
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМА ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАКАЗА НА НИОКР

© 2015 г. А.И. Кучаев¹

(Москва)

В статье исследуется модификация аукциона на проведение опытно-конструкторских (технологических) работ с целью повышения его эффективности и создания стимулов для вовлечения бизнеса в процесс инноваций.

Ключевые слова: дизайн экономических механизмов, НИОКР, аукцион, государственный заказ, опытное производство.

Классификация JEL: D44, O31, O38.

ВВЕДЕНИЕ

Построение экономики, основанной на знаниях, предполагает создание условий для превращения научно-технического потенциала в один из основных ресурсов устойчивого экономического роста. Такие условия формируются в рамках национальной инновационной системы (НИС), которая представляет собой совокупность институтов и механизмов, нацеленных на создание и внедрение инноваций. Аукционы, конкурсы и другие подобные механизмы являются удобными инструментами для осуществления взаимодействия между экономическими агентами в рамках НИС. При грамотном использовании они способствуют эффективному обмену информацией.

В данной статье будет показано, как можно улучшить существующий механизм аукционов, связанных с проведением опытно-конструкторских (технологических) работ, повысить его эффективность и создать стимулы для зарождения инновационных цепочек.

Жизненный цикл инновационного продукта представляет собой процесс трансформации идеи в рыночный товар. В научной литературе этот процесс часто описывается с помощью *моделей фазовых состояний*, представляющих идеализированную последовательность этапов, через которые продукт должен пройти в своем развитии. Одной из популярных является 4-ступенчатая модель (Brozen, 1951), состоящая из следующих стадий: изобретение (invention), инновация (innovation), имитация (imitation), распространение (diffusion). Все эти понятия определены условно, но в прикладном контексте их легко идентифицировать. Изобретение связано с рождением новой идеи, которая до этого нигде не была использована. Можно сказать, что изобретение увеличивает общее знание (Мокур, 1990). При этом идея необязательно должна быть научно-технического свойства. Например, изобретение сотового телефона в большей степени следует рассматривать как изобретение в области социальной коммуникации, хотя основные технические решения (спутниковая связь, телефон) уже существовали ранее.

Инновация подразумевает сочетание существующих идей, которое приводит к появлению нового продукта или к более совершенной версии существующего. Появление сотовых телефонов с функцией фотоаппарата – характерный пример инновации.

Имитация и распространение – процесс распространения нового продукта в обществе, поэтому их часто объединяют в одну стадию. Существенное различие между ними заключается в том, что имитация представляет собой освоение производства инновации, т.е. она возможна среди участников рынка, обладающих достаточной квалификацией для производства продукта. К ним можно отнести промышленных производителей, инжиниринговые центры (посредники между разработчиком и производителем), опытных пользователей и т.д.

¹ Автор выражает глубокую благодарность А.Б. Поманскому за содействие в работе и обсуждение результатов.

Помимо налаживания промышленного производства другой важной функцией данной стадии является разработка технических решений, необходимых для внедрения продукта в существующую инфраструктуру. Например, развитие ветроэнергетики потребовало не только конструирования ветроэнергетических установок, но также и решения задач, связанных с эффективным присоединением множества независимых источников к единой электрической сети.

Конечные потребители получают продукт на стадии распространения. Это финальная стадия жизненного цикла инновационного продукта – его оформление в рыночный товар. Основные задачи на данном этапе – разработка эффективных схем маркетинга и дистрибьюции продукции.

Первые две стадии инновационного процесса осуществляются в научной среде, последние две – преимущественно в бизнес-среде. Поскольку в общем случае интересы ученых и предпринимателей различны, ключевым моментом процесса является механизм передачи инициативы (ведущей движущей силы).

В тех областях, где наука и бизнес тесно взаимодействуют, задача сводится к государственно-му регулированию в области интеллектуального права. Для этого используются два механизма – институт интеллектуальной собственности и институт лицензирования. В (Reinganum, 1989) приведен обзор научных работ в области лицензирования и исследования различных аспектов его применения.

В России наука и бизнес действуют обособленно, что связано как со слабым интересом частного капитала к инновациям, так и с тем, что основная часть исследований проводится в государственном секторе. Для преодоления данной проблемы в рамках национальной инновационной системы практикуется создание различных институтов частно-государственного партнерства (ЧГП).

Традиционный подход, реализуемый в рамках ЧГП, заключается в привлечении компаний-потребителей к участию в создании продукта на стадии “Инновация” (НИОКР) или, что реже, представителей науки – на стадии “Имитация”. При надлежащем дизайне механизма партнерства это приводит к установлению связей, снижению асимметрии информации между участниками и в конечном счете – к трансферу технологий. Однако более раннее вовлечение бизнеса в этот процесс сопряжено для него с большими рисками. Поэтому при общей несклонности к риску такое ЧГП едва ли будет популярным в бизнес-среде.

Альтернативный подход заключается в создании комплексных (многоэтапных) механизмов, охватывающих одновременно стадии инновации и имитации. При этом механизм может быть сформирован так, что риски участников возникают на соответствующих каждому типу стадиях.

Интерес к комплексным механизмам присутствует и в зарубежной литературе. И, как отмечается в ряде работ (Dasgupta, Stiglitz, 1980; Katz, Shapiro, 1985, 1986), одна из причин такого интереса состоит в том, что механизм лицензирования не дает исследователю сигнала об оптимальном уровне усилий, которые необходимо предпринять при выполнении НИОКР.

Однако в странах, где значительная доля разработок осуществляется в частных компаниях, возможности создания таких механизмов сильно ограничены. Так, в (Brocas, 2006) предлагается одновременно вводить налоговые субсидии на НИОКР и снижать стоимость лицензий при условии более пристального контроля со стороны антимонопольных служб. По сути, это – два независимых механизма, действующих каждый на своей стадии, но дающих общий положительный эффект.

Ведущая роль частного капитала в производстве знаний присуща большинству передовых в инновационном плане стран, поэтому там тема комплексных механизмов не получила достаточного внимания в научной литературе.

1. ОСНОВНАЯ ИДЕЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕХАНИЗМА

Рассмотрим наиболее распространенный способ реализации НИОКР в рамках федеральных целевых программ (ФЦП). На первом этапе формируется заявка на проект НИОКР, соответствующий тематике ФЦП, с описанием целей, сроков выполнения, объема и стоимости работ. Заявка проходит отбор, и в случае успеха объявляется конкурс (многомерный аукцион) на выявление

исполнителя. Победитель определяется исходя из показателей компетентности претендента и заявляемой им стоимости выполнения работ (иногда учитываются и сроки). Конкурс проводится в формате закрытого аукциона первой цены.

В рамках данной статьи мы ограничимся только теми НИОКР, результаты которых могут быть использованы на стадии имитации. К таким, в частности, можно отнести опытно-конструкторские работы (ОКР) и опытно-технологические работы (ОТР), результатом которых является опытный образец продукта или технологии.

На этой стадии разработок образцы обладают всеми требуемыми характеристиками, кроме, возможно, экономических. Они проходят испытания, в процессе которых эти характеристики должны быть подтверждены. Но поскольку испытания проводятся разработчиком, то часть моментов, существенных именно с точки зрения потребителя, могут остаться без внимания. Поэтому представляется логичным дополнить испытания опытным применением продукта потребителем, в ходе которого акцент будет сделан на эксплуатационные характеристики (соответствует стадии “Имитация”). В результате *опытного применения* потребитель получит представление о возможностях (текущих и перспективных) продукта, а исполнитель – о дальнейших путях его усовершенствования.

Предлагаемый вариант добавления к проекту этапа опытного применения рассмотрим на примере сравнения двух механизмов выбора исполнителя НИОКР. Для простоты будем считать, что есть два претендента с одинаковым уровнем компетентности, поэтому победитель определяется исходя из стоимости разработки.

Первый (*традиционный*) вариант механизма представляет собой закрытый понижающий аукцион первой цены. Пусть стартовая цена – v_0 (максимальная стоимость работ), претенденты присылают в конвертах свои заявки, и победитель – участник с минимальной заявкой b_{min} – выполняет разработку за b_{min} .

Второй (*предлагаемый*) вариант механизма подразумевает, что выполнение проекта делится на два этапа – разработки и опытного применения. Общее государственное финансирование составляет $v_1 = v_0 + s$ ($s \geq 0$, *субсидия*). На первом этапе – по аналогии с традиционным механизмом – проводится аукцион с целью определения исполнителя работ с такой же стартовой ценой – v_0 . Претенденты делают свои заявки, и победитель – участник с минимальной заявкой b_{min} – выполняет разработку за b_{min} . Оставшуюся сумму $(v_0 + s - b_{min})$ исполнитель сможет получить, если организует опытное применение разработки. При этом механизм выплат привязан к достижению заявленного положительного целевого эффекта от использования продукта.

Поскольку этап опытного применения сопряжен с дополнительными издержками как со стороны потребителя, так и разработчика, то надлежащий выбор s позволит сделать его привлекательным для вовлеченных сторон.

Далее рассмотрим несколько простых примеров реализации этапа опытного применения.

Пример 1. Тип работ – ОКР. Допустим, целью ОКР является трансформатор с более низкими потерями, чем у традиционных аналогов, что – согласно техническому заданию – позволяет экономить Q кВт×ч электроэнергии в квартал (при определенных параметрах нагрузки). Выплаты разработчику за опытное применение осуществляются поквартально и рассчитываются по формуле

$$(v_0 + s - b_{min}) / [4T \min \{ Q_{\text{факт}} / Q, 1 \}],$$

где $Q_{\text{факт}}$ – достигнутая за данный промежуток времени экономия, T – длительность этапа опытного применения (годы).

Пример 2. Тип работ – ОТР. Пусть наш инновационный продукт представляет собой технологическую линию по производству трансформаторов с более низкими потерями, чем у традиционных аналогов, которая – согласно техническому заданию – позволяет производить N трансформаторов в квартал. Выплаты разработчику за опытное применение (опытное производство трансформаторов) осуществляются поквартально и рассчитываются по формуле

$$(v_0 + s - b_{min}) / [4T \min \{ N_{\text{факт}} / N, 1 \}],$$

где $N_{\text{факт}}$ – число проданных трансформаторов.

Если оба участника полагают, что разрабатываемый в ходе НИОКР опытный образец не будет готов к опытному применению, то оба механизма идентичны – они приводят к одинаковым результатам при одинаковых затратах со стороны государства.

Теперь допустим, что один из участников уверен, что созданный им опытный образец будет готов к использованию (и сочтет для себя опытное применение выгодным). В этом случае он получит определенное преимущество перед соперником. Дело в том, что общее финансирование со стороны государства составляет v_1 и не зависит от заявки участника на аукционе, поэтому он имеет возможность снизить ее (в расчете на возмещение затрат из поступлений на этапе опытного применения) и тем самым повысить вероятность своей победы.

В идеальном случае он мог бы уменьшить заявку вплоть до нуля и гарантированно выиграть аукцион. В реальности, конечно, все немного сложнее: необходимо учитывать временную стоимость денег, оценивать риски контрагента (договоренности с потребителем – участником этапа опытного применения) и, безусловно, оценивать риски успеха самих разработок. Поэтому если оба претендента рассчитывают на этап опытного применения, то их окончательные заявки на аукционе будут зависеть, помимо оценки затрат на выполнение работ, от вышеперечисленных факторов и будут отличаться от нуля.

2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Будем считать, что каждого участника i можно описать двумя параметрами: стоимостью затрат c_i на проведение работ и оценкой вероятности p_i реализации этапа опытного применения; причем p_i включает вероятность успеха НИОКР, а также вероятность нахождения потребителя для проведения этапа опытного применения.

Все участники симметричны, и пары $\{c_i, p_i\}$ являются реализациями случайных величин $\{\hat{c}_i, \hat{p}_i\}$, имеющих одинаковое распределение $F(c, p)$, $c \in [0, +\infty)$, $p \in [0, 1]$ ($f(c, p)$ – соответствующая плотность распределения). Число участников известно и равно n .

Для простоты учета временной стоимости денег будем считать, что имеется два интервала времени – период разработки и период опытного применения. В пределах каждого интервала финансовые потоки будут складываться. Для соотнесения потоков разных интервалов будет использоваться ставка дисконтирования r . Будем считать, что участники нейтральны по риску. Все риски, связанные с выполнением работ, учтены в p_i , r отражает риски общего характера и является единой для всех участников.

На этапе разработки победитель получает финансирование в соответствии со своей заявкой b и расходует c_i на выполнение работ. Если НИОКР заканчивается успешно, разработчик имеет право инициировать этап опытного применения (европейский call-опцион). В ходе данного этапа нарабатывается и продается объем опытной продукции V , величина которого устанавливается до проведения аукциона.

Ожидаемая прибыль от единицы реализованной продукции составит $(v_0 + s - b)/V - d$, где $(v_0 + s - b)/V$ – выплаты со стороны государства, а d – разница между себестоимостью инновационной продукции и ценой традиционного аналога (с поправкой на экономический эффект от инновационного характера продукта). Поскольку технология производства нового продукта не оптимизирована, а объемы выпуска далеки от промышленного уровня, будем считать $d > 0$. Если ожидаемая прибыль положительна, этап опытного применения реализуется.

Важную роль в обеспечении прибыльности этапа опытного применения играет разность $s - dV$. Если $s \geq dV$, то этап всегда (при любой заявке b) прибыльный, поскольку $b \leq v_0$. Если же $s < dV$, то целесообразность опытного применения (даже в случае успешного завершения НИОКР) начинает зависеть от выбранной величины b .

С точки зрения верифицируемости результатов НИОКР можно утверждать, что при $s \geq dV$ факт наличия этапа опытного применения однозначно свидетельствует об успешном завершении разработок, а его отсутствие – наоборот – о неуспехе. В случае же $s < dV$ однозначного вывода сделать нельзя.

Итоговая прибыль участника в случае победы на аукционе и с учетом временной стоимости денег составит

$$\pi(b) = \begin{cases} b - c + \frac{V}{1+r} \max \{(v_0 + s - b)/V - d, 0\} & \text{при } p; \\ b - c, & \text{при } 1 - p \end{cases} \quad (1)$$

при заданном ограничении

$$0 \leq b \leq v_0. \quad (1')$$

Можно показать, что в рамках сделанных нами предположений верна следующая теорема.

Теорема 1. В закрытом аукционе первой цены оптимальная стратегия определяется следующими условиями.

1. При $s - dV \geq 0$

$$b(c, p) = \max \left\{ v_0 - y(c, p) + \int_0^{y(c, p)} F_s^{n-1}(x) dx / F_s^{n-1}(y), 0 \right\}, \quad (2)$$

где:

$$a) y(c, p) = [v_0 - c + (s - dV)p / (1 + r)] / (1 - p / (1 + r));$$

$$б) F_s(z) = \iint_{0 < y(c, p) < z} f_s(c, p) dc dp;$$

в) $f_s(c, p)$ – нормированное ограничение $f(c, p)$ на множество

$$M_s = \{(c, p); y(c, p) \geq 0\};$$

2. При $s - dV < 0$

$$b(c, p) = \begin{cases} c + \int_c^{v_0} \tilde{F}_0^{n-1}(z) dz / \tilde{F}_0^{n-1}(c), & c \geq c_p(p); \\ \max \left\{ v_0 - y + \frac{(v_0 - c_p(0) - \delta) \tilde{F}_p^{n-1}(v_0 - c_p(0)) + \int_{v_0 - c_p(0)}^{y(c, p)} \tilde{F}_p^{n-1}(z) dz}{\tilde{F}_p^{n-1}(y(c, p))}, 0 \right\}, & c \leq c_p(p), \end{cases} \quad (3)$$

где:

а) $c_p(p)$ является решением уравнения

$$c'_p = \frac{v_0 - \delta - c_p}{1 + r - p} + \frac{1}{\tilde{F}_p^{n-1}(y(c_p, p)) - \tilde{F}_0^{n-1}(c_p)} \left(\frac{v_0 - \delta - c_p}{1 + r - p} \tilde{F}_0^{n-1}(c_p) - \frac{1}{1 + r - p} \int_{c_p}^{v_0} \tilde{F}_0^{n-1}(z) dz \right)$$

с граничным условием $c_p(0) + \left(\int_{c_p}^{v_0} \tilde{F}_0^{n-1}(z) dz \right) / \tilde{F}_p^{n-1}(c_p(0)) = v_0 - \delta$;

$$б) \delta = dV - s, c_0 = c_p(0)$$

$$в) \tilde{F}_0(z) = \iint_{\{z < c\} \cap \{c_p(p) < c\}} f_0(c, p) dc dp;$$

$$г) \tilde{F}_p(z) = \iint_{\{c_p(p) < c\}} f_0(c, p) + \iint_{\{y(c, p) < z\} \cap \{c \leq c_p(p)\}} f_0(c, p) dc dp;$$

д) $f_0(c, p)$ – нормированное ограничение $f(c, p)$ на множество $M_0 = \{(c, p); c \leq v_0\}$.

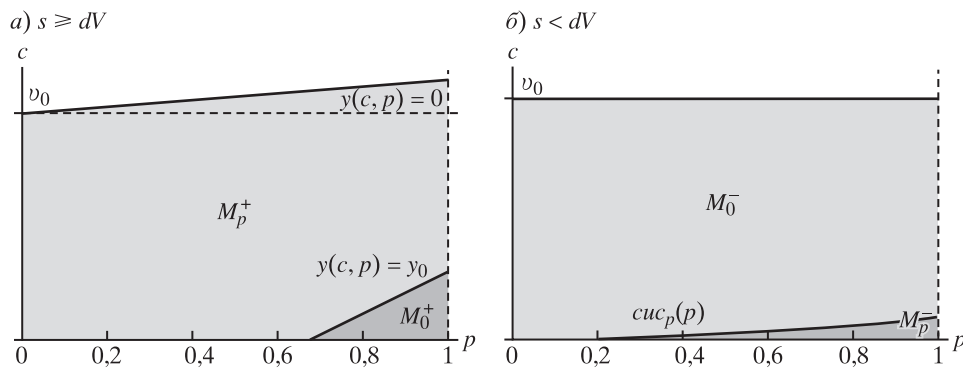


Рис. 1. Структура решения в зависимости от знака разности $s - dV$: а) $s \geq dV$; б) $s < dV$

Доказательство теоремы 1 приведено в Приложении в п. 1.

Как следует из теоремы 1, вся область участников делится в зависимости от величины субсидии на ряд подмножеств со своей характерной оптимальной функцией заявки (рис. 1).

При $s \geq dV$, когда размер субсидии позволяет компенсировать расходы на производство инновационной продукции, во-первых, расширяется область участников за счет добавления претендентов с параметром $c > v_0$, которым выгодно участвовать в аукционе. Расширение числа участников приводит к усилению конкуренции. Во-вторых, может появиться множество участников M_0^+ , которые готовы сделать работу бесплатно ($b(c, p) = 0$). В первую очередь это те участники, которые имеют низкие затраты и высокие шансы на успешное выполнение (игроки с заметным заделом).

В случае $s < dV$ также имеется два характерных множества. Для участников из M_0^- этап опытного применения невыгоден. Эти участники в случае победы ограничатся только этапом разработок независимо от того, насколько удачно он завершится. У участников из M_p^- заявки таковы, что оставшихся денег ($v_0 - b$) хватит, чтобы покрыть недостаточность финансирования выпуска новой продукции ($s - dV$), и поэтому им имеет смысл реализовывать этап опытного применения.

Размеры областей зависят от соотношения $(s - dV)/v_0$, государство может их варьировать путем регулирования величины субсидии s . Рассмотрим, как производятся эти расчеты на основе примера 1.

Пример 3. Пусть инновационный продукт – трансформатор с более низкими потерями. Имеется четыре претендента со следующими параметрами затрат (все денежные величины – в единицах v_0): 0,9; 0,8; 0,7; 0,6. Будем считать, что участники 1, 2 и 4 оценивают возможность (вероятность) опытного применения разработанного ими в ходе НИОКР трансформатора как 0,2. А участник 3 более уверен в своих возможностях и оценивает данную вероятность как 0,4. Имеется также общая для всех участников информация: на этапе опытного применения необходимо финансирование в размере 0,1.

В традиционном аукционе все участники делают свои заявки только с учетом c_i , и победителем станет участник 4. Затраты государства на НИОКР при этом составят 0,72 (см. таблицу).

При простом добавлении этапа опытного применения (без дополнительных субсидий) все, кроме участника 1, внесут поправки в свои заявки. Победителем станет участник 4, но затраты государства на НИОКР снизятся до 0,68. При этом, если НИОКР будет успешным, государство профинансирует этап опытного применения в размере 0,32 (1,00–0,68). Ожидаемые затраты государства составят 0,74, что на 0,02 больше, чем в традиционном аукционе.

При величине субсидии 0,2 победителем аукциона станет участник 3. Затраты государства на НИОКР снизятся до 0,62, а общие ожидаемые затраты увеличатся до 0,85. Вероятность успешной разработки трансформатора вырастет с 0,2 до 0,4.

Если оценивать эффективность механизма как отношение вероятности успеха НИОКР к ожидаемым затратам государства, то для нашего примера наиболее предпочтительным станет последний вариант.

Таблица. Результаты различных аукционов для каждого из участников

Параметры (c, p)	Участники			
	1	2	3	4
	(0,9; 0,2)	(0,8; 0,2)	(0,7; 0,4)	(0,6; 0,2)
<i>Варианты аукционов и оптимальные стратегии</i>				
Традиционный аукцион	0,93	0,85	0,78	0,72
Аукцион с этапом опытного применения ($s = 0$)	0,93	0,84	0,70	0,68
Аукцион с этапом опытного применения ($s = 0,2$)	0,88	0,79	0,62	0,63

Примечание. В таблице полужирным шрифтом выделена заявка победителя.

Как показал пример, непосредственно сравнивать два механизма нельзя, поскольку они имеют разные моменты окончания. Однако если анализировать только этап выполнения НИОКР, можно показать, что затраты государства в предлагаемом механизме будут ниже.

Теорема 2. *Затраты государства на проведение НИОКР в случае аукциона с этапом опытного применения будут меньше, чем в случае традиционного аукциона.*

Доказательство приведено в Приложении в п. 2.

3. ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРЕМЫ 1

Случай А. Допустим, все участники имеют одинаковую вероятность p_0 реализации этапа опытного применения $f(c, p) = f(c)\delta(p - p_0)$. Тогда задача из фактически двумерной превращается в одномерную и результат приобретает более простой вид. В соответствии с теоремой 1 при $s - dV \geq 0$ оптимальная стратегия участника составит

$$b^{(A)}(c) = \max \left\{ \frac{1+r}{1+r-p_0} \left[-(v_0 + s - dV) \frac{p_0}{1+r} + c + \frac{1}{F_s^{n-1}(c)} \int_c^{\bar{c}} F_s^{n-1}(x) dx \right], 0 \right\},$$

где $\bar{c} = v_0 + (s - dV)p_0/(1+r) \geq v_0$ определяет верхнюю границу игроков, которым выгодно участвовать в аукционе. При $p_0 \rightarrow 0$ формула переходит в решение для традиционного аукциона

$$b^{(A,0)}(c) = c + \frac{1}{F_0^{n-1}(c)} \int_c^{v_0} F_0^{n-1}(x) dx.$$

Если пренебречь появлением на аукционе участников со стоимостью разработки выше стартовой, что допустимо (как правило, начальная цена аукциона устанавливается на основе предложения одного из претендентов), то $b^{(A)}(c)$ может быть выражена через $b^{(A,0)}(c)$:

$$b^{(A)}(c) = \max \left\{ \frac{1+r}{1+r-p_0} \left[-(v_0 + s - dV) \frac{p_0}{1+r} + b^{(A,0)}(c) \right], 0 \right\}.$$

Поскольку $b^{(A,0)}(c) \leq v_0$, то $b^{(A)}(c) < b^{(A,0)}(c)$, и, соответственно, затраты государства на этапе НИОКР при реализации аукциона с этапом опытного применения будут меньше, чем при традиционном варианте.

В явном виде решение может быть получено только для конкретных функций распределения. Рассмотрим случай равномерного распределения $F_s(c) = (\bar{c} - c)/\bar{c}$, который соответствует

ситуации полного отсутствия информации об участниках, кроме как об их числе. Оптимальная стратегия имеет вид

$$\bar{b}^{(A)}(c) = \max \left\{ v_0 - \frac{1+r}{1+r-p_0} \times \frac{n-1}{n} (\bar{c} - c), 0 \right\}.$$

Наличие области нулевых заявок M_0^+ определяется из соотношения $s - dV \geq v_0(1+r - np_0)/[p_0(n-1)]$. При $np_0 \geq 1$ (высокая конкуренция или высокий средний уровень готовности технологии) область M_0^+ существует при малых и даже при отрицательных значениях $(s - dV)$.

Теперь рассмотрим случай $s < dV$. В соответствии с теоремой 1 найдется такое c_0 , которое разделит всех участников на две группы: для первой группы ($c \geq c_0$) опытное применение невыгодно, а для второй ($c < c_0$), наоборот, выгодно.

$$b^{(A)}(c) = \begin{cases} b^{(A,0)}(c), & c \geq c_0; \\ \max \left\{ \frac{1+r}{1+r-p_0} \left[- (v_0 + s - dV) \frac{p_0}{1+r} + b^{(A,0)}(c) \right], 0 \right\}, & c < c_0. \end{cases}$$

Значение c_0 определяется как решение уравнения

$$c_0 + \int_{c_0}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz / F_0^{n-1}(c_0) = v_0 + (s - dV).$$

Аналогично с предыдущим случаем $b^{(A)}(c) < b^{(A,0)}(c)$, и поэтому затраты государства на этапе НИОКР также уменьшаются.

Для равномерного распределения $F_s(c) = (v_0 - c)/v_0$ оптимальная стратегия составит

$$\bar{b}^{(A)}(c) = \begin{cases} v_0 - \frac{(n-1)(v_0 - c)}{n}, & c \geq \bar{c}_0; \\ \max \left\{ v_0 + \frac{(n-1)(v_0 - c)}{n} - \frac{p_0(n-1)}{(1+r-p_0)n} (\bar{c}_0 - c), 0 \right\}, & c < \bar{c}_0, \end{cases}$$

где

$$\bar{c}_0 = \max \left\{ v_0 - \frac{n}{n-1} (dV - s), 0 \right\}.$$

На рис. 2 представлен численный расчет ожидаемых затрат государства на этапе НИОКР в зависимости от размера субсидии и числа участников. Для сравнения приведен результат для традиционного аукциона.

Расчеты показывают, что даже при $s \sim dV$ эффект от добавления этапа опытного применения может быть значительным (например, затраты государства на аукционе с четырьмя участниками совпадают с величиной затрат на традиционном аукционе, но с шестью участниками).

Стоит отметить, что относительно низкое значение вероятности выбрано с учетом того, что оно включает не только вероятность технического успеха разработок, но и заинтересованность бизнеса в использовании инновационной продукции. Например, $p_0 = 0,2$ может соответствовать как низкой вероятности технического успеха (при наличии устойчивых связей с потенциаль-

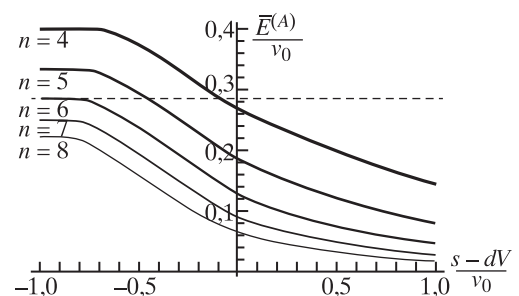


Рис. 2. Ожидаемые затраты государства на этапе НИОКР в зависимости от размера субсидии на этапе опытного применения ($p_0 = 0,2$)

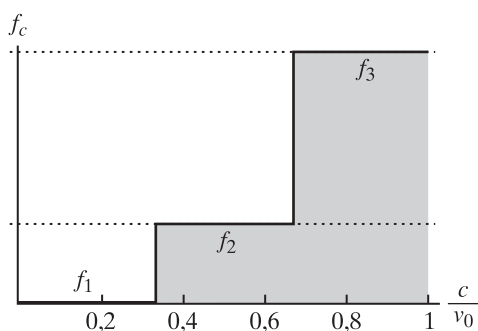


Рис. 3. Кусочно-постоянная функция плотности распределения затрат

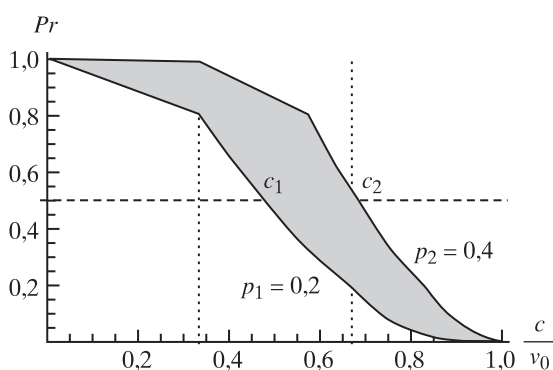
ными потребителями), так и низкой заинтересованности со стороны бизнеса (при полной уверенности в получении научно-технического результата).

Равномерное распределение приводит к крайне низким оценкам ожидаемых затрат со стороны государства (по сравнению со стартовой ценой), что на практике встречается довольно редко. В дальнейших расчетах мы будем применять кусочно-постоянные плотности распределения с тремя равными интервалами, соответствующими высоким, умеренным и низким затратам (рис. 3). Каждая такая функция будет характеризоваться тройкой чисел (p_1, p_2, p_3) (где $p_1 + p_2 + p_3 = 1$; $f_i = 3p_i$ – значения плотности вероятностей для каждого интервала). В частности, для численных расчетов будет использоваться распределение (1%, 33%, 66%), в соответствии с которым на четырех участников в среднем будет приходиться один участник со средними затратами. Появление участника с низкими затратами относится к разряду редких событий.

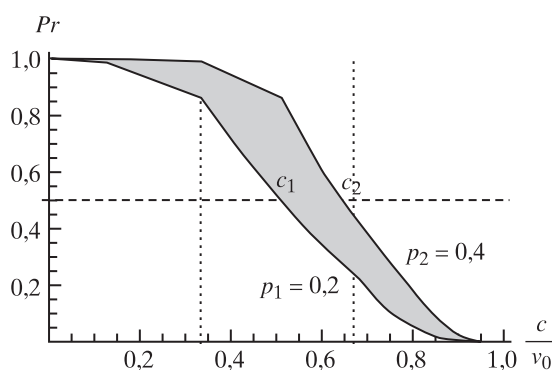
ответствии с которым на четырех участников в среднем будет приходиться один участник со средними затратами. Появление участника с низкими затратами относится к разряду редких событий.

Случай Б. Пусть p принимает только два значения – p_1 и p_2 , $p_2 > p_1$. Для удобства участников будем называть “пессимистами” и “оптимистами”. И хотя это простой пример дифференциации по параметру p , он в полной мере позволяет раскрыть отличия исследуемого механизма от традиционного.

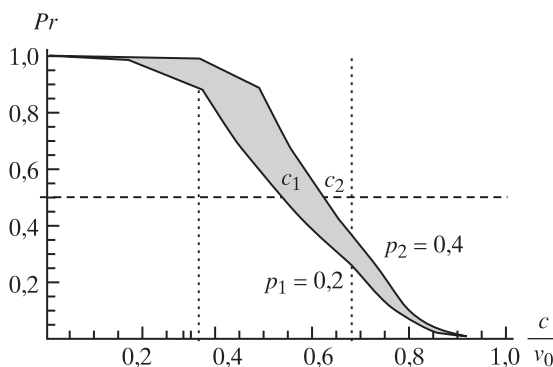
Пусть $f_1(c)$ и $f_2(c)$ – соответствующие плотности распределения затрат “пессимистов” и “оптимистов”. Общая плотность распределения составит $f(c, p) = f_1(c)\delta(p - p_1) + f_2(c)\delta(p - p_2)$.



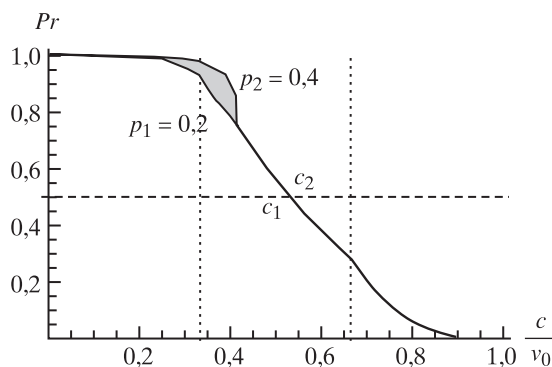
a) $(s - dV)/v_0 = 0,4$



б) $(s - dV)/v_0 = 0,1$



в) $(s - dV)/v_0 = -0,1$



г) $(s - dV)/v_0 = -0,4$

Рис. 4. Зависимость вероятности победы от параметров участника ($n = 4$)

Решение будет представлять собой пару функций $b_1^{(b)}(c) = b^{(b)}(c, p_1)$ и $b_2^{(b)}(c) = b^{(b)}(c, p_2)$, детальный

вид которых приведен в Приложении в п. 3.

Если в традиционном аукционе участники с разными p , но с одинаковыми c , имеют одинаковую вероятность выиграть, то в данном случае одинаковую вероятность победы имеют участники с разными показателями затрат: c_1 и $c_2 = c_2(c_1) > c_1$. Это означает, что по отношению к выбранному уровню затрат c_1 дополнительное преимущество получают “оптимисты” с $c \in [c_1, c_2(c_1)]$. Можно сказать, что участники с более высоким значением вероятности успеха НИОКР доминируют над участниками с более низким значением.

Ниже приведены результаты численных расчетов вероятности победы для $f_1(c) = 0,75$ (1%, 33% 66%), $f_2(c) = 0,25$ (1%, 33%, 66%), т.е. вероятность появления участника с высокой вероятностью составляет 25% (в среднем один на четырех).

Чем выше величина субсидии, тем выше степень доминирования (рис. 4). Так, при $(s - dV)/v_0 = 0,4$ “оптимисты” из группы высоких затрат практически полностью доминируют над “пессимистами” из группы высоких затрат и большей части группы средних затрат. И если не учитывать реализации редкого события, можно утверждать, что с ростом величины субсидии происходит трансформация от конкуренции по затратам к конкуренции по вероятности успеха. Все это приводит к увеличению ожидаемой вероятности (*ex ante*) успешного завершения НИОКР (рис. 5). Ожидаемые затраты государства на этапе НИОКР с увеличением субсидии снижаются, а общие (с учетом этапа опытного применения) растут (рис. 6).

Финансовая эффективность определяется как отношение экономического эффекта к понесенным затратам и может быть представлена как произведение экономического эффекта от коммерциализации на вероятность успеха НИОКР, поделенное на ожидаемые затраты на разработку. Поскольку коммерческий эффект не зависит от выбора параметров механизма, показатель эффективности будет определяться, как в примере 3, соотношением вероятности успеха НИОКР и ожидаемых затрат (рис. 7).

В нашем случае имеется ярко выраженный максимум эффективности при $(s - dV)/v_0 \approx 0,5$. Из общих соображений ясно, что такая зависимость является характерной.

При малых значениях s рост вероятности успеха превышает рост общих затрат, поскольку первыми начинают рассчитывать на этап опытного применения “оптимисты”. Область M_p^- (рис. 1б) начинает расти со стороны высоких. При этом относительный рост затрат государства невелик из-за того, что область M_p^- начинает расти со стороны низких c (и, соответственно, низких b). При больших же значениях s вероятность успеха стремится к насыщению, а общие затраты растут практически пропорционально росту s , поэтому эффективность будет падать.

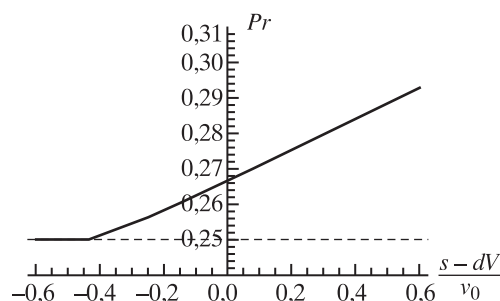


Рис. 5. Зависимость вероятности успешного завершения разработок (*ex ante*) от величины субсидии ($n = 4$)

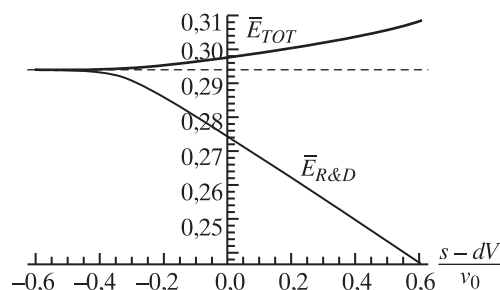


Рис. 6. Зависимость ожидаемой величины затрат государства на этапе НИОКР и общих затрат от величины субсидии ($n = 4$)

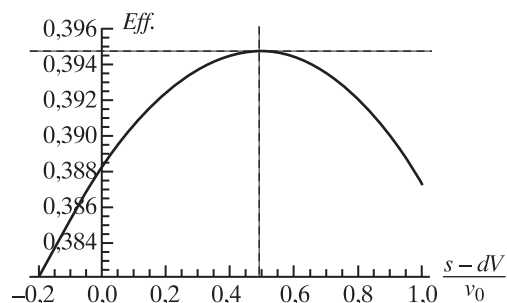


Рис. 7. Зависимость эффективности механизма реализации НИОКР от величины субсидии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен новый механизм реализации государственного заказа на НИОКР, который представляет собой расширение традиционного механизма аукциона путем добавления этапа опытного применения.

Показано, что, регулируя величину субсидии, можно:

- 1) повысить вероятность (*ex ante*) успешного завершения разработок;
- 2) снизить затраты государства на этапе НИОКР и повысить эффективность;
- 3) повысить участие бизнеса в инновационном процессе.

Для упрощения в статье было предложено, что субсидии на этапе опытного применения финансируются со стороны государства. Но на практике субсидии могут финансироваться (частично или полностью) участником этапа опытного применения со стороны бизнеса в обмен на право использовать интеллектуальные результаты в дальнейшей своей деятельности. Величина субсидии может определяться на отдельном аукционе среди претендентов на участие в этапе опытного применения.

Разработка такого механизма позволит:

- 1) выявить степень заинтересованности бизнеса в конкретной разработке;
- 2) получить экспертизу со стороны бизнеса;
- 3) снизить общие затраты государства.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Доказательство теоремы 1. Поскольку все участники симметричны, выберем одного игрока и рассмотрим его оптимизационную задачу. В случае победы на аукционе прибыль в соответствии с (1) составит

$$\pi(b) = \begin{cases} b - c + (1+r)^{-1} \max \{ (v_0 + s - b)/V - d, 0 \} V & \text{при } p; \\ b - c & \text{при } 1 - p. \end{cases}$$

Поскольку по условиям аукциона $0 \leq b \leq v_0$, выражение под функцией максимума зависит во многом от разницы $s - dV$, которая определяет, является ли этап опытного применения сам по себе прибыльным или убыточным.

Если $s - dV \geq 0$ (субсидии государства позволяют установить необходимый дисконт на инновационную продукцию, чтобы она была конкурентной на рынке), то с учетом (1') выражение в фигурных скобках всегда положительно и функцию максимума можно убрать.

При $s - dV < 0$ выражение в фигурных скобках может принимать как положительные, так и отрицательные значения. В зависимости от знака $v_0 - b(c, p) + s - dV$ пространство (c, p) делится на две области (областей только две, поскольку решение $b(c, p)$ ищется в классе монотонных функций). Там, где $v_0 - b(c, p) + s - dV < 0$, опытное применение невыгодно, значение максимума равно нулю, а это эквивалентно тому, что заявка участника $b(c, p) = b(c, p_{эфф})$, где $p_{эфф} = 0$.

Рассмотрим случай $s - dV \geq 0$. Сделав замену $u(c, p) = v_0 - b(c, p)$, приведем задачу к стандартному виду закрытого повышающего аукциона первой цены. Прибыль участника в зависимости от u составит

$$\pi(u) = \left[v_0 + (s - dV) \frac{p}{1+r} - c - u \left(1 - \frac{p}{1+r} \right) \right] h(u - U^{(n-1)}), \quad (\Pi 1)$$

где $U^{(n-1)}$ – максимальная заявка среди других участников.

Допустим, что все участники, кроме первого, следуют одинаковой стратегии $\hat{u}(c, p)$. Поскольку участники независимы, $U^{(n-1)}$ имеет распределение

$$F_{U^{(n-1)}}(x) = Pr \{ U^{(n-1)} < x \} = \prod_{i=2}^n Pr \{ \hat{u}_i < x \} = F_{\hat{u}}^{n-1}(x) = \left[\iint_{\hat{u}(c, p) < x} f(c, p) dc dp \right]^{n-1},$$

где $Pr\{\bullet\}$ – вероятность события. Усредняя (П1) по $U^{(n-1)}$, получим ожидаемую прибыль

$$\bar{\pi}(u) = \left[v_0 + (s - dV) \frac{p}{1+r} - c - u \left(1 - \frac{p}{1+r} \right) \right] F_u^{n-1}(u). \quad (\text{П2})$$

Максимизируя (П2) по u , получаем уравнение для $u(c, p)$. Поскольку все участники симметричны, то, подставив $\hat{u}(c, p) = u(c, p)$, имеем самосогласованное уравнение

$$u + F_u^{n-1}(u) / [F_u^{n-1}(u)]' = \left(v_0 - c + (s - dV) \frac{p}{1+r} \right) / (1 - p/(1+r)). \quad (\text{П3})$$

Поскольку левая часть уравнения зависит только от u , а правая – только от (c, p) , решение уравнения (П3) следует искать в виде $u = u(y(c, p))$, где

$$y(c, p) = \left(v_0 - c + (s - dV) \frac{p}{1+r} \right) / \left(1 - \frac{p}{1+r} \right). \quad (\text{П4})$$

Сделав соответствующую замену в (П3), получим стандартное для теории аукционов уравнение

$$u(y) + F_{u(y)}^{n-1}(u(y)) / [F_{u(y)}^{n-1}(u(y))]' = y. \quad (\text{П5})$$

Как известно из теории аукционов, решение (П5) представляет собой возрастающую функцию $u \uparrow \uparrow y$, поэтому

$$F_{u(y)}(u(y)) = \iint_{u(y(v, \omega)) < u(y(c, p))} f(v, \omega) dv d\omega = \iint_{y(v, \omega) < y(c, p)} f(v, \omega) dv d\omega = F_y(y),$$

и итоговое уравнение заметно упростится

$$u(y) + F_y^{n-1}(y) u'(y) / [F_y^{n-1}(y)]'_y = y. \quad (\text{П5}')$$

Выражение в числителе в (П4) представляет максимальную ожидаемую прибыль, которую участник может заработать. Соответственно, соотношение $y(c, p) > 0$ задает область участников M_s , которые могут участвовать в аукционе. Обозначим через $f_s(c, p)$ нормированное ограничение $f(c, p)$ на множество M_s . Решая (П5'), получим оптимальную стратегию участника

$$u(c, p) = y(c, p) - \int_0^{y(c, p)} F_s^{n-1}(x) dx / F_s^{n-1}(y), \quad (\text{П6})$$

где $F_s(x) = \iint_{0 < y(v, \omega) < x} f_s(v, \omega) dv d\omega.$

Переходя от u к b и принимая во внимание граничные условия (1'), запишем

$$b(c, p) = \max \left\{ v_0 - y(c, p) + \int_0^{y(c, p)} F_s^{n-1}(x) dx / F_s^{n-1}(y), 0 \right\}. \quad (\text{П7})$$

Теперь рассмотрим случай $s - dV < 0$. Поскольку на этапе опытного применения денег фактически не добавляется, область игроков M , которым имеет смысл участвовать в аукционе, задается соотношением $v_0 \geq c$ (соответственно, $f_0(c, p)$ – нормированное ограничение $f(c, p)$ на множество M). M можно разделить на две части – M_0 и M_p . Область M_0 характеризуется тем, что в (1) значение выражения под функцией максимума меньше нуля. Это означает, что вне зависимости от успеха НИОКР этап опытного применения не инициируется, поскольку невыгоден. Область M_p , наоборот, характеризуется тем, что значение выражения под функцией максимума неотрицательно, и этап опытного применения выгоден.

Обозначим через $b_0 = b_0(c)$ оптимальную стратегию для участников из M_0 , а через $b_p = b_p(c, p)$ оптимальную стратегию для участников из M_p . Для удобства также обозначим $\delta = dV - s > 0$. Поскольку для любого участника из M_0

$$b_0 > v_0 - \delta, \quad (\text{П8}')$$

а для любого участника из M_p

$$b_p \leq v_0 - \delta, \quad (\text{П8}'')$$

т.е. всегда выполняется неравенство $b_0 > b_p$. Это означает, что участники каждого множества конкурируют только друг с другом, поэтому задачу поиска оптимальной заявки можно решать независимо для каждой области, но с учетом ограничений (П8'), (П8'').

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_b \{ \tilde{\pi}_0(b) = (b - c)Pr_0(b), b > v_0 - \delta \}, (c, p) \in M_0; \\ \max_b \left\{ \tilde{\pi}_p(b) = \left(b \left(1 - \frac{p}{1+r} \right) - c + \frac{p}{1+r} (v_0 - \delta) \right) Pr_p(b), b \leq v_0 - \delta \right\}, (c, p) \in M_p. \end{array} \right. \quad (\text{П9})$$

Здесь $Pr_0(\bullet)$, $Pr_p(\bullet)$ – функции вероятности победы в аукционе. Из (П8') и (П8''), в частности, следует, что $Pr_0(\bullet) < Pr_p(\bullet)$.

В области M_0 максимизация по b не упирается в граничные условия (из-за того что (П8') строгое неравенство), поэтому решение b_0 имеет классический вид

$$b_0(c) = c + \int_c^{v_0} \tilde{F}_0^{n-1}(z) dz / \tilde{F}_0^{n-1}(c), \quad (\text{П10})$$

где $\tilde{F}_0(c) = \iint_{\{c < v < v_0\} \cap M_0} f_0(v, p) dv dp.$

Можно показать, что в M_p значение $\max \{ b_p(c, p) \} = v_0 - \delta$ и достигает этого значения только на границе. Действительно, если $\max \{ b_p(c, p) \} = \tilde{b} < v_0 - \delta$, то с $\tilde{b}_p(c, p) = b_p(c, p) + v_0 - \delta - \tilde{b}$ ожидаемая прибыль всех участников больше. Значит, $b_p(c, p)$ не может быть решением (П9). Если существует подобласть $M_{\tilde{p}}$, где $b_p = v_0 - \delta$, то любой участник из этой подобласти мог бы, снизив свою заявку на минимальную положительную величину, заметно увеличить ожидаемую прибыль за счет повышения вероятности победы. Таким образом, оптимальная стратегия для участников из M_p составляет

$$b_p(c, p) = v_0 - y(c, p) + \alpha + \int_{y_{min}}^{y(c, p)} \tilde{F}_p^{n-1}(z) dz / \tilde{F}_p^{n-1}(y(c, p)), \quad (\text{П11})$$

где

$$\tilde{F}_p(x) = \iint_{M_0} f_0(c, p) dc dp + \iint_{\{y_{min} < y(v, \omega) < x\} \cap M_p} f_0(v, \omega) dv d\omega,$$

а $y_{min} = \min_x [\{y(v, \omega) < x\} \cap M_p > \emptyset]$, α – некая константа, которую, в частности, можно определить исходя из соотношения $b_p(y_{min}) = v_0 - \delta$. В итоге имеем

$$b_p(c, p) = v_0 - y(c, p) + \left[(y_{min} - \delta) \tilde{F}_p^{n-1}(y_{min}) + \int_{y_{min}}^{y(c, p)} \tilde{F}_p^{n-1}(z) dz \right] / \tilde{F}_p^{n-1}(y(c, p)). \quad (\text{П11}')$$

На границе G областей M_0 и M_p функция ожидаемой прибыли должна быть непрерывна. В противном случае вблизи G участники с меньшей прибылью могли бы, незначительно поменяв используемые в расчете b параметры (c, p) , перейти в область с большей величиной ожидаемой прибыли.

Пусть G задается функцией $c = c_p(p)$. Требование непрерывности ожидаемой прибыли приводит к соотношению

$$(1 - p/(1+r))[b_p(y) - v_0 + y]\tilde{F}_p^{n-1}(y) = (b_0(c_p(p)) - c_p(p))\tilde{F}_0^{n-1}(c_p(p)), \quad (\text{П12})$$

где $y = y(c_p(p), p)$. Подставив в (П12) решения (П10), (П11) и сделав необходимые преобразования, получим

$$\left(1 - \frac{p}{1+r}\right) \left[(y_{\min} - \delta)\tilde{F}_p^{n-1}(y_{\min}) + \int_{y_{\min}}^{y(c_p(p), p)} \tilde{F}_p^{n-1}(z) dz \right] = \int_{c_p(p)}^{v_0} \tilde{F}_0^{n-1}(z) dz. \quad (\text{П13})$$

Очевидно, что если некоторая точка $(c, p) \in M_p$, то $\forall p' > p, (c, p') \in M_p$, поэтому $c_p(p) \uparrow p$.

Отсюда, в частности, следует $\tilde{F}_p^{n-1}(y_{\min}) = \iint_{M_0} f_0(c, p) dc dp = \tilde{F}_0^{n-1}(c_p(0))$.

Кривая $c_p(p)$, безусловно, может быть определена лишь в областях, где $f_0(c, p) > 0$ (условие непрерывности ожидаемой прибыли опирается на наличие участников вблизи границы). В областях, где $f_0(c, p) = 0$ и имеет нулевую вероятностную меру, $c_p(p)$ может быть определена по непрерывности. Там же, где мера областей отлична от нуля, $c_p(p)$ может задаваться любой функцией при фиксированных граничных значениях. Это не скажется на итоговом решении $b(c, p)$, которое также фактически определено в областях, где $f_0(c, p) > 0$.

Будем считать, что $f_0(c, p) > 0$ на M за исключением, быть может, областей с суммарной вероятностной мерой, равной нулю. Продифференцировав обе части (П12) по p , получим при $y(c_p(p), p) = y_{\min}$ соотношение

$$[\tilde{F}_0^{n-1}(c_p(p_{\min})) - \tilde{F}_0^{n-1}(c_p(y_{\min}))]c'_p(y_{\min}) = 0, \quad (\text{П13}')$$

где $c_p(p_{\min})$ – левая граничная точка кривой $c_p(p)$ (либо пересекает ось c с $p_{\min} = 0$, либо ось p с $c_p(p_{\min}) = 0$).

У (П13') возможно два решения:

1) $c'_p(y_{\min}) = 0$. С учетом определения $y_{\min}$, $y(c, p) = y_{\min}$ является касательной к $c_p(p)$ в точке $(c_p(y_{\min}), p(y_{\min}))$, откуда $c_p(y_{\min}) = v_0 - \delta$. Но это приводит к нулевой ожидаемой прибыли $\tilde{\pi}_p(y_{\min}) = 0$, что невозможно;

2) $\tilde{F}_0^{n-1}(c_p(p_{\min})) = \tilde{F}_0^{n-1}(c_p(y_{\min}))$. Это выполняется только при $p_{\min} = p(y_{\min})$. Подставив в (П12) $c_0 = c_p(p_{\min})$, получим $b_0(c_0) = v_0 - \delta$. В итоге имеем уравнение

$$c'_p = \frac{v_0 - \delta - c_p}{1 + r - p} + \frac{1}{\tilde{F}_p^{n-1}(y(c_p, p)) - \tilde{F}_0^{n-1}(c_p)} \left[\frac{v_0 - \delta - c_p}{1 + r - p} \tilde{F}_0^{n-1}(c_p) - \frac{1}{1 + r - p} \int_{c_p}^{v_0} \tilde{F}_0^{n-1}(z) dz \right]. \quad (\text{П14})$$

Это уравнение удобно тем, что $c'_p(p)$ зависит от значения функции c_p на интервале $[p, 1]$, и, таким образом, выбор $c_p(1)$ позволяет однозначно определить всю кривую $c_p(p)$.

Для анализа уравнения (П14) перепишем его в виде

$$c'_p = \frac{v_0 - \delta - c_p}{1 + r - p} + \frac{\tilde{F}_0^{n-1}(c_p)}{\tilde{F}_p^{n-1}(y(c_p, p)) - \tilde{F}_0^{n-1}(c_p)} \times \frac{v_0 - \delta - b_0(c_p)}{1 + r - p}. \quad (\text{П14}')$$

Решение $c_p(p)$ ищется в классе функций со следующими свойствами:

1) $c_p(p)$ – возрастающая функция; (П15)

2) $b_0(c_p) \geq v_0 - \delta$. (П16)

Из (П10) и (П16) следует, что начальная точка $c_p(1) < v_0 - \delta$. При уменьшении p значение $c_p(p)$ стремится к границе ($c_p(p) = 0, p = 0$). При этом выражение в знаменателе $(\tilde{F}_p^{n-1}(y(c_p, p)) - \tilde{F}_0^{n-1}(c_p))$ будет стремиться к нулю, поэтому если $b_0(c_p)$ не стремится к $v_0 - \delta$, то в какой-то момент c'_p меняет знак с положительного на отрицательный. А поскольку $(\tilde{F}_p^{n-1}(y(c_p(1), 1)) - \tilde{F}_0^{n-1}(c_p(1))) \rightarrow 0$ при $c_p(1) \rightarrow v_0 - \delta$, то существует такое $\bar{c}$, что $c'_p(1) = 0$, т.е. кривая $c_p(p)$ обрывается в начальной точке.

Однако при малых $c_p(1)$ (будем считать, что $\int_0^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz < (v_0 - \delta) b_0(c_p)$ успевает стать равным $v_0 - \delta$, прежде чем c_p достигнет границы. Вследствие непрерывности решения $c_p(p)$ от $c_p(1)$ аргумент $\tilde{p}$, при котором $b_0(c_p) = v_0 - \delta$, и $c'_p(\tilde{p}) = (v_0 - \delta - c_p(\tilde{p})) / (1 + r - \tilde{p}) > 0$ также непрерывно зависят от $c_p(1)$. Разрыв $c'_p(\tilde{p})$ возможен только на границе, где $(\tilde{F}_p^{n-1}(y(c_p, p)) - \tilde{F}_0^{n-1}(c_p))$ обращается в ноль. А поскольку при больших $c_p(1)$ решение $c_p(p)$ обрывается обращением в ноль производной, это доказывает существование решения (П14).

Далее, аргумент $\tilde{p}$, при котором $c'_p(\tilde{p}) = 0$, также непрерывно зависит от $c_p(1)$, а $\tilde{p} \uparrow c_p(1)$. При этом

$$b_0(c_p(\tilde{p})) = v_0 - \delta + (v_0 - \delta - c_p)(\tilde{F}_p^{n-1}(y(c_p, p)) - \tilde{F}_0^{n-1}(c_p)) / \tilde{F}_0^{n-1}(c_p) > v_0 - \delta,$$

что доказывает единственность решения (П14). Таким образом,

$$b(c, p) = \begin{cases} c + \int_c^{v_0} \tilde{F}_0^{n-1}(z) dz / \tilde{F}_0^{n-1}(c), & c < c_p(p); \\ \max \left\{ v_0 - y + \frac{(v_0 - c_0 - \delta) \tilde{F}_p^{n-1}(v_0 - c_0) + \int_{v_0 - c_0}^{y(c, p)} \tilde{F}_p^{n-1}(z) dz}{\tilde{F}_p^{n-1}(y(c, p))}, 0 \right\}, & c \leq c_p(p) \end{cases}$$

с полученной $c_p(p)$ является решением (П9). ■

2. Доказательство теоремы 2. Перепишем выражение (1) в классическом для теории аукционов виде

$$\pi(b) = b - \tilde{c}, \quad (\text{П17})$$

где

$$\tilde{c} = c - \left\{ \frac{1}{1+r} \max \left\{ \frac{v_0 + s - b}{V} - d, 0 \right\} V, p; \right\}_{0, 1-p} \leq c \quad (\text{П17'})$$

При этом функция распределения $F_0(c) = \iint_{c < v} f_0(v, p) dv dp$ трансформируется в $\tilde{F}(c)$, причем

вследствие (П17')

$$F_0(c) \geq \tilde{F}(c). \quad (\text{П18})$$

Сделав двойную замену

$$t = v_0 - c; u = v_0 - b, \quad (\text{П19})$$

получим эквивалентный повышающий аукцион

$$\pi(u) = t - u.$$

Тогда функция распределения имеет вид

$$\tilde{G}(t) = \tilde{F}(v_0 - t) \leq F_0(v_0 - t) = G_0(t). \quad (\text{П20})$$

Ожидаемая выручка аукциониста составит $\tilde{R} = E[\tilde{Y}_2^{(n)}] = \int_0^{v_0} t d(n\tilde{G}^{n-1}(t) - (n-1)\tilde{G}^n(t))$, где

E – математическое ожидание; $\tilde{Y}_2^{(n)}$ – случайная величина, равная второй по величине заявке среди n заявок, а $n\tilde{G}^{n-1}(t) - (n-1)\tilde{G}^n(t)$ – ее функция распределения. Поскольку функция $nx^{n-1} - (n-1)x^n$ является возрастающей на интервале $(0, 1)$, учитывая (П20), получим, что $Y_2^{(n)}$ стохастически доминирует над $\tilde{Y}_2^{(n)}$. Как следствие (Krishna, 2002, Приложение В), математическое ожидание от любой возрастающей функции $\gamma(\cdot)$ по $\tilde{Y}_2^{(n)}$ превосходит аналогичный показатель по $Y_2^{(n)}$, $E[\gamma(\tilde{Y}_2^{(n)})] \geq E[\gamma(Y_2^{(n)})]$. И в частности, $\tilde{R} \geq R_0$.

Затраты государства E связаны с выручкой R в эквивалентном повышающем аукционе соотношением $E = v_0 - R$, поэтому $E_0 \geq \tilde{E}$. ■

3. В соответствии с теоремой 1 при $s - dV \geq 0$

$$b_1^{(B)}(c) = \frac{1+r}{1+r-p_1} \max \left\{ - (v_0 + s - dV) \frac{p_1}{1+r} + c + \int_c^{\tilde{c}_1} \tilde{F}_s^{n-1}(c_2(z)) dz / \tilde{F}_s^{n-1}(c_2(c)), 0 \right\};$$

$$b_2^{(B)}(c) = \frac{1+r}{1+r-p_2} \max \left\{ - (v_0 + s - dV) \frac{p_2}{1+r} + c + \int_c^{\tilde{c}_2} \tilde{F}_s^{n-1}(z) dz / \tilde{F}_s^{n-1}(c), 0 \right\},$$

где

$$c_i(c) = c + (-1)^i (v_0 - c + s - dV)(p_2 - p_1) / (1 + r - p_i),$$

$$\tilde{F}_s(c) = F_{s,1}(c_1(c)) + F_{s,2}(c),$$

$$F_{s,i}(c) = \int_c^{\tilde{c}_i} f_i(z) dz,$$

$$\tilde{c}_i = v_0 + \max \{s - dV, 0\} p_i / (1 + r).$$

Рассмотрим случай $s < dV$. Кривая $c_p(p)$ представляет собой две изолированные точки $c_1 = c_p(p_1)$ и $c_2 = c_p(p_2)$. Производные в этих точках не определены, и результат теоремы 1 для поиска решения напрямую не применим. Будем опираться на соотношения (П9)–(П12).

Характерная структура решения представлена на рис. 8. Множество $[0, 1] \times \{p_1, p_2\}$ делится точками $c_1, c_2, c_{12} = c_1(c_2)$ на шесть отрезков: $I_1, II_1, III_1, IV_1, I_2, II_2$. Для каждого отрезка решение находится с помощью (П10), (П11'). В частности, $y_{min} = y(c_1, p_1)$, а $\tilde{F}_p(y_{min}) = F_1(c_1) + F_2(c_2)$.

Здесь $F_i(c) = \int_c^{v_0} f_i(z) dz$.

Требование непрерывности ожидаемой прибыли на общих границах приведет к системе уравнений на c_1, c_2 , решая которые получим зависимости $c_1(\delta), c_2(\delta)$, где $\delta = dV - s > 0$.

При увеличении δ параметры c_{12}, c_1, c_2 будут постепенно уменьшаться и последовательно обратятся в нуль. Одновременно с этим будут видоизменяться уравнения на c_1, c_2 .

Проведя все необходимые выкладки, получим окончательный ответ в следующем виде.

Случай 1. $\delta \geq \delta = v_0 - \iint_M f(c, p) dc dp, c_1 = 0, c_2 = 0$.

Тогда оптимальные заявки:

$$I_1: b_1^{(B)}(c) = c + \int_c^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz / F_0^{n-1}(c);$$

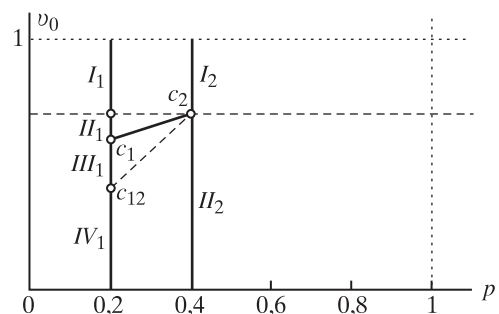


Рис. 8. Характерная структура решения

$$I_2: b_2^{(B)}(c) = c + \int_c^{v_0} dz F_0^{n-1}(z) / F_0^{n-1}(c),$$

где $F_0(c) = F_1(c) + F_2(c)$.

Случай 2. $\delta_2 \geq \delta \geq \delta_{12}$, $c_1 > 0$, $c_2 > 0$ ($c_1(c_2) \leq 0$), δ_{12} определяется из уравнения

$$\int_0^{c_2(0)} (F_1(z) + F_2(c_2(0)))^{n-1} dz = \frac{p_2 - p_1}{1 + r - p_2} \int_{c_2(0)}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz,$$

где $c_2(0) = (v_0 - \delta_{12}) \frac{p_2 - p_1}{1 + r - p_1}$. Уравнение для c_1 , c_2 , имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} v_0 - \delta - c_1 &= \left[\int_{c_1}^{c_2} (F_1(z) + F_2(c_2))^{n-1} dz + \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz \right] / (F_1(c_1) + F_2(c_2))^{n-1}; \\ \int_0^{c_2} (F_1(z) + F_2(c_2))^{n-1} dz - c_1(c_2)(F_1(0) + F_2(c_2))^{n-1} &= \frac{p_2 - p_1}{1 + r - p_2} \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz. \end{aligned} \right.$$

Оптимальные заявки:

$$I_1: b_1^{(B)}(c) = c + \int_c^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz / F_0^{n-1}(c);$$

$$II_1: b_1^{(B)}(c) = c + \left[\int_c^{c_2} (F_1(z) + F_2(c_2))^{n-1} dz + \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz \right] / (F_1(c) + F_2(c_2))^{n-1};$$

$$III_1: b_1^{(B)}(c) = \frac{-(v_0 - \delta)p_1 + c(1+r)}{1+r-p_1} + \frac{1+r}{1+r-p_1} \left[\frac{(v_0 - \delta - c_1)(F_1(c_1) + F_2(c_2))^{n-1}}{(F_1(c) + F_2(c_2))^{n-1}} + \frac{\int_{c_1}^{c_2} dz (F_1(z) + F_2(c_2))^{n-1}}{(F_1(c) + F_2(c_2))^{n-1}} \right];$$

$$I_2: b_1^{(B)}(c) = c + \int_c^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz / F_0^{n-1}(c);$$

$$II_2: b_2^{(B)}(c) = \frac{-(v_0 - \delta)p_2 + c(1+r)}{1+r-p_2} + \frac{1+r}{1+r-p_2} \frac{\int_c^{c_2} (F_1(0) + F_2(z))^{n-1} dz + \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz}{(F_1(0) + F_2(c))^{n-1}}.$$

Случай 3. $\delta_{12} \geq \delta \geq 0, c_1 > 0, c_2 > 0 (c_{12} > 0)$. Уравнение для c_1, c_2 имеет вид:

$$\begin{cases} v_0 - \delta - c_1 = \frac{\int_{c_1}^{c_2} (F_1(z) + F_2(c_2))^{n-1} dz + \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz}{(F_1(c_1) + F_2(c_2))^{n-1}}; \\ \int_{c_1(c_2)}^{c_2} (F_1(z) + F_2(c_2))^{n-1} dz = \frac{p_2 - p_1}{1 + r - p_2} \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz. \end{cases}$$

Оптимальные заявки:

$$I_1: b_1^{(B)}(c) = c + \int_c^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz / F_0^{n-1}(c);$$

$$II_1: b_1^{(B)}(c) = c + \left[\int_c^{c_2} dz (F_1(z) + F_2(c_2))^{n-1} + \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz \right] / (F_1(c) + F_2(c_2))^{n-1};$$

$$III_1: b_1^{(B)}(c) = \frac{-(v_0 - \delta)p_1 + c(1+r)}{1+r-p_1} + \frac{1+r}{1+r-p_1} \left\{ \frac{(v_0 - \delta - c_1)(F_1(c_1) + F_2(c_2))^{n-1}}{(F_1(c_1) + F_2(c_2))^{n-1}} + \frac{\int_{c_1}^{c_2} dz (F_1(z) + F_2(c_2))^{n-1}}{(F_1(c) + F_2(c_2))^{n-1}} \right\};$$

$$IV_1: b_1^{(B)}(c) = \frac{-(v_0 - \delta)p_1 + c(1+r)}{1+r-p_1} + \frac{1+r}{1+r-p_2} \frac{\int_{c_2(c)}^{c_2} \tilde{F}_s^{n-1}(z) dz + \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz}{\tilde{F}_s^{n-1}(c_2(c))};$$

$$I_2: b_2^{(B)}(c) = c + \int_c^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz / F_0^{n-1}(c);$$

$$II_2: b_2^{(B)}(c) = \frac{-(v_0 - \delta)p_2 + c(1+r)}{1+r-p_2} + \frac{1+r}{1+r-p_2} \frac{\int_c^{c_2} dz \tilde{F}_s^{n-1}(z) + \int_{c_2}^{v_0} F_0^{n-1}(z) dz}{\tilde{F}_s^{n-1}(c)}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Brocas I.** (2006). Designing Auctions in R&D: Optimal Licensing of an Innovation // *Topics in Economic Analysis & Policy*. Vol. 6(1). Article 11.
- Brozen J.** (1951). Invention, Innovation and Imitation // *American Economic Review*. Vol. 41. Papers and Proceedings. P. 239–257.
- Dasgupta P., Stiglitz J.** (1980). Uncertainty, Industrial Structure, and the Speed of R&D // *Bell Journal of Economics*. Vol. 11. P. 1–28.

- Katz M. L., Shapiro C.** (1985). On the Licensing of Innovation // *Rand Journal of Economics*. Vol. 16. P. 504–520.
- Katz M.L., Shapiro C.** (1986). How to License Intangible Property // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 101. P. 567–589.
- Krishna V.** (2010). Auction Theory. Burlington: Academic Press/Elsevier.
- Mokyr J.** (1990). The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress. N.Y.: Oxford University Press.
- Reinganum J.** (1989). The Timing of Innovation: Research, Development, and Diffusion. Ch. 14. In: “*Handbook of Industrial Organization*” R. Schmalensee, R. Willig (eds.). Vol. 1. N.Y.: Elsevier.

Efficiency Increase in Mechanism Design of State Procurement for R&D

A.I. Kuchaev

In this paper the author considers a modification in mechanism design for R&D in order to increase its efficiency and to create incentives for business implication.

Keywords: mechanism design, R&D, state procurement, auctions, pilot production.

JEL Classification: D44, O31, O38.