствам и здесь более не уточняется.

Простейшая иерархия имеет место при $M = 1$. Начиная с простейшей бесконечная последовательность иерархий порождается H , задаваемой $\{H_M\}_{M=1}^{\infty}$, где $H_1 = H$; $H_M = \{N, M, A_1, \dots, A_N, \tilde{X}_{11}, \dots, X_{MN}, V, R_1, \dots, R_N, C_1^M, \dots, C_M^M\}$; $\tilde{X}_{mn}(a_n)$ для H_M имеют то же самое распределение, что $\tilde{X}_{1n}(a_n)/M$ в иерархии $H \forall a_n \in A_n$ и для $n=1, \dots, N$ и $m=1, \dots, M$; $C_m^M(X_{m1}, \dots, X_{mN}) = C_1^M(X_{m1}M, \dots, X_{mN}M)/M$ для $m=1, \dots, M$.

Принцип построения иерархии делает очевидным неизменность ожидаемого выпуска каждой отрасли при росте числа предприятий*.

В дальнейшем ограничимся рассмотрением взаимоотношений между ЦПО и отдельным министерством, что позволит упростить обозначения и опустить индекс i . Более того, введем обозначение $\tilde{X}(a)$ для случайной переменной $\tilde{X}_1(a)$ в простейшей иерархии.

Остановимся на структурных свойствах модели.

3. АНАЛИЗ МОДЕЛИ

Рассматривая введенную выше игру "центр — министерство", можно попытаться сделать соответствующие выводы о характере оптимального решения первого порядка**.

Однако предпочтем обходный путь. Сначала изучим свойства множества реализаций при условии, что министерства контролируют большое число предприятий. Используя полученные при этом результаты, попробуем сделать определенные выводы о свойстве оптимального решения второго порядка для некоторой более конкретной игры типа "центр — министерства".

Теоремы 1 и 2 устанавливают свойства множества реализаций.

Для удобства введем $a^1 >_R a^2$ для обозначения того, что при установленной системе стимулирования R $a^1 \in A$ предпочтительнее для министерства, чем $a^2 \in A$. Конечно, введенное отношение предприятий зависит от M .

Теорема 1. *Предположим, что A_2, A_3 и A_4 выполнены. Рассмотрим q действий $a^1, \dots, a^k, \dots, a^q$ для министерства. Пусть $V(a^1) < \dots < V(a^q)$ и $E(\tilde{X}(a^1)) > \dots > E(\tilde{X}(a^k)) > \dots > E(\tilde{X}(a^q))$. Тогда существует M^* такое, что из условия $M > M^*$ следует $a^1 >_{R \cdot} a^q >_{R \cdot} a^k \forall R$.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Достаточно доказать утверждение теоремы для a^1 и a^2 . Выберем $\delta > 0$ и $\epsilon > 0$ так, чтобы

$$\epsilon < E(\tilde{X}(a^1)) - E(\tilde{X}(a^2))/2.$$

Согласно слабому закону больших чисел, существует M^* такое, что для $M > M^*$

$$P \{ |\sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a^1) - E(\tilde{X}(a^1))| > \epsilon \} < \delta$$

*В дальнейшем изменения M означают изменения в приведенной последовательности.
 **Решение первого порядка — решение задачи максимизации критерия центра, игнорирующее интересы агента (в данном случае министерства). Решение второго порядка в данном случае — решение задачи центра, учитывающее оптимальную реакцию министерств на стратегии центра (прим. переводчика).

И

$$P \{ | \sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a^2) - E(\tilde{X}(a^2)) | > \epsilon \} < \delta.$$

Это означает, что

$$E(h(R(\sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a^2)))) - E(h(R(\sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a^1)))) < \delta(h(\bar{B}) - h(B)).$$

Правая часть этого неравенства может быть сколь угодно малой. Поскольку $V(a^1) < V(a^2)$, теорема доказана. Другими словами, для достаточно многоступенчатой иерархии множество реализаций не должно содержать никакого доминируемого действия в том смысле, что существует другое действие, дающее больший ожидаемый выпуск для каждого предприятия и не требующее дополнительных усилий.

Полученный результат является на самом деле только несложной формализацией исходных интуитивных представлений, о которых шла речь во введении. Приводимый далее показывает, что мы не можем больше следовать этим простым интуитивным представлениям.

Назовем A' множеством недоминируемых действий в A , т.е. $a^1 \in A'$, тогда и только тогда, когда $a^1 \in A$ и не существует $a^2 \in A$ такого, что $V(a^1) \geq V(a^2)$ и $E(\tilde{X}_m(a^1)) \leq E(\tilde{X}_m(a^2))$ и по крайней мере одно из неравенств строгое. Теперь мы можем сделать следующее утверждение.

Теорема 2. *Предположим, что A' не содержит двух действий с равными усилиями и средними. Тогда при предположениях $A3$ и $A4$ существует M^* такое, что для $M > M^*$ и любого $a \in A'$:*

- 1) можно указать R , реализующее a при ожидаемых затратах, не превосходящих \bar{t} ;
- 2) комбинация a и \bar{t} более полезна министерству, чем пара a^1 и \underline{B} (a^1 — действие, требующее наименьших усилий);
- 3) полезность комбинации a и \bar{t} превосходит U_{\min} .

Доказательство. Выберем $a \in A'$ и $\epsilon > 0$. Пусть ϵ настолько мало, что из $\tilde{E}\tilde{X}(a') < E\tilde{X}(a)$ следует $\epsilon < E\tilde{X}(a) - E\tilde{X}(a')$ для всех $a' \in A'$. Положим

$$R(X) = \begin{cases} \bar{t}, & \text{если } X \geq E\tilde{X}(a) - \epsilon, \\ \underline{B} & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

Если M достаточно велико, то любое действие a' с $E\tilde{X}(a') < E\tilde{X}(a)$ влечет за собой получение в виде вознаграждения \underline{B} с вероятностью, близкой к единице. В то же время выбор a дает \bar{t} также с вероятностью, близкой к единице. Мы предположили, что экономические усилия не могут компенсировать возникающих денежных потерь. Значит, $a_R > a'$ для достаточно больших M .

Пусть $a' \in A'$ и $E(\tilde{X}(a')) > E\tilde{X}(a)$. Поскольку $a \in A'$, $V(a) < V(a')$. Для достаточно больших M независимо от выбора a или a' вознаграждение будет равно \bar{t} с вероятностью, произвольно близкой к единице. Следовательно, a доминирует a' по R , поскольку требует меньших усилий.

Нетрудно видеть, что полученные результаты позволяют сделать определенные выводы о достижимости оптимального решения первого порядка. Сформулируем их в форме следующего утверждения.

Теорема 3. *Если при оптимальном решении первого порядка можно достичь того же (или большего) ожидаемого выпуска для каждого предприятия с меньшими усилиями (но, возможно, с большим разбросом в выпуске), тогда оно нереализуемо при достаточно больших размерах министерства.*

Условия, при которых выполняется теорема 3, очень слабы. В терминах, введенных в разд. 2, достаточно, чтобы $F(r, s, V)$ была дифференцируема при оптимальном решении первого порядка.

Мы еще ничего не сказали о том, почему предположения теоремы 3 должны выполняться. Приводимый ниже пример отвечает на этот вопрос.

Теорема 1 утверждает, что при большом уровне иерархии министерство по существу заинтересовано только в поддержании собственных усилий и величине ожидаемого выпуска. При сделанных предположениях А1 и строгой вогнутости функций $C(\cdot, \dots, \cdot)$ выпуск отраслями потребительских товаров зависит от распределения в целом производства промежуточных продуктов, а не только от ожидаемых значений. Следовательно, при реализации оптимального решения первого порядка министерство должно в большей мере учитывать распределение выпуска по предприятиям своей отрасли, чем ожидаемое среднее значение. Поэтому естественно предположить, что при реализации оптимального решения первого порядка министерство предпочтет сохранить небольшими усилия, чтобы удержать ожидаемый выпуск на прежнем уровне. Таким образом, оптимальное решение первого порядка недостижимо.

Это, однако, не доказывает, что оптимальное решение второго порядка будет иметь чрезмерные отклонения от намеченного производства промежуточных продуктов. Как мы показали, все недоминируемые действия реализуемы. Ясно, что могут найтись варианты, имеющие меньший средний выпуск и меньшую дисперсию, чем оптимальное решение первого порядка, но при этом и не требующие особых усилий. Следовательно, они недоминируемы.

Приводимый ниже пример несколько проясняет, почему оптимальное решение второго порядка имеет большую дисперсию, чем первое.

Пример. Рассмотрим следующую модель.

1. Производственная функция конечного продукта

$$C = \sum_{n=1}^N b_n x_n - \sum_{n=1}^N c_n x_n^2,$$

где x_n — количество полуфабриката n .

2. ЦПО стремится к максимизации $E(C)$, т.е. математического ожидания C .

3. Каждая "производственная" функция министерства определяется из

$$V(\bar{x}_n, \sigma_n^2) = \bar{x}_n^2 + (\sigma_n^2 - \sigma_n^{*2}(\bar{x}_n))^2,$$

где \bar{x}_n и σ_n^2 — среднее значение и дисперсия распределения для каждого предприятия, контролируемого министерством; V — усилия, прилагаемые министерством для достижения этих значений среднего и дисперсии; $\sigma_n^{*2}(\bar{x}_n)$ — максимально допустимая дисперсия для данного среднего значения \bar{x}_n . При этом $d\sigma_n^{*2}(\bar{x}_n)/d\bar{x}_n$ имеет произвольный знак, но $d^2\sigma_n^{*2}(\bar{x}_n)/d\bar{x}_n^2 > 0$.

4. Рассматривается предел последовательности иерархий, определенной выше, так что каждое министерство по существу контролирует бесконечно большое число бесконечно малых фирм. Следовательно, агрегированный выпуск продукции отраслей данного министерства будет \bar{x}_n и его вознаграждение (считая возможным исключить стохастические схемы стимулирования) — детерминировано и равно R .

5. Предположим, что министерства максимизируют функцию полезности вида

$$R_n^{1/2} - V(\bar{x}_n, \sigma_n^2).$$

В этой модели оптимальное решение первого порядка для ЦПО достигается максимизацией по σ_n^2 , \bar{x}_n и R_n , $n = 1, \dots, N$,

$$\sum_{n=1}^N b_n \bar{x}_n - \sum_{n=1}^N c_n (\sigma_n^2 + \bar{x}_n)^2 - \sum_{n=1}^N R_n$$

при

$$R_n^{1/2} - (\bar{x}_n^2 + (\sigma_n^{*2} - \sigma_n^2)) - U_{\min} = 0 \quad \forall n.$$

По условиям максимизации для всех n

$$J[\bar{x}_n] = 4\bar{x}_n^3 + [2c_n + 4(\sigma_n^{*2} - \sigma_n^2)^2 + 4U_{\min}] \bar{x}_n + c_n \frac{d\sigma_n^{*2}}{d\bar{x}_n} - b_n = 0.$$

Напротив, при отыскании оптимального решения второго порядка министерство будет выбирать стратегию, дающую максимальную дисперсию при заданном среднем значении, стремясь минимизировать усилия. В этой ситуации ЦПО отыскивает \bar{X}_n и R_n для каждого n , которые максимизируют

$$\sum_{n=1}^N b_n \bar{x}_n - \sum_{n=1}^N c_n (\sigma_n^2 + \bar{x}_n^2) - \sum_{n=1}^N R_n$$

при

$$R_n^{1/2} - \bar{x}_n^2 - U_{\min} = 0 \quad \forall n.$$

Получаем

$$H(\bar{x}_n) = 4\bar{x}_n^3 + [2c_n + 4U_{\min}] \bar{x}_n + 2c_n \frac{d\sigma_n^{*2}}{d\bar{x}_n} - b_n = 0 \quad \forall n.$$

Отметим также, что из условий максимума для оптимального решения первого порядка следует

$$\sigma_n^{*2} - \sigma_n^2 = \frac{c_n}{4(\bar{x}_n^2 + (\sigma_n^{*2} - \sigma_n^2)^2 + U_{\min})} > 0.$$

Таким образом, оптимальные решения первого и второго порядка не совпадают. Более того, очевидно, что решение второго порядка x_{ns} (получаемое из уравнения $H(x_n) = 0$) для конкретного n будет больше, чем решение первого порядка x_{nf} (из уравнения $J(\bar{x}_n) = 0$), если только $d\sigma_n^{*2}(\bar{x}_n)/d\bar{x}_n$ не является большим положительным числом.

Итак, мы показали, что при сделанных предположениях оптимальное решение второго порядка будет давать большее среднее значение и дисперсию выпуска для каждой отдельной фирмы по сравнению с решением первого порядка. Хотя этот результат для общего случая здесь не доказывается, приведенный пример достаточно характерен [20]. Он убедительно свидетельствует о возможности в рамках данного подхода делать выводы о том, что высокий уровень агрегирования в промежуточных продуктах сопровождается значительной ненадежностью поставок. Это именно то, что мы и намеревались продемонстрировать. Отсюда следуют выводы.

1. Приведенные результаты могут быть легко перенесены на случай бесконечного, но компактного пространства действий (см. [20]).

2. Предположения о независимости между выпусками отдельных предприятий не обязательны. Допуская корреляцию между выпусками, получаем те же результаты [20].

3. Допущение обязательной корреляции в действительности усугубляет проблему. Это лучше всего видно на примере меньшинства, контролирующего два предприятия, выпуски которых полностью отрицательно коррелированы так, что суммарный выпуск остается неизменным. Тогда министерство не будет следить за степенью отклонения выпусков каждого предприятия в отдельности (это детально обсуждается в [20]).

4. Может возникнуть вопрос, почему мы здесь используем в доказательствах случай конечной иерархии, вместо того, чтобы непосредственно обратиться к более простой бесконечной аппроксимации. Ответ: невозможно понять роль ограниченности штрафных санкций, если не рассматривать конечную иерархию. Поскольку агрегированный выпуск отрасли детерминирован, в пределе при бесконечной иерархии теорема 1 справедлива даже без ограниченности санкций. Однако если мы предполагаем неограниченные штрафы при конечной иерархии, предел последовательности оптимальных

решений второго порядка по мере увеличения числа ступеней иерархии в сторону бесконечности в действительности может оказаться оптимальным решением первого порядка. Интуитивно это можно понять, если рассматривать случай, когда оптимальное решение первого порядка принимается в результате штрафа, который становится возможным по мере отклонения от оптимального решения первого порядка. С ростом иерархии вероятность использования функции штрафа становится очень малой, следовательно, само наказание может оказаться весьма ощутимым и не требующим больших затрат на реализацию (см. доказательство в приложении).

Отсюда и нетривиальность вопроса о выборе уровня рассмотрения иерархии и ошибочность непосредственного обращения к бесконечной иерархии.

4. ВОЗМОЖНОСТЬ РЕФОРМЫ

Проанализируем несколько возможных изменений в экономической системе, подобной советской, которые могли бы частично разрешить или снять обсуждаемую в этой статье проблему. Попытаемся рассмотреть вероятные издержки, которые могут при этом возникнуть. Это поможет нам найти объяснение тому, почему исследуемый вопрос до сих пор не был разрешен.

1. **Прямое управление предприятиями со стороны центра.** Если бы оно существовало, то не нужны были бы министерства. Но проблема заключается в огромном объеме информации, необходимой для управления предприятиями в экономике типа той, что в СССР. Такой объем информации недоступен небольшой группе людей и, следовательно, определенное делегирование полномочий неизбежно.

2. **Дробление министерств.** Если министерства контролируют небольшое число независимых случайных величин, статистические агрегированные данные содержат больше информации и можно добиться лучшего качества управления. Однако размеры министерств могут диктоваться соображениями "эффекта масштаба". Наличие специальных знаний, технологий делает эффективным концентрацию управления широкого диапазона смежных производств в руках определенной группы профессионалов. Дробление министерств вызовет затраты, обусловленные потерей "эффекта масштаба".

3. **Переход от агрегированной к детализированной информационной базе.** Бесспорно, такой переход снимает основную обсуждаемую проблему информации. Издержки в этом случае определяются суммой информационных и вычислительных затрат. Первые связаны с необходимостью различать отдельные виды изделий внутри некоторой товарной группы, а не только учитывать их количество. Вычислительные затраты обусловлены необходимостью слежения за огромными числовыми массивами с различной степенью точности.

4. **Предоставление предприятиям права свободно выбирать поставщиков.** Это может ослабить жесткость системы материально-технического снабжения и сделать предприятия менее зависимыми от ненадежности получения материалов от отдельного поставщика. Однако жесткие системы снабжения имеют одно существенное достоинство, которое может воспрепятствовать их легкой замене. Оно определяется феноменом, названным Я. Корнаи слабым бюджетным ограничением [2, 21]. Согласно Я. Корнаи, предприятия в централизованной плановой экономике ведут себя так, как будто бы они не связаны бюджетным ограничением. Предполагая трудности с поставкой производственных ресурсов, руководство предприятий стремится создать как можно более крупные запасы, не считаясь с затратами, зная, что такие затраты будут покрыты из предусмотренных на этот случай субсидий. Поскольку все действуют одинаково, возникают трудности, и их ожидания оправдываются. Подобный тип равновесия с постоянным повышенным спросом и есть то, что Я. Корнаи называет дефицитом.

В условиях дефицита, свойственного централизованной плановой экономике, предприятия будут стремиться получить все ресурсы, которые только могут попасть в их руки. Может было бы целесообразно ограничивать доступ отдельным предприятиям к ресурсам, не давая им права свободно обращаться к поставщикам и приобретать все, что они пожелают.

5. Вознаграждение министерств за счет отчислений от прибыли. Эта мера не может дать эффекта, поскольку в условиях жестких цен прибыль является просто линейной функцией общего выпуска и не несет никакой дополнительной информации.

6. Стимулирование предприятий, выпускающих товары народного потребления, к созданию запасов производственных ресурсов. Это избавит предприятия от краткосрочных флуктуаций в поставках и, следовательно, снизит остроту проблемы. Однако поддержание запасов всегда требует больших затрат, а иногда и вообще невозможно, если речь идет о полуфабрикатах, совершенно не подлежащих хранению.

7. Стимулирование потребителей производственных ресурсов использовать арбитраж для наказания ненадежных поставщиков. Эффективность подобных действий зависит от чувствительности санкций для поставщиков. При мягком бюджетном ограничении штрафы могут быть переложены на государство. В исследовании, проводимом в настоящее время, мы показываем, что при мягком бюджетном ограничении установление штрафных санкций, устраивающих поставщика и потребителя, может быть не согласовано с общественными интересами. Согласно [22], арбитражная система в Советском Союзе использовалась крайне редко для наказания недисциплинированных поставщиков. В [23] приведена модель, в которой это объясняется взаимной боязнью ответных мер.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы стремились найти объяснение крайне ненадежному функционированию системы материально-технического снабжения в централизованной экономике. Оно основано на хорошо изученных особенностях плановой системы, и мы утверждаем, что только путем радикальных изменений системы ее недостатки могут быть устранены.

Главным действующим лицом в данной интерпретации выступают министерства. Наш подход позволяет формально обосновать выводы о громоздкости и всевластии министерств [13]. Для более общего случая этот подход уточняет интуитивные представления качественных отличий трехступенчатой иерархии от двухступенчатой.

Анализ позволяет также сделать некоторые выводы о характере влияния дефицита на экономику. В частности, результаты дефицита скажутся в наибольшей степени в производствах с низкой эластичностью замещения. Предложенный подход применим для исследования некоторых других проблем. Так, в [24] мы использовали эту же модель для изучения последствий замедления роста эффективности производства в Советском Союзе.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Как было отмечено, предположение об ограниченности санкций оказывается определяющим. Необходимость его для корректности полученных результатов очевидна. Наиболее интересно то, что в нашей модели, вообще говоря, чем больше иерархия, тем труднее достичь оптимального решения первого порядка. Однако при неограниченных санкциях и росте иерархии определенного типа к нему можно приблизиться сколь угодно близко.

Интуитивно этот результат вытекает из [24], где сделано следующее наблюдение. Пусть субоптимальное действие порождает распределение, левая часть которого очень близка к левой части распределения для оптимального действия. Тогда аппроксимация оптимального решения первого порядка реализуется путем больших штрафов агентов с низким уровнем выпуска. Приводимая ниже теорема — аналог условия в [24] для многоступенчатых иерархий.

Теорема 4. *Предположим, что не существует ограничения на величину возможных санкций к министерству. Рассмотрим конечное пространство действий A с оптимальным действием a^* для ЦПО. Предположим, что для любого $a \in A$ $\tilde{X}(a)$ имеет непрерывную плотность $f(x, a)$ с носителем $[0, 1]$. Если $f(0, a) > f(0, a^*)$ для всех $a \neq a^*$, тогда оптимальное решение первого порядка может быть аппроксимировано сколь угодно близко для достаточно больших M .*

Доказательство. Покажем, что для всех $\epsilon > 0$ существуют $M(\epsilon)$ и \bar{X} такие, что из $M > M(\epsilon)$ следует

$$\frac{P \left\{ \sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a) < \bar{X} \right\}}{P \left\{ \sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a^*) < \bar{X} \right\}} > \frac{f(0, a)^M}{f(0, a^*)^M} - \epsilon. \quad (1)$$

Действительно,

$$P \left\{ \sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a) < \bar{X} \right\} = \int_0^{M\bar{X}} \int_0^{M\bar{X}-X_1} \dots \int_0^{M\bar{X} - \sum_{m=1}^{M-1} X_m} dF(X_1, a) \dots dF(X_M, a). \quad (2)$$

Поскольку $M\bar{X}$ близко к нулю, правая часть (2) равна примерно $(f(0, a)^M / M!) 1 \bar{X}^M$ для любого a . Следовательно, левая часть (1) стремится к бесконечности при $M \rightarrow \infty$ со скоростью $(f(0, a) / f(0, a^*))^M$.

Это позволяет нам выбрать последовательность допустимых штрафов $\{q_M\}_{M=1}^{\infty}$ такую, что

$$d_M = q_M P \left\{ \sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a^*) < \bar{X}_M \rightarrow 0 \text{ и} \right.$$

$$q_M P \left\{ \sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a) < \tilde{X}_M \right\} \rightarrow -\infty \forall a \neq a^*.$$

Например, пусть \bar{X}_M сходится к нулю и $q_M = -M/d_M$. Тогда для больших M схема стимулирования

$$h(R_M(\sum_{m=1}^M X_m)) = \begin{cases} h, & \text{если } \sum_{m=1}^M X_m < \bar{X}_M, \\ q_M & \text{в противном случае} \end{cases}$$

будет обязательно аппроксимировать оптимальное решение первого порядка.

Для большей наглядности полученного результата рассмотрим случай, в котором министерство имеет два действия: $\tilde{X}(a^*)$ равно нулю с вероятностью $1/4$ и единице с вероятностью $3/4$; $\tilde{X}(a)$ — равно нулю или единице с вероятностью $1/2$. Тогда

$$P \left\{ \sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a) = 0 \right\} / P \left\{ \sum_{m=1}^M \tilde{X}_m(a^*) = 0 \right\} = (1/2)^M / (1/4)^M.$$

Теперь, если $q_M = -M(2)^M$ и $\bar{X}_M = 0$, получаем требуемую аппроксимацию решения первого порядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Modelling of Disequilibrium and Shortage in Centrally Planned Economies. N. Carolina, 1989.
2. Kornai J. Economics of Shortage. Amsterdam, 1980.
3. Levine H. Pressure and Planning in the Soviet Economy // Industrialization in Two Systems: Essays in Honor of Alexander Gerschenkron. N.Y., 1966.
4. Linz S. Managerial Autonomy in Soviet Firms // Soviet Studies. 1988. V. 40. № 2.
5. Berliner J. Factory and Manager in the USSR. Harvard - Cambridge, Mass., 1957.
6. Nove A. The Economics of Feasible Socialism. L., 1983.
7. Keren M. On the Tautness of Plans // Rev. Econ. Studies. 1972. V. 39. № 4.
8. Moore J. Managerial Behavior in the Theory of Comparative Economics Systems // The Economics of Property Rights. Cambridge, Mass., 1974.
9. Holzman F. Some Notes on Over-Full Employment Planning, Short-Run Balance, and Soviet Economic Reforms // Soviet Studies. 1970. V. 22. № 2.

10. *Hunter H.* Optimum Tautness in Development Planning // *Econ. Development and Cultural Change*. 1961. V. 9. № 4.
11. *Gregory P., Stuart R.* Soviet Economic Structure and Performance. N.Y., 1981.
12. *Nove A.* The Soviet Economic System. L., 1977.
13. *Gorlin A.* The Power of Soviet Industrial Ministries in the 1980's // *Soviet Studies*. 1985. V. 37. № 3.
14. *Карнов П.П.* Распределение средств производства в новых экономических условиях. М.: Экономика, 1972.
15. *Grossman G.* Soviet Statistics of Physical Output of Industrial Commodities. Princeton, 1960.
16. *Berliner J.* Planning and Management // *The Soviet Economy: Toward the Year 2000*. L., 1983.
17. *Федоренко Н.П.* Планирование и управление: какими им быть? // *Проблемы экономики*, 1985. Т. 18, № 8.
18. *Augustinovic M.* Integration of Mathematical and Traditional Methods of Planning // *Economic Planning, East and West*. Cambridge, 1975.
19. *Burkov V.N.* Active Goal-Seeking Systems // *Systems and Control Encyclopedia*. Pergamon Press, 1987.
20. *Banerjee A., Spagat M.* Incentives and Shortages in Soviet-Type Economics: A Model of a Three-Level Hierarchy. Working Paper for the Present paper, 1986.
21. *Kornai J.* Resource Constrained Versus Demand Constrained Systems // *Econometrica*. 1979. V. 47. № 4.
22. *Kroll H.* Breach of Contract in the Soviet Economy // *J. Legal Studies*. 1987. V. 16. № 1.
23. *Spagat M.* Contract Enforcement in Sellers' Markets. (Не опубликовано)
24. *Banerjee A., Spagat M.* Productivity Paralysis and the Complexity Problem: Why do Centrally Planned Economies Become Prematurely Grey? (Не опубликовано)

Поступила в редакцию
21 V 1991

Перевод с англ. А.Б. Поманского